

Теория решения изобретательских задач

Законы развития технических систем



Закон S-образного развития технических систем

- ▶ Эволюцию множества систем можно изобразить логистической кривой, показывающей, как меняются во времени темпы её развития. Выделяются три характерных этапа:
- ▶ **«детство»**. Идёт, как правило, достаточно долго. В этот момент идёт проектирование системы, её доработка, изготовление опытного образца, подготовка к серийному выпуску.
- ▶ **«расцвет»**. Она бурно совершенствуется, становится всё более мощной и производительной. Машина выпускается серийно, её качество улучшается и спрос на неё растёт.
- ▶ **«старость»**. С какого-то момента улучшать систему становится всё труднее. Мало помогают даже крупные увеличения ассигнований. Несмотря на усилия конструкторов, развитие системы не поспевает за всё возрастающими потребностями человека. Она пробуксовывает, топчется на месте, меняет свои внешние очертания, но остаётся такой, какая есть, со всеми своими недостатками. Все ресурсы окончательно выбраны. Если попытаться в этот момент искусственно увеличивать количественные показатели системы или развить её габариты, оставляя прежний принцип, то сама система вступает в конфликт с окружающей средой и человеком. Она начинает больше приносить вреда, чем пользы.

- ▶ В качестве примера рассмотрим паровоз. Вначале был достаточно долгий экспериментальный этап с единичными несовершенными экземплярами, внедрение которых вдобавок сопровождалось сопротивлением общества. Затем последовало бурное развитие термодинамики, совершенствование паровых машин, железных дорог, сервиса — и паровоз получает публичное признание и инвестиции в дальнейшее развитие. Затем, несмотря на активное финансирование, произошёл выход на природные ограничения: предельный тепловой КПД. В качестве примера рассмотрим паровоз. Вначале был достаточно долгий экспериментальный этап с единичными несовершенными экземплярами, внедрение которых вдобавок сопровождалось сопротивлением общества. Затем последовало бурное развитие термодинамики, совершенствование паровых машин, железных дорог, сервиса — и паровоз получает публичное признание и инвестиции в дальнейшее развитие. Затем, несмотря на активное финансирование, произошёл выход на природные ограничения: предельный тепловой КПД, конфликт с окружающей средой, неспособность увеличивать мощность без увеличения массы — и, как следствие, в области начался технологический застой. И, наконец, произошло вытеснение паровозов более экономичными и мощными тепловозами. В качестве примера рассмотрим паровоз. Вначале был достаточно долгий экспериментальный этап с единичными несовершенными экземплярами, внедрение которых вдобавок сопровождалось

Закон динамизации

- ▶ Надёжность, стабильность и постоянство системы в динамичном окружении зависят от её способности изменяться. Развитие, а значит и жизнеспособность системы, определяется главным показателем: **степенью динамизации**, то есть способностью быть подвижной, гибкой, приспособляемой к внешней среде, меняющей не только свою геометрическую форму, но и форму движения своих частей, в первую очередь рабочего органа. Чем выше степень динамизации, тем, в общем случае, шире диапазон условий, при которых система сохраняет свою функцию. Например, чтобы заставить крыло самолёта эффективно работать в существенно разных режимах полёта (взлёт, крейсерский полёт, полёт на предельной скорости, посадка), его динамизируют путём добавления **закрылков**, то есть способностью быть подвижной, гибкой, приспособляемой к внешней среде, меняющей не только свою геометрическую форму, но и форму движения своих частей, в первую очередь рабочего органа. Чем выше степень динамизации, тем, в общем случае, шире диапазон условий, при которых система сохраняет свою функцию. Например, чтобы заставить крыло самолёта эффективно работать в существенно разных режимах полёта (взлёт, крейсерский полёт, полёт на предельной скорости, посадка), его динамизируют путём добавления закрылков, **предкрылков**, то есть способностью быть подвижной, гибкой, приспособляемой к внешней среде, меняющей не только свою геометрическую форму, но и форму движения своих частей, в первую очередь рабочего органа. Чем выше степень динамизации, тем, в общем случае, шире диапазон условий, при которых система сохраняет свою функцию. Например, чтобы заставить крыло самолёта эффективно работать в существенно разных режимах полёта (взлёт, крейсерский полёт, полёт на предельной скорости, посадка), его динамизируют путём

- ▶ Другие примеры:
- ▶ В 10—20 раз снижается сопротивление движению плуга, если его лемех вибрирует с определенной частотой в зависимости от свойств грунта.
- ▶ Ковш экскаватора, превратившись в роторное колесо, породил новую высокоэффективную систему добычи полезных ископаемых.
- ▶ Автомобильное колесо из жёсткого деревянного диска с металлическим ободом стало подвижным, мягким и эластичным.

Законы развития технических систем

- ▶ Законы развития технических систем можно разделить на три группы: «статику», «кинематику» и «динамику».
- ▶ Начнем со «СТАТИКИ» — законов, которые определяют начало жизни технических систем.
- ▶ Любая техническая система возникает в результате синтеза в единое целое отдельных частей. Не всякое объединение частей дает жизнеспособную систему. Существуют по крайней мере три закона, выполнение которых необходимо для того, чтобы система оказалась жизнеспособной.

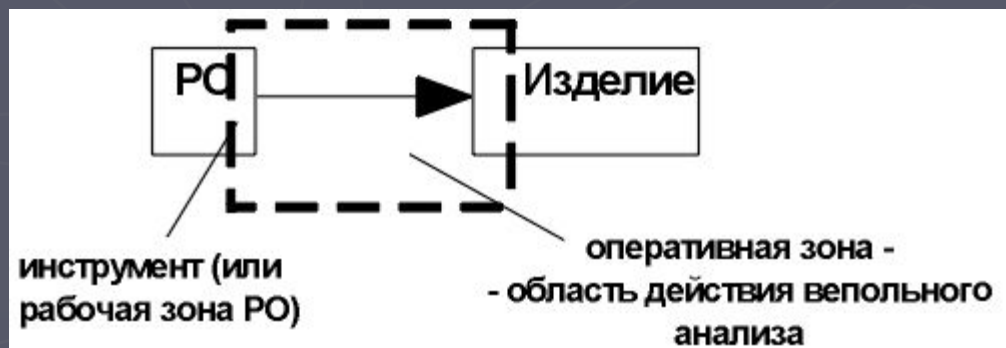
1. ЗАКОН ПОЛНОТЫ ЧАСТЕЙ СИСТЕМЫ

- ▶ *Необходимым условием принципиальной жизнеспособности технической системы является наличие и минимальная работоспособность основных частей системы.*
- ▶ Каждая техническая система должна включать четыре основные части: двигатель, трансмиссию, рабочий орган и орган управления. Смысл закона 1 заключается в том, что для синтеза технической системы необходимо наличие этих четырех частей и их минимальная пригодность к выполнению функций системы, ибо сама по себе работоспособная часть системы может оказаться неработоспособной в составе той или иной технической системы. Например, двигатель внутреннего сгорания, сам по себе работоспособный, оказывается неработоспособным, если его использовать в качестве подводного двигателя подводной лодки.
- ▶ Закон 1 можно пояснить так: техническая система жизнеспособна в том случае, если все ее части не имеют «двоек», причем «оценки» ставятся по качеству работы данной части в составе системы. Если хотя бы одна из частей оценена «двойкой», система нежизнеспособна даже при наличии «пятерок» у других частей. Аналогичный закон применительно к биологическим системам был сформулирован Либихом еще в середине прошлого века («закон минимума»).

- ▶ Любая техническая система, самостоятельно выполняющая какую-либо функцию, имеет *четыре основные части* — двигатель, трансмиссию, рабочий орган и средство управления. Если в системе отсутствует какая-либо из этих частей, то её функцию выполняет человек или окружающая среда.
- ▶ **Двигатель** — элемент технической системы, являющийся преобразователем энергии, необходимой для выполнения требуемой функции. Источник энергии может находиться либо в системе (например, бензин в баке для двигателя внутреннего сгорания автомобиля), либо в надсистеме (электроэнергия из внешней сети для электродвигателя станка).
- ▶ **Трансмиссия** — элемент, передающий энергию от двигателя к рабочему органу с преобразованием её качественных характеристик (параметров).
- ▶ **Рабочий орган** — элемент, передающий энергию на обрабатываемый объект, и завершающий выполнение требуемой функции.
- ▶ **Средство управления** — элемент, регулирующий поток энергии к частям технической системы и согласующий их работу во времени и пространстве.

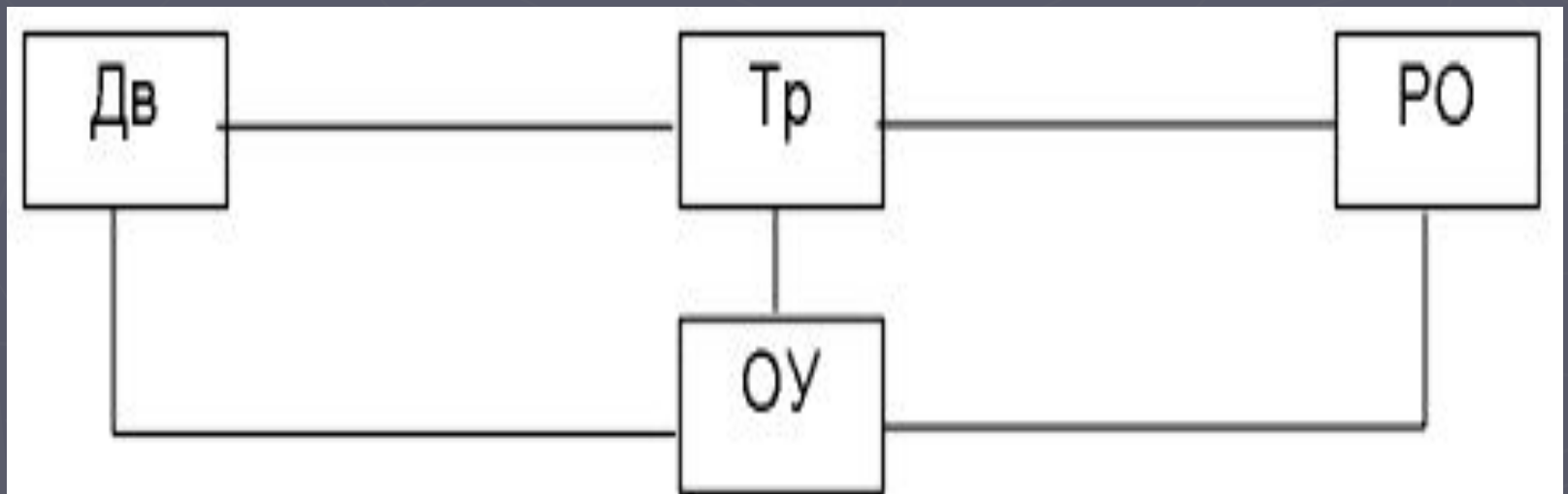
- ▶ Из закона 1 вытекает очень важное для практики следствие.
- ▶ *Чтобы техническая система была управляемой, необходимо, чтобы хотя бы одна ее часть была управляемой.*
- ▶ «Быть управляемой» — значит менять свойства так, как это надо тому, кто управляет.
- ▶ Знание этого следствия позволяет лучше понимать суть многих задач и правильнее оценивать полученные решения. Возьмем, например, задачу 37 (запайка ампул). Дана система из двух неуправляемых частей: ампулы вообще неуправляемы — их характеристики нельзя (невыгодно) менять, а горелки плохо управляемы по условиям задачи. Ясно, что решение задачи будет состоять во введении в систему еще одной части (вепольный анализ сразу подсказывает: это вещество, а не поле, как, например, в задаче 34 об окраске цилиндров). Какое вещество (газ, жидкость, твердое тело) не пустит огонь туда, куда он не должен пройти, и при этом не будет мешать установке ампул? Газ и твердое тело отпадают, остается жидкость, вода. Поставим ампулы в воду так, чтобы над водой поднимались только кончики капилляров (а.с. № 264 619). Система приобретает управляемость: можно менять уровень воды — это обеспечит изменение границы между горячей и холодной зонами. Можно менять температуру воды — это гарантирует устойчивость системы в процессе работы.

- ▶ Быть управляемой - значит менять свои свойства (параметры) так, как это надо тому, кто управляет. Например, воздушный шар (аэростат) для вертикального подъема - это управляемая ТС, т.к. с помощью клапана, выпускающего газ из шара, и мешков с песком (балласта) мы можем, хотя и плохо, управлять подъемом и опусканием шара. Но стоит предъявить к шару повышенные требования - попытаться увеличить полезную функцию за счет движения по горизонтали, как шар превратится в неуправляемую ТС. Аэростат останется неуправляемым воздушным поплавком до тех пор, пока в ТС не будет введен дополнительный управляемый элемент, например, двигатель с винтом.
- ▶ Рассматриваемое определение ТС шире, чем понятие веполя. Веполь - модель минимальной ТС, в которой отражается "борьба" и взаимодействие полей и веществ (этого достаточно лишь для нахождения идеи ответа). Реальные же ТС должны двигаться, обрабатывать изделия или информацию, преобразовывать энергию и т.д., поэтому при переходе от модели к "натуральной" системе требуется введение всех частей системы.



- ▶ Анализируя любую автономно работающую систему, будь то холодильник, часы, телевизор или авторучка, везде можно видеть эти четыре элемента.
- ▶ Примеры:
- ▶ Фрезерный станок. Рабочий орган: фреза. Двигатель: электродвигатель станка. Всё что находится между электродвигателем и фрезой можно считать трансмиссией. Средство управления — человек-оператор, рукоятки и кнопки, или программное управление (станок с программным управлением). В последнем случае программное управление «вытеснило» человека-оператора из системы.

- ▶ *Каждая ТС должна включать четыре части: двигатель, трансмиссию, рабочий орган и орган управления.*
- ▶ Для синтеза ТС необходимо наличие этих четырех частей и их минимальная пригодность к выполнению функций системы. Если хотя бы одна часть отсутствует, то это еще не ТС; если хотя бы одна не работоспособна, то ТС не "выживет".

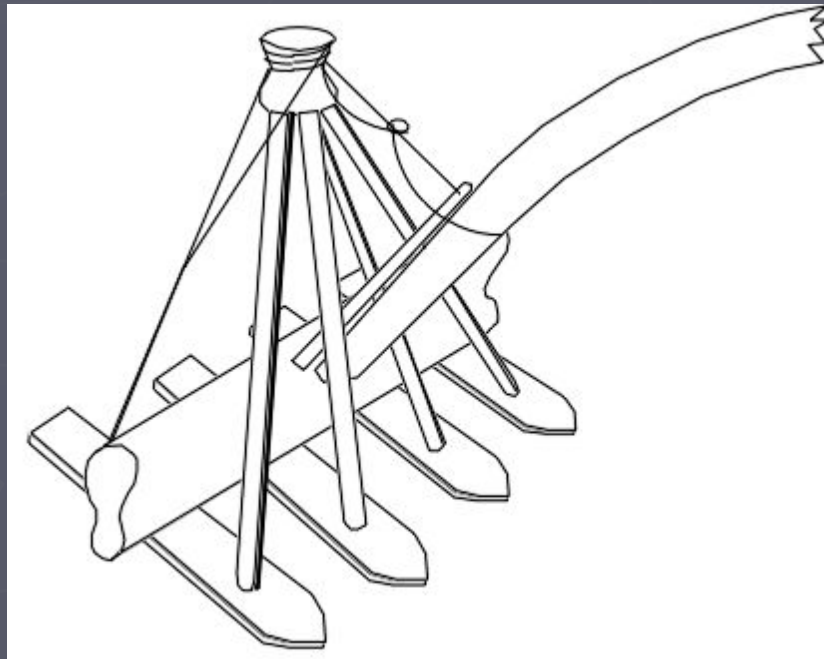


- ▶ Все первые ТС развились из орудий труда: требовалось увеличение полезной функции рабочих процессов, а человек не мог обеспечить нужную мощность. Тогда сила человека заменилась двигателем, появилась трансмиссия (связь, по которой передается энергия от двигателя на рабочий орган) и орудие труда превращалось в рабочий орган машины. А человек выполнял только роль органа управления.



- ▶ Например, мотыга и человек это не ТС. Возникновение ТС связано с изобретением плуга в неолите: плуг (рабочий орган) бороздит землю, дышло (трансмиссия) припрягается к скоту (двигателю), а рукоятью плуга управляет человек (орган управления). Сначала плугом только рыхлили. Претензии внешней среды (например, параметры почвы: твердость, влажность, глубина) заставляли искать наилучшую форму плуга. Затем увеличилась потребность: для уничтожения сорняков пласт надо не только рыхлить, но и переворачивать. Изобрели отвал (косо поставленная доска, в которую упирается поднятый лемехом пласт и валится набок). Развиваясь отвал приобретает плавную выгнутую форму (полуцилиндрическую или винтовую). В 18 в. появился цельнометаллический плуг, в 20 в. - трактор и т.д.

- ▶ А вот как плуг превратился в сеялку. Римские крестьяне (III в. до н.э.) уже пользовались сеялкой - прообразом многорядной сеялки Джеймса Кука, изобретенной им в 1783 г. Четыре деревянных лемеха соединялись прочной перекладиной. Глиняный воронкообразный горшок для посевного материала крепился сверху на четырех полых бамбуковых палках (трубках). Пахарь время от времени пополнял бункер зерном из наплечного мешка. Приходилось постукивать по бамбуку, чтобы внутри семена не "зависали".



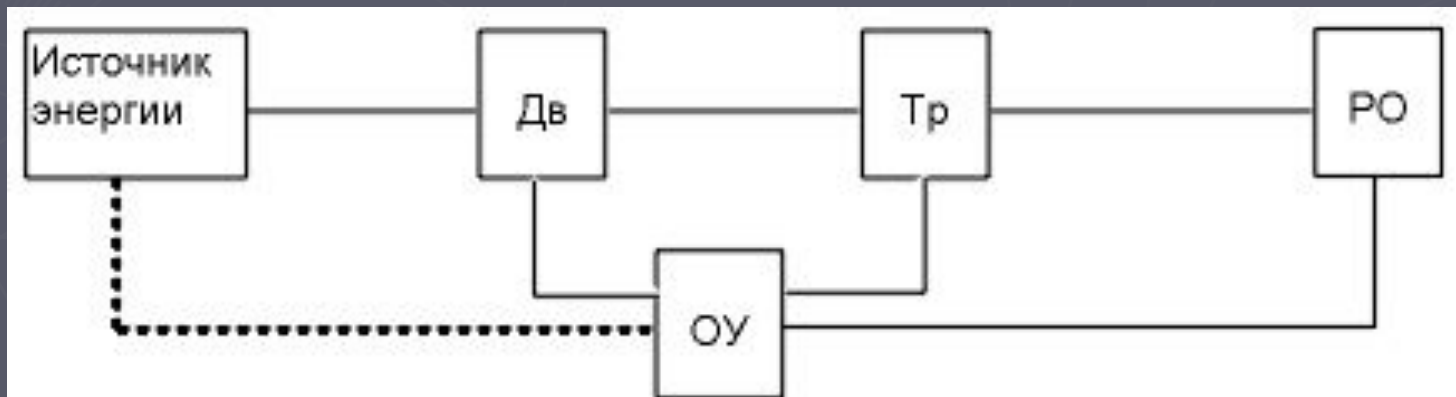
Римская сеялка (III в. до н.э.), Калькутский музей техники и ремесел.

- ▶ Если подробно рассмотреть процесс превращения орудий труда в рабочие органы машин, то можно выделить основные части машин: например, в водяной мельнице - двигатель (водяное колесо), передачу (зацепление) и рабочий орган (жернова). Кроме того, становится заметной одна из главных особенностей развития техники - вытеснение человека из сферы производства. Человек вытесняется из ТС в орган управления, затем ОУ также превращается из инструмента в техническую систему и человек вытесняется за ее пределы (на "второй этаж" органа управления) и т.д.

- ▶ В первом издании "Детской энциклопедии" (том 5 "Техника". Издательство академии педагогических наук РСФСР, М., 1960г., с.30) приводится такая характеристика технической системы: "Машина состоит из следующих основных частей:
- ▶ а) двигателя - источника механической энергии;
- ▶ б) исполнительных (рабочих) органов, непосредственно выполняющих полезную работу;
- ▶ в) передаточных механизмов (трансмиссий), преобразующих движение передаваемое от двигателя к рабочим органам;
- ▶ г) системы управления;
- ▶ д) остова (станины, корпуса, рамы), представляющих собой основание, на котором расположены все части машины".

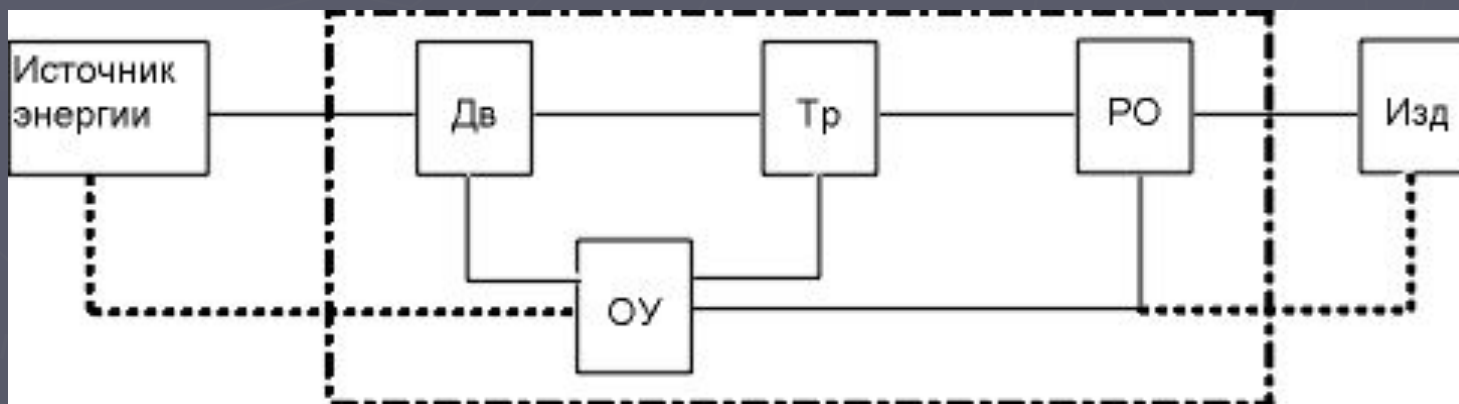
Критерий определения технических систем среди других технических объектов.

- Итак, ТС появляется, как только технический объект приобретает способность выполнять ГПФ без человека, т.е. когда к рабочему органу "пристраивается", вместо человека, трансмиссия и двигатель. Причем двигатель не следует путать с источником энергии (они совпадают, но не всегда) энергия может поступать извне (в том числе от человека), в двигателе она преобразуется в нужный для ТС вид.



- ▶ Знание закона позволяет безошибочно определить является ли данная совокупность элементов технической системой. Например, лук - это ТС, т.к. здесь имеются в наличии РО (стрела), Тр (тетива), Дв (натянутая тетива и согнутая дуга). а человек - источник энергии и орган управления. Заметьте, что один из элементов (тетива) выполняет двойную функцию (Тр и Дв) эта особенность (совмещение функций) часто встречается на первом этапе развертывания ТС (превращения в сложную систему) и на этапе свертывания ТС (далеко отстоящем от начала этапе "упрощения" системы путем замены подсистем и самой ТС "умным" веществом).
- ▶ О свертывании ТС речь впереди. А пока приведем примеры частичного совмещения функций элементов ТС:
в задаче об измерении высоты пещеры шарик (Дв), нитка (Тр и РО - измеритель высоты), человек (ОУ);
в задаче о контроле целостности зуба бура бурового инструмента - сила ломающая ампулу (ОУ, "включающий" запаховое вещество), запаховое вещество (РО), поток восходящих газов (Тр и Дв), нос человека (изделие, которое "обрабатывается" рабочим органом).

- ▶ Если в схему включить изделие, то получим полную принципиальную схему работающей ТС:

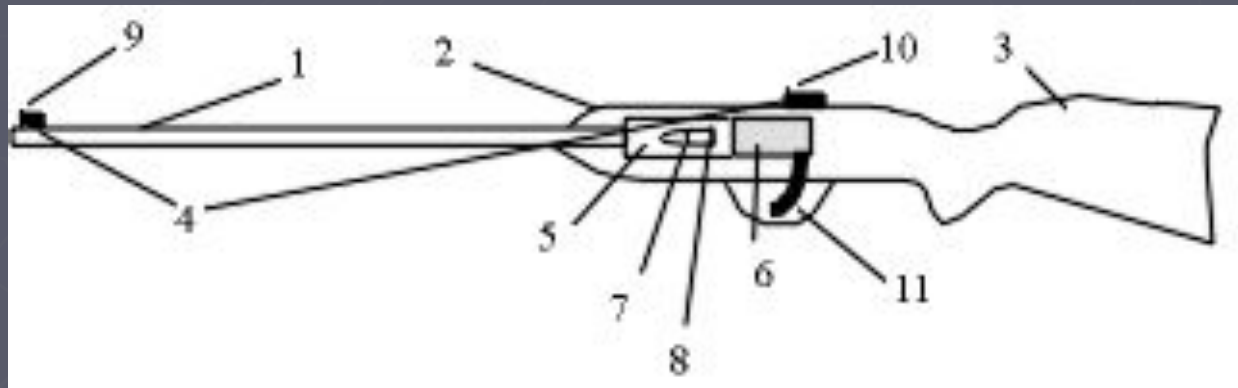


- ▶ *Пунктиром обведен состав минимальной работоспособной ТС, обеспечивающий ее жизнеспособность.*

Примеры правильного определения частей системы

- ▶ При анализе технических систем не всегда возможно без затруднений и четко определить части системы.
- ▶ Полезно при определении частей задаваться вопросами:
 - ▶ что обрабатывается? - изделие,
 - ▶ куда подводится энергия? - к РО,
 - ▶ через что подводится энергия? - Тр,
 - ▶ от чего подводится энергия? - Дв,
 - ▶ источник энергии для двигателя? - ИЭ.
- ▶ *Пример:* винтовка.
- ▶ Что обрабатывается? - пуля,
- ▶ куда подводится энергия? - пуля,
- ▶ через что подводится энергия? - ствол,
- ▶ от чего подводится? - пороховые газы,
- ▶ источник энергии? - химическая реакция (взрыв пороха).
- ▶ Здесь две ошибки.
- ▶ Неверно определено изделие. Здесь изделие вне технической системы, это мишень. Пуля - рабочий орган.
- ▶ Неверно определена трансмиссия. Энергия на рабочий орган передается газами - это Тр и одновременно двигатель (газы преобразуют энергию взрыва в поступательное движение); ствол - часть двигателя, канализует поток газов.

Структурная схема ТС винтовка: основные части



- ▶ 1 - ствол, 2 - казенная часть, 3 - приклад, 4 - прицел, 5 - камера, 6 - затвор, 7 - пуля, 8 - гильза, 9 - мушка, 10 - рамка, 11- спусковой крючок

Иерархическая структура ТС-винтовка

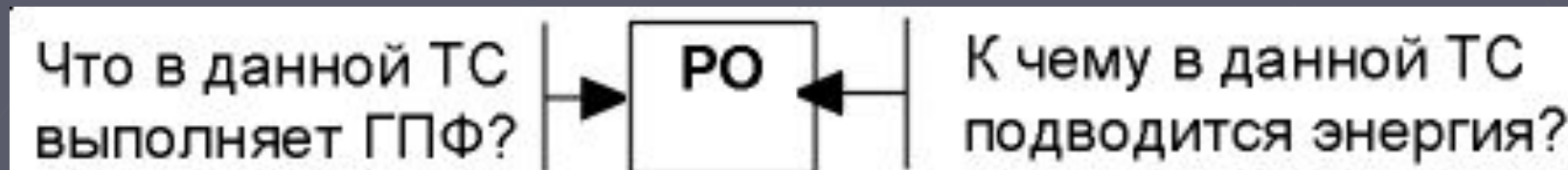
Уровень:



Пример: шприц

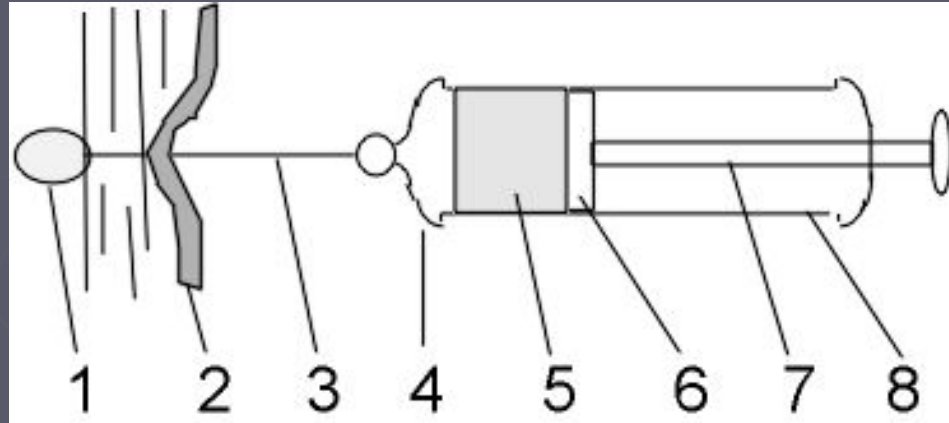
- ▶ Уже при ответе на первый вопрос (что обрабатывается?) возникают затруднения:
- ▶ тело (организм) обрабатывается лекарством (жидкостью),
- ▶ жидкость выталкивается (обрабатывается) поршнем,
- ▶ игла прокалывает (обрабатывает) кожный покров.
- ▶
- ▶ Как быть в этом случае?
- ▶ Напомним, что каждая ТС имеет определенную ГПФ, которая отражает потребность в этой ТС. ГПФ шприца - введение лекарства (жидкости) под кожный покров.

- ▶ Поэтому для более точного определения рабочего органа необходимо задавать два встречных вопроса:



- ▶ Оба вопроса "замыкаются" на рабочем органе.
- ▶ Что в шприце выполняет ГПФ, то есть вводит жидкость, выталкивает (обрабатывает) ее? - поршень.
К чему подводится энергия? - к поршню и далее, к жидкости.
- ▶ Значит РО поршень, изделие жидкость.
- ▶ Остальные части: Тр - шток, Дв - шток (выравнивает движение пальца, преобразует поступательное движение), ИЭ - рука человека, цилиндр - часть двигателя, канализует движение штока и поршня.

Шприц, техническая система



- ▶ 1 - жидкость, 2 - кожный покров, 3 - игла, 4 - канюля, 5 - жидкость, 6 - поршень, 7 - шток, 8 - цилиндр.
- ▶ А как быть с иглой? - на первый взгляд это явный РО. Да, это РО, но из другой, вспомогательной системы это подсистема для прокалывания кожного покрова. Игла (РО), канюля и цилиндр (Тр) и рука человека (Дв + ИЭ) это инструмент для обработки кожного покрова (Изд). Игла, как вспомогательный элемент исчезает первой в процессе развития ТС - в инъекционном пистолете иглы нет.

Пример: настольная лампа

- ▶ Что здесь РО? Вначале определим ГПФ: освещать рабочую поверхность стола.
Что выполняет ГПФ? - свет, оптическое излучение нити накала;
Куда подводится энергия? - к нити накала и далее к свету (электромагнитному полю в видимой части спектра).
Значит РО - свет (ЭМ-поле).
Нить накала - это Тр и Дв (преобразует электрический ток в тепловую и далее в энергию излучения).
Изделие - поверхность стола. Абажур часть рабочего органа - канализует поток света.

Пример: калорифер

- ▶ Какова ГПФ этой системы? Нагрев воздуха? - Нет, ГПФ: производство тепла (тепловое поле это РО).
- ▶ *Первый закон элементарен и очевиден. Любая ТС должна иметь четыре части, все части должны быть работоспособными и хотя бы одна из них хорошо управляемой. Однако при создании и совершенствовании ТС он часто нарушается.*
- ▶ Законы техники, к сожалению, можно нарушать, в отличие, например, от физических законов, нарушить которые невозможно при всем желании, или юридических, нарушение которых наказуемо.

2. ЗАКОН «ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ПРОВОДИМОСТИ» СИСТЕМЫ

- ▶ *Необходимым условием принципиальной жизнеспособности технической системы является сквозной проход энергии по всем частям системы.*
- ▶ Любая техническая система является преобразователем энергии. Отсюда очевидная необходимость передачи энергии от двигателя через трансмиссию к рабочему органу.

- ▶ Передача энергии от одной части системы к другой может быть вещественной (например, вал, шестерни, рычаги и т.д.), полевой (например, магнитное поле) и вещественно-полевой (например, передача энергии потоком заряженных частиц). Многие изобретательские задачи сводятся к подбору того или иного вида передачи, наиболее эффективного в заданных условиях. Такова задача 53 о нагреве вещества внутри вращающейся центрифуги. Вне центрифуги энергия есть. Имеется и «потребитель», он находится внутри центрифуги. Суть задачи — в создании «энергетического моста». Такого рода «мосты» могут быть однородными и неоднородными. Если вид энергии меняется при переходе от одной части системы к другой — это неоднородный «мост». В изобретательских задачах чаще всего приходится иметь дело именно с такими мостами. Так, в задаче 53 о нагреве вещества в центрифуге выгодно иметь электромагнитную энергию (ее передача не мешает вращению центрифуги), а внутри центрифуги нужна энергия тепловая. Особое значение имеют эффекты и явления, позволяющие управлять энергией на выходе из одной части системы или на входе в другую ее часть. В задаче 53 нагрев может быть обеспечен, если центрифуга находится в магнитном поле, а внутри центрифуги размещен, например, диск из ферромагнетика. Однако по условиям задачи требуется не просто нагревать вещество внутри центрифуги, а поддерживать постоянную температуру около 2500 С. Как бы ни менялся отбор энергии, температура диска должна быть постоянной. Это обеспечивается подачей «избыточного» поля, из которого диск отбирает энергию, достаточную для нагрева до 2500 С, после чего вещество диска «самоотключается» (переход через точку Кюри). При понижении температуры происходит «самовключение» диска.

- ▶ Итак, любая работающая система состоит из четырёх основных частей и любая из этих частей является потребителем и преобразователем энергии. Но мало преобразовать, надо ещё без потерь передать эту энергию от двигателя к рабочему органу, а от него — на обрабатываемый объект. Это закон сквозного прохода энергии. Нарушение этого закона ведёт к возникновению противоречий внутри технической системы, что в свою очередь порождает изобретательские задачи.
- ▶ Главным условием эффективности технической системы с точки зрения энергопроводимости является равенство способностей частей системы по принятию и передаче энергии.

- ▶ Примеры:
- ▶ Импедансы Импедансы передатчика Импедансы передатчика, фидера Импедансы передатчика, фидера и антенны Импедансы передатчика, фидера и антенны должны быть согласованы — в этом случае в системе устанавливается режим бегущей волны Импедансы передатчика, фидера и антенны должны быть согласованы — в этом случае в системе устанавливается режим бегущей волны, наиболее эффективный для передачи энергии. Рассогласование ведёт к появлению стоячих волн Импедансы передатчика, фидера и антенны должны быть

▶ **Первое правило энергопроводимости системы**

- ▶ Если элементы при взаимодействии друг с другом образуют энергопроводящую систему с **полезной функцией**, то для повышения её работоспособности в местах контактирования должны быть вещества с близкими или одинаковыми уровнями развития.

▶ **Второе правило энергопроводимости системы**

- ▶ Если элементы системы при взаимодействии образуют энергопроводящую систему с **вредной функцией**, то для её разрушения в местах контактирования элементов должны быть вещества с различными или противоположными уровнями развития.

- ▶ Пример:
- ▶ При застывании бетон сцепляется с опалубкой, и её трудно потом отделить. Две части хорошо согласовались между собой по уровням развития вещества — оба твёрдые, шероховатые, неподвижные и т. д. Образовалась нормальная энергопроводящая система. Чтобы не допустить её образования, нужно максимальное рассогласование веществ, например: твёрдое — жидкое, шероховатое — скользкое, неподвижное — подвижное. Здесь может быть несколько конструктивных решений — образование прослойки воды, нанесение специальных скользких покрытий, вибрация опалубки и др.

- ▶ **Третье правило энергопроводимости системы**
- ▶ Если элементы при взаимодействии друг с другом образуют энергопроводящую систему с **вредной и полезной функцией**, то в местах контактирования элементов должны быть вещества, уровень развития которых и физико-химические свойства изменяются под воздействием какого-либо управляемого вещества или поля.
- ▶ Пример:
- ▶ Согласно этому правилу выполнено большинство устройств в технике, где требуется соединять и разъединять энергопотоки в системе. Это различные муфты включения в механике, вентили в гидравлике, диоды в электронике и многое другое.

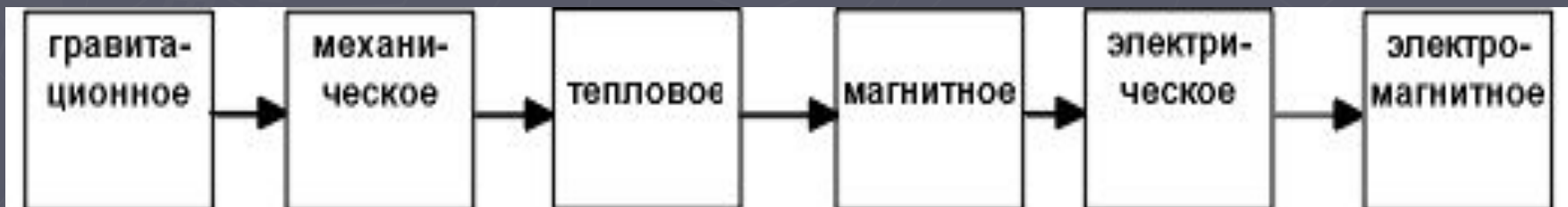
- ▶ Важное значение имеет следствие из закона 2.
- ▶ ***Чтобы часть технической системы была управляемой, необходимо обеспечить энергетическую проводимость между этой частью и органами управления.***
- ▶ В задачах на измерение и обнаружение можно говорить об информационной проводимости, но она часто сводится к энергетической, только слабой. Примером может служить решение задачи 8 об измерении диаметра шлифовального круга, работающего внутри цилиндра. Решение задачи облегчается, если рассматривать не информационную, а энергетическую проводимость. Тогда для решения задачи нужно прежде всего ответить на два вопроса: в каком виде проще всего подвести энергию к кругу и в каком виде проще всего вывести энергию сквозь стенки круга (или по валу)? Ответ очевиден: в виде электрического тока. Это еще не окончательное решение, но уже сделан шаг к правильному ответу.

Закон "энергетической проводимости"

СИСТЕМЫ

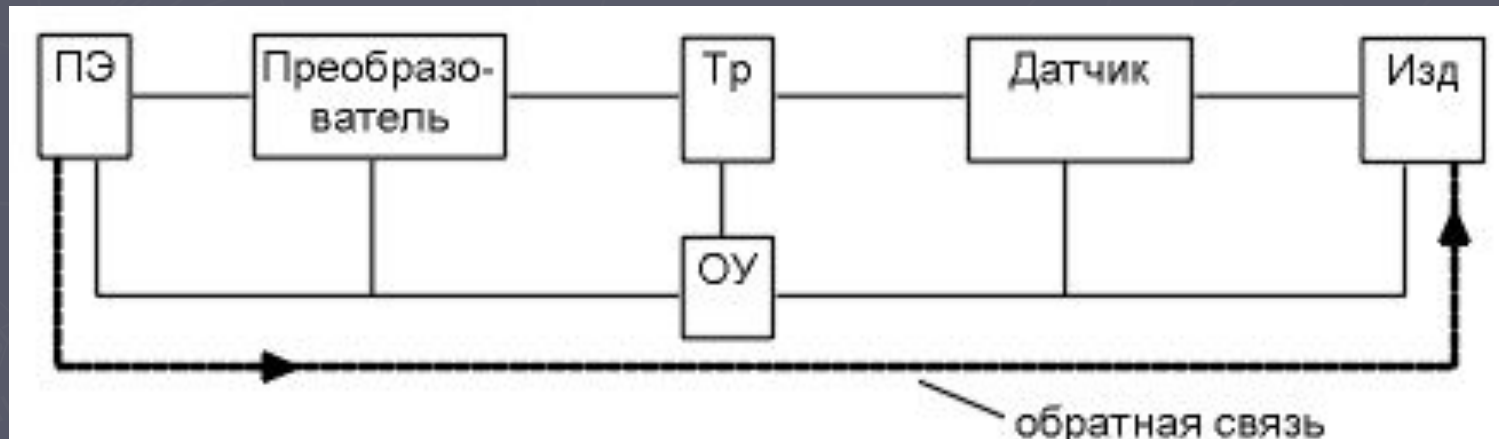
- ▶ Любая ТС является проводником и преобразователем энергии. Если энергия не будет проходить сквозь всю систему, то есть "застрянет" где-то, то какая-то часть ТС не будет получать энергию, значит не будет и работать. Энергия, поступающая извне или вырабатываемая в двигателе, идет на обеспечение работы самой ТС (всех частей), на компенсацию потерь, на измерение (контроль) параметров работы частей системы и обрабатываемого изделия. Таким образом, надо всегда стремиться к тому, чтобы ТС была не только хорошим проводником энергии, но и обеспечивала бы минимальные потери энергии (потери при преобразовании, бесполезные отходы, унос с изделием).
- ▶ Передача энергии от одной части ТС к другой может быть *вещественной* (вал, шестерня, удар чем-то и т.д.), *полевой* (магнитное поле, электрический ток и т.д.) и *вещественно-полевой* (например, поток заряженных частиц). Многие задачи сводятся к подбору поля и вида передачи, эффективных в данных условиях.

- ▶ При этом следует руководствоваться тремя правилами:
- ▶ при синтезе ТС надо стремиться к использованию одного поля (одного вида энергии) на все процессы работы и управления в системе.
- ▶ При развитии ТС (развертывании) любые новые подсистемы должны работать на энергии, проходящей сквозь систему или на бесплатной энергии (из внешней среды или в виде отходов от другой системы). Например, разработанный в Японии способ использования ветровой энергии для обогрева парников ("Знание-сила", 1988, № 3, с. 91) предусматривает превращение этой энергии непосредственно в тепло, минуя промежуточную стадию получения электроэнергии (ветросиловая установка вращает колесо компрессора, который сжимает воздух и благодаря этому нагревает его до 170 град.). Такое прямое превращение энергии дало сенсационные результаты: оно оказалось в 6 раз (!) эффективнее, чем прежний метод с использованием электричества.
- ▶ Если ТС состоит из веществ, менять которые нельзя, то используется поле, которое хорошо проводится веществами системы.
- ▶ Если вещества частей системы можно менять, то плохо управляемое поле заменяют на хорошо управляемое по цепочке:



- ▶ Одновременно заменяют вещества или вводят в них добавки, обеспечивающие хорошую проводимость энергии (вещества должны быть "прозрачными" для выбранного поля).
- ▶ Поиск наиболее эффективных сочетаний полей и веществ, переход к легко управляемым полям и подбор восприимчивых к ним веществ идет в стихийном изобретательстве запутанными и переплетающимися путями. Но наиболее прогрессивные технические решения (*повышающие идеальность системы*) всегда лежат в конце приведенной выше цепочки.
- ▶ Вот изобретения одного десятилетия (1970-е годы) по подклассу "Механизм ударного действия для забивки свай" (способы передачи удара в системе "рабочее тело (боек) - головка сваи"):
 - ▶ а.с. 258 123 - гидравлическая передача;
 - ▶ а.с. 607 885 - пневматическая передача;
 - ▶ а.с. 633 981, 647 405 - электромагнитная передача (разгон бойка в соленоиде),
 - ▶ а.с. 274 718 - электрогидравлический удар (использование эффекта Юткина);
 - ▶ а.с. 246 396 - электромагнитный молот, в котором боек заполнен внутри немагнитным материалом для увеличения массы;
 - ▶ а.с. 390 231 - поверхностный слой головки бетонной сваи пропитывается электролитом, бетон становится проводником - вместо бойка "разгоняется" сама свая.

- ▶ Все изобретательские задачи в технике делятся на два типа: задачи *на изменение ТС* (синтез, развитие) и задачи *на измерение ТС* (обнаружение, контроль параметров).
- ▶ В задачах *первого типа* направление движения энергии всегда от источника энергии (двигателя) через трансмиссию к рабочему органу и далее к изделию. В *задачах второго типа*, наоборот, требуется ловить информацию (то есть энергию или изменение энергии), исходящую от "изделия", то есть той части ТС или любого процесса в природе и технике, которую (или который) мы измеряем (обнаруживаем, контролируем). Таким образом, энергия движется в направлении от Изделия к Датчику (вместо рабочего органа), далее через Трансмиссию к Преобразователю (вместо двигателя) и, наконец к Приемнику энергии вместо ИЭ), в качестве которого обычно используется показывающий прибор (сигнализатор) или исполнительный орган.



- ▶ В случае появления *обратной связи* орган управления вытесняется из данной ТС на следующий этаж управления.
- ▶ Часто энергия, улавливаемая датчиком, подведена к изделию от этой же ТС, проходит сквозь изделие, "просвечивает" его, отражается, вызывает появление энергии другого вида или природы. Поэтому здесь система играет двойную роль - воздействует на изделие и контролирует (измеряет) его. Такой измерительный блок может состоять из двух систем или одной системы, выполняющей обе функции.

Последовательность вопросов на применение закона при решении изобретательских задач:

- ▶ есть ли в ТС сквозной проход энергии?,
- ▶ существует ли хорошая проводимость между частями ТС и ОУ?,
- ▶ какое поле лучше всего проводят вещества в ТС?,
- ▶ можно ли применить более управляемое поле?,
- ▶ какое поле лучше всего использовать для новой ПС - имеющееся или даровое?

Дополнительные вопросы для измерительных задач:

- ▶ какую энергию проще подвести к Изд.?,
- ▶ какую проще вывести и передать к ПЭ?

Особенности использования закона при решении изобретательских задач

- ▶ *Задача 1. При массовом применении роботов участились случаи их "бунта", неповиновения, непредусмотренных движений и действий, могущих привести к аварийным ситуациям. Причины: ложные срабатывания датчиков, внезапные неисправности в "мозгах" роботов. Допустим, оператор заметил, что назревает явная авария. Как с безопасного расстояния усмирить робота - мгновенно остановить его, изменить программу или вовсе выключить?*
- ▶ Решим эту задачу с точки зрения правильной энергетической проводимости. Существует ли хорошая проводимость между частями ТС (робота) и органом управления (человеком)? Нет, в этом-то, как раз, и состоит задача: как эффективно управлять роботом на расстоянии (выключать его)?
- ▶ Любые механические манипуляции (рубильники, кнопки и пр.) следует сразу отвергнуть - на них нет времени. Нужна мгновенная связь - раз! и выключил. Здесь подходит только электромагнитное поле, оно действует на расстоянии. У оператора имеется микропередатчик с излучателем света - светодиодом (как маленькая красная лампочка) - нажал кнопку и закодированный сигнал выключит робота или подаст ему любую другую команду. Но тут же возникает другая проблема: как точно (и быстро) попасть светом в приемное "окно" робота? Найдено остроумное решение - микропередатчик вмонтирован в очки оператора, для наводки достаточно посмотреть на робота (глаза наводятся очень точно!).

- ▶ *Задача 2. Для пожарных машин и машин "Скорой помощи", спешащих на вызов, дорога каждая секунда. А если на светофоре горит красный свет? Тогда им приходится или терять драгоценное время или мчаться наперерез машинам, создавая опасную ситуацию. Как быть?*
- ▶ На радиаторах этих машин устанавливается дополнительная фара, испускающая инфракрасные лучи. Детектор (приемник) на светофоре, приняв сигнал от машины, включит зеленый свет или задержит его переключение, если он уже горит, пока машина не минует перекресток. Дальность действия фары 500 м.
- ▶ В США испытывается система, позволяющая снимать показания с домашних счетчиков электроэнергии, газа и воды, просто проезжая по улице на машине, счетчики оборудуются маломощными приемо-передатчиками, которые в ответ на сигнал из проезжающего микроавтобуса выдают в эфир кодированные данные о показаниях счетчика и номер потребителя. Компьютер, установленный в фургончике, запоминает данные. За рабочий день так можно снять показания с 24 тысяч счетчиков. Это в 80 раз быстрее и в 2-3 раза дешевле, чем сбор данных контролерами-обходчиками ("Наука и жизнь", 1988, № 6, с. 68).

Способ сварки термопластичных пленок

- ▶ Одна из самых впечатляющих разработок последних лет - способ индивидуальной маркировки радиодеталей при их серийном выпуске (Институт физики и неорганической химии АН БССР). Само производство деталей высоко автоматизировано, достигнуты огромные скорости линии. Но на участке маркировки затор; ни одна из известных установок не справляется с такими объемами. Предложенный способ (НТР проблемы и решения, 1978, № 21, с. 2) основан на использовании маломощного короткоимпульсного ИК -лазера и полимера с повышенной светочувствительностью для получения четкого и стойкого изображения. В процессе изготовления детали измеряются ее характеристики (абсолютно одинаковых деталей не бывает) и тут же мгновенно маркируется (лазер управляется микропроцессором).
- ▶ Приемники инфракрасного излучения перед дверями лифта фиксируют тепловое излучение пассажиров и эти данные поступают в ЭВМ, которая подает кабину на тот этаж, где больше ожидающих. Использован бесплатный ресурс - тепло людей. В результате эффективность эксплуатации лифта возрастает на 20 процентов ("Химия и жизнь", 1984, № 9, с. 23).
- ▶ А.с. 1 004 127: Способ сварки термопластичных пленок инфракрасным излучением, по которому для увеличения скорости и повышения качества сварного шва, перед нагревом на пленку наносят светочувствительный слой, соответствующий по размерам и конфигурации свариваемому шву.

- ▶ *Задача 3. Большие помещения (склады, ангары и т.п.) нет смысла отапливать зимой, так как они редко посещаются людьми, а хранящимся в них деталям и машинам холод не причиняет вреда. Но иногда людям приходится довольно долго работать в этих помещениях и при этом выполнять действия, требующие точных и быстрых движений. Теплая одежда мешает, сковывает движения. Снять ее невозможно - холодно!, а работать в ней неудобно. Как быть?*
- ▶ Давно возникла идея снабжать человека индивидуальным подогревом (спираль, вшитая в тонкую рабочую одежду), это намного выгоднее обогрева всего помещения. Но быть подключенным к источнику тока или носить его с собой крайне неудобно. Идеальнее было бы решение, когда "изделие" (человек) обрабатывалось бы на расстоянии. Энергия должна проходить к человеку сквозь воздух, без потерь (не нагревая воздух и другие предметы). Какое поле без потерь проходит через воздух? Электромагнитное - можно использовать инфракрасные лучи (ИК-нагрев) или радиоволны сверхвысокой частоты (СВЧ-нагрев). Например, недавно в США проведены исследования по обогреву человека СВЧ-излучением с длиной волны 1 см: излучение поглощается молекулами воды в подкожном слое и возникающие тепловые ощущения такие же, как обычно; для обогрева квартиры достаточно всего 60 Вт, то есть энергии, расходуемой одной электролампочкой. Эта идея, кстати, была описана А. Беляевым в научно-фантастической повести "Изобретения профессора Вагнера" (1928 г.).

- ▶ Способ можно использовать и с другой целью: например, в ФРГ выпускается ИК-излучатель для защиты помещений (столовых, кондитерских и т.п.) от мух и других насекомых; излучение безвредно для человека, но полностью уничтожает насекомых на площади 250 кв.м.
- ▶ Изобретен также утюг с ИК-нагревом (а.с. 538 074): на внутреннюю стенку корпуса нанесено светоотражающее покрытие, а подошва прозрачная; утюгом можно гладить сразу после включения.
- ▶ Та же идея использована в конструкции радиационного паяльника (а.с. 1 081 605, 1 227 928), который способен разогревать под пайку (или под отжиг, или пластмассу и др.) участок платы, не касаясь его: прогревается пятно диаметром 5-15 мм до температуры 1300 град.
- ▶ В Англии разработана теплица с обогревом микроволнами не воздуха, а непосредственно растений. Такой способ обогрева обходится вдесятеро дешевле, чем сжигаемые нефтепродукты. Пришлось, правда, несколько изменить конструкцию остекления: на зиму стекла закрываются пластмассовыми шторками с напыленным тонким слоем металла (бронза, цинк) для отражения микроволн внутрь теплицы и пропускания солнечного света ("Изобретатель и рационализатор", 1987, № 12, с. 19). Сообщается также об использовании маломощных микроволновых обогревателей в птичниках ("Химия и жизнь", 1988, № 9, с.127).
- ▶ Определенным энергетическим "дальнодействием" обладают и другие сочетания электрических и магнитных полей, например, можно эффективно использовать индукционные токи и электродинамические силы.

- ▶ **Задача 4.** Для получения образцов сверхчистых сплавов на основе тугоплавких материалов - вольфрама, карбидов титана, циркония, ниобия и вольфрама с температурой плавления в 3000-4000 град, не подходит обычный способ плавки в тиглях. Любой тигель при таких температурах сильно загрязнит сплав. Как быть?
- ▶ Поскольку подходящих тиглей не существует, ученые попросту отказались от них (А.Фогель, В.Смирнов, В.Федоров. Получение высоких температур при плавке металлов во взвешенном состоянии в атмосфере инертного газа. "Известия АН СССР, металлы", 1975, № 9). Расплавленная капля в их установке парит ни к чему не прикасаясь над высокочастотным индуктором: наводимые проплавляемой навеской вихревые токи не только нагревают ее, но и не дают ей упасть (по закону Ленца наведенные токи стремятся предотвратить всякое изменение магнитного потока).
- ▶ Висеть в поле индуктора может, естественно, не только расплавленная капля, но и любой электропроводный материал. Меняя напряженность, частоту, давление и другие характеристики переменного магнитного поля можно перемещать деталь в пределах некоторого пространства действия поля индуктора. Если же детали (заготовке) некуда будет двигаться, то она будет деформироваться под действием электродинамических сил (два проводника со встречными токами отталкиваются).

- ▶ *Задача 5. Для укупорки бутылок используются алюминиевые колпачки, которые обжимаются вокруг горлышка специальными роликами из инструментальной стали. Ролики (от 3 до 6) забраны в специальную головку, состоящую из сорока деталей, требующих при сборке точности часового механизма. Механизм закатывает колпачок около 2 сек. на одной бутылке. Стекло подвергается значительным давлениям, часть сосудов не выдерживает, скалывается венчик горлышка. Поэтому бутылки вынужденно делают толстостенными, тяжелыми, что увеличивает расходы на транспортировку. Другой распространенный вид брака - недостаточная герметичность пробки. Требуется предложить идею нового способа укупорки бутылок теми же колпачками. Способ должен обеспечивать производительность в 100 - 1000 раз больше, чем прежний, и не ломать стекло при значительно больших отклонениях геометрических размеров горлышка и неровностях на его поверхностях. Что бы вы предложили?*
- ▶ Еще в 1924 году П.Л.Капица, исследовавший свойства сильных магнитных полей, высказал идею о возможности использования в промышленности электродинамических сил для деформирования металлических заготовок. С 60-х годов этот способ применяется в авиационной и автомобильной промышленности.
- ▶ По а.с. 455 066, 848 466 предложено устройство магнитного формования для укупорки бутылок, в котором нет движущихся частей, а точность и аккуратность обработки заготовок сравнима с газостатической штамповкой. Скорость укупорки одной бутылки 0,0001 с. ("Изобретатель и рационализатор", 1983, № 7, с. 15).

- ▶ Разработан также способ электродинамической сепарации твердых бытовых отходов с целью извлечения из них лома цветных металлов. Технология предусматривает подачу исходной смеси в рабочую зону, воздействия на нее бегущим магнитным полем, разгрузку продуктов разделения. Для более полного извлечения частиц металла воздействие магнитным полем осуществляют в противоположных направлениях в плоскости, перпендикулярной плоскости движения исходной смеси (а.с. 934 600). В системе должна быть также хорошая проводимость и для отходов энергии, например, быстрый отвод теплоты трения для предотвращения перегрева ТС. Остроумно применила это правило, но с прямо противоположными целями группа антифашистов и советских военнопленных, работавшая в войну на заводе фирмы "Даймлер-Бенц". Завод выпускал двигатели, часть которых была запрограммирована на аварию через определенное время работы. Ни одна проверка органов технического контроля Германии не смогла установить истинной причины и группа так и не была раскрыта. Суть введенного на заводе дефекта состояла в том, что после некоторой наработки двигателя прекращалась подача масла к шатунному подшипнику одного из поршней, подшипник перегревался и происходил отрыв шатуна с поршнем.
- ▶ Две задачи на измерение с использованием уже имеющихся в ТС или даровых полей.

Закон опережающего развития рабочего органа

- ▶ В технической системе основной элемент — рабочий орган. И чтобы его функция была выполнена нормально, его способности по усвоению и пропусканию энергии должны быть не меньше, чем двигатель и трансмиссия. Иначе он или сломается, или станет неэффективным, переводя значительную часть энергии в бесполезное тепло. Поэтому желательно, чтобы рабочий орган опережал в своём развитии остальные части системы, то есть обладал большей степенью динамизации по веществу, энергии или организации.
- ▶ Часто изобретатели совершают ошибку, упорно развивая трансмиссию, управление, но не рабочий орган. Такая техника, как правило, не даёт значительного прироста экономического эффекта и существенного повышения КПД.

▶ Пример:

▶ Производительность токарного станка и его техническая характеристика оставались почти неизменными на протяжении многих лет, хотя интенсивно развивались привод, трансмиссия и средства управления, потому что сам резец как рабочий орган оставался прежним, то есть неподвижной моносистемой на макроуровне. С появлением вращающихся чашечных резцов производительность станка резко поднялась. Ещё больше она возросла, когда была задействована микроструктура вещества резца: под действием электрического тока режущая кромка резца стала колебаться до нескольких раз в секунду. Наконец, благодаря газовым и лазерным резцам, полностью изменившим облик станка, достигнута невиданная ранее скорость обработки металла.

Закон перехода «моно — би — поли»

- ▶ Первый шаг — переход к **бисистемам**. Это повышает надежность системы. Кроме того, в бисистеме появляется новое качество, которое не было присуще **моно**системе.
- ▶ Переход к **поли**системам знаменует собой эволюционный этап развития, при котором приобретение новых качеств происходит только за счет количественных показателей. Расширенные организационные возможности расположения однотипных элементов в пространстве и времени позволяют полнее задействовать их возможности и ресурсы окружающей среды.
- ▶ Примеры:
 - ▶ Двухмоторный самолет (*бисистема*) надёжней своего одномоторного собрата и обладает большей маневренностью (новое качество).
 - ▶ Конструкция комбинированного велосипедного ключа (*полисистема*) привела к заметному снижению расхода металла и уменьшению габаритов в сравнении с группой отдельных ключей.
 - ▶ Лучший изобретатель — природа — продублировала особо важные части организма человека: у человека два легких, две почки, два глаза и т. д.
 - ▶ Многослойная фанера намного прочнее доски тех же размеров.

- ▶ Но на каком-то этапе развития в полисистеме начинают появляться сбои. Упряжка из более чем двенадцати лошадей становится неуправляемой, самолет с двадцатью моторами требует многократного увеличения экипажа и трудноуправляем.
- ▶ Возможности системы исчерпались. Что дальше? А дальше полисистема снова становится моносистемой... Но на качественно новом уровне. При этом новый уровень возникает только при условии повышения динамизации частей системы, в первую очередь рабочего органа.
- ▶ Примеры:
- ▶ Вспомним тот же велосипедный ключ. Когда динамизировался его рабочий орган, то есть губки стали подвижными, появился разводной ключ. Он стал моносистемой, но в то же время способным работать с многими типоразмерами болтов и гаек.
- ▶ Многочисленные колёса вездеходов превратились в одну подвижную гусеницу.
- ▶ Закон перехода «моно — би — поли» тесно связан с законом перехода с макро- на микроуровень.

3. ЗАКОН СОГЛАСОВАНИЯ РИТМИКИ ЧАСТЕЙ СИСТЕМЫ

- ▶ *Необходимым условием принципиальной жизнеспособности технической системы является согласование ритмики (частоты колебаний, периодичности) 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.
- ▶ Различают два вида колебаний собственные и вынужденные, то есть часть систем может колебаться "как ей хочется" или "как ее заставит" колебаться внешняя сила. Частота собственных колебаний неотъемлемое свойство любой части системы, оно зависит только от характеристик самого объекта (например, от размеров, массы и упругости частей в механических системах, от емкостных и индукционных характеристик в электрических системах). Но самое интересное наступает, когда частота внешних силовых (полевых) воздействий совпадает с собственной частотой колебаний это хорошо всем знакомый резонанс.
- ▶ Резонанс может быть и полезным, и вредным. Значит, для того, чтобы улучшить работу системы надо или согласовать колебания частей или, наоборот, рассогласовать их. Использование резонанса (или предупреждение его появления) чрезвычайно выгодный прием улучшение работы ТС достигается простым изменением элементов (размеров, массы, частоты), в систему ничего не надо вводить нового. Между тем этот закон часто нарушается есть множество технических решений, в которых ритмика не согласована или согласована во вредном сочетании. Поэтому большой класс задач связан с необходимостью наведения "законного" порядка в неправильно колеблющихся системах.

- ▶ **Задача 8. Дисковые пилы так сильно шумят во время работы, что персоналу рекомендуется надевать специальные звукопоглощающие наушники. Проблему попытались решить в а. с. 519320: для устранения визга предложено сжимать диск с обеих сторон подпружиненными штифтами с шариком. Это образец неразрешенного ТП: чтобы полностью погасить колебания вращающегося диска надо его сжать тисками как можно сильнее, а чтобы диск хорошо крутился, надо штифты убрать совсем. Кроме того, шарики и пружины быстро забиваются пылью и опилками и перестают работать. Как быть?**
- ▶ Из закона согласования ритмики вытекает ряд правил.
- ▶ *В технических системах действие поля должно быть согласовано (или рассогласовано) с собственной частотой изделия (или инструмента).*
- ▶ *В ТС должны быть согласованы (или рассогласованы) частоты используемых полей.*
- ▶ *Если два действия (например, измерение и изменение) несовместимы, то одно действие осуществляют в паузах другого. Любые паузы в одном действии должны быть заполнены другим полезным действием.*
- ▶ *Если требуется измерять характеристики системы, изменение которых влияет на изменение собственной частоты колебаний, то действие внешнего поля согласовывают (или рассогласовывают) с собственной частотой системы и по наступлению резонанса судят об изменениях контролируемых характеристик.*
- ▶ Рассмотрим подробнее некоторые особенности применения правил в конкретных изобретательских ситуациях.

- ▶ **Использование резонанса - согласование частоты внешнего действия (поля) с собственной частотой системы или ее элемента.**
- ▶ *С наибольшей амплитудой колеблются объекты при точном совпадении частот. При этом извне затрачивается минимум энергии на поддержание резонанса, а внутрь системы поступает максимум из подводимой энергии.*
- ▶ А.с. 1263584: способ транспортирования сыпучего материала, включающий подачу материала на движущуюся с помощью барабанов ленту, генерирование в ленте и упруго установленных роликовых опорах резонансных колебаний барабанами с частотой, равной частоте собственных колебаний груженой ленты и упруго закрепленных роликовых опор, отличающийся тем, что с целью снижения энергетических потерь путем стабилизации процесса колебаний в ленте с материалом, подачу материала на ленту осуществляют отдельными равными порциями с частотой, равной частоте собственных колебаний груженой ленты и упруго установленных роликовых опор.
- ▶ А.с. 637597: способ нагрева газа путем подачи сверхзвуковой струи в камеру и возбуждения в ней резонансных колебаний с чередующимся сжатием и расширением потока при заполнении и опорожнении камеры, отличающийся тем, что с целью интенсификации нагрева, струю подают периодически после опорожнения камеры с частотой резонансных колебаний.

Улучшение качества сварного шва

- ▶ При наступлении резонанса разные части системы колеблются с разной амплитудой от максимальной до минимальной (нулевая амплитуда - в узлах колебаний). Поэтому разные участки испытывают различные напряжения. Это полезно, например, при снятии (перераспределении) вредных напряженных состояний.
- ▶ А.с. 1052550: способ снятия остаточных напряжений в металлических деталях преимущественно замкнутого контура, включающий возбуждение в нескольких точках детали вибрации на резонансной частоте, отличающийся тем, что с целью равномерного снятия остаточных напряжений вибрацию в точках возбуждают последовательно по периметру детали, при этом каждое последующее место возбуждения вибрации располагают в узле колебаний предыдущей точки возбуждения.
- ▶ Если частота собственных колебаний объекта меняется по неизвестному нам закону, то необходимо организовать обратную связь между объектом и генератором (источником внешнего поля).
- ▶ А.с. 919818: для улучшения качества сварного шва предложено перемешивать металл в зоне плавления (сварочная ванна); такое перемешивание должно быть интенсивным и быстрым, поэтому используют внешнее переменное магнитное поле с частотой, совпадающей с частотой собственных колебаний сварочной ванны; однако размеры и масса (а значит и собственная частота ванны постоянно меняются). Как быть?
Предложено ввести обратную связь: улавливается спектр электромагнитных волн, генерируемых самой ванной и этот спектр задает частоту переменного магнитного поля.

- ▶ **Согласование (рассогласование) ритмики работы частей системы.**
- ▶ В процессе работы (взаимодействия) разные части системы, главным образом - инструмент и изделие, должны быть согласованы между собой по частоте для лучшего взаимодействия или рассогласованы для предотвращения вредного взаимодействия. Причем, выгодно согласование (рассогласование) не только собственных частот колебаний, но и всего лишь отдельных характеристик, влияющих на эту частоту - скорости, массы, размеров, формы, упругости и др. Иногда само понятие частоты даже и не фигурирует в решениях.

- ▶ Когда самолет садится, видны клубы дыма - это его колеса касаются земли, происходит удар и колеса раскручиваются, пробуксовывая. При этом колеса сильно изнашиваются. Явное несогласование ритмики колеса (инструмента) и посадочной полосы (изделия). По пат. Франции 2600619 (рис. 11) предложено на боковые поверхности колес установить лопатки - встречный поток раскрутит колеса перед посадкой.

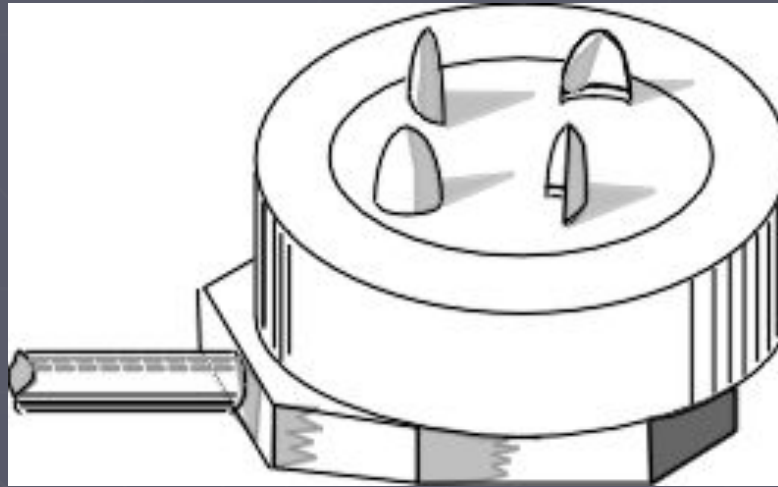


Рис. 11. Колесо самолета по пат. Франции 2600619.

А.с. 639546: способ местного теплового воздействия (инструмент) на нервные волокна (изделие) ритмически изменяющимся тепловым полем с частотой в ритме дыхания.

Предотвращение или нейтрализация резонанса - рассогласование собственной частоты системы с частотой внешнего действия или организация противодействия.

- ▶ Существует несколько возможностей исключения вредного действия резонанса:
- ▶ *Уклонение от резонанса путем изменения частоты собственных колебаний.*
- ▶ *Организация взаимонейтрализации двух (или более) вредных действий.*
- ▶ *Введение второго внешнего действия в противофазе к вредному.*
- ▶ *Самонейтрализация вредного действия путем его разделения на два, сдвига одного из них по фазе и их столкновение.*
- ▶ *Самонейтрализация вредного действия путем введения дополнительных грузов со смещающимся центром тяжести.*
- ▶ *Ликвидация источника внешнего действия.*

- ▶ Дисковая пила ([задача 8](#)) визжит потому, что ее зубья расположены через равные промежутки и ударные волны складываются в сильные резонансные колебания; для разрушения резонанса достаточно сделать зубья с разной величиной, шагом или отгибом от плоскости резания.

Явление самосинхронизации вращающихся тел: вред и польза

- ▶ Резонанс особенно опасен в системах с многими вращающимися частями. В таких системах резонанс может возникнуть самопроизвольно за счет явления синхронизации вращающихся тел (открытие № 333, 1987 г.): все системы с вращающимися телами стремятся к самоорганизации, стараются выбрать один ритм, работать синхронно. Например, на одной из ткацких фабрик столкнулись с необъяснимыми авариями - станки часто ломались, просто рассыпались на составные части. Анализ системы показал, что причина в самосинхронизации, двигатели ткацких станков подстраивались друг под друга, машины входили в резонанс и разрушали сами себя. Простой и единственный выход - разрушить резонанс, переставить двигатели, убрать лишние связи ("Техника молодежи", 1988, № 4, с.13).

Использование колебаний и резонанса в задачах на измерение (обнаружение)

- ▶ Если невозможно определить изменения собственной частоты системы, то используют присоединенные объекты проводят анализ изменения частоты собственных колебаний такого объекта и по нему судят об изменениях в системе.
- ▶ А.с. 630577: способ дефектоскопии изделий, заключающийся в том, что в контролируемом изделии возбуждают упругие колебания с помощью датчика с бойком, измеряют параметры колебаний бойка и по ним судят о наличии дефектов в изделии, отличающийся тем, что с целью повышения точности контроля, в качестве параметров колебаний бойка используют амплитуду и ширину спектра его собственных колебаний.
- ▶ А.с. 900178: способ неразрушающего контроля элементов конструкции, заключающийся в том, что в контролируемом элементе возбуждают изгибные колебания, измеряют его собственную частоту и по ней рассчитывают параметры состояния элементов конструкции, отличающийся тем, что с целью повышения точности измерения на контролируемом и соседнем с ним элементе закрепляют дополнительные сосредоточенные массы и измеряют собственную частоту совпадения собственных частот колебаний контролируемого элемента при различных значениях дополнительно сосредоточенной массы на соседнем элементе.

- ▶ К «КИНЕМАТИКЕ» относятся законы, определяющие развитие технических систем, независимо от конкретных технических и физических факторов, обуславливающих это развитие.

4. ЗАКОН УВЕЛИЧЕНИЯ СТЕПЕНИ ИДЕАЛЬНОСТИ СИСТЕМЫ

- ▶ *Развитие всех систем идет в направлении увеличения степени идеальности.*
- ▶ Идеальная техническая система — это система, вес, объем и площадь которой стремятся к нулю, хотя ее способность выполнять работу при этом не уменьшается. Иначе говоря, идеальная система — это когда системы нет, а функция ее сохраняется и выполняется.
- ▶ Несмотря на очевидность понятия «идеальная техническая система», существует определенный парадокс: реальные системы становятся все более крупноразмерными и тяжелыми. Увеличиваются размеры и вес самолетов, танкеров, автомобилей и т.д. Парадокс этот объясняется тем, что высвобожденные при совершенствовании системы резервы направляются на увеличение ее размеров и, главное, повышение рабочих параметров. Первые автомобили имели скорость 15–20 км/ч. Если бы эта скорость не увеличивалась, постепенно появились бы автомобили, намного более легкие и компактные с той же прочностью и комфортабельностью.

- ▶ Однако каждое усовершенствование в автомобиле (использование более прочных материалов, повышение к.п.д. двигателя и т.д.) направлялось на увеличение скорости автомобиля и того, что «обслуживает» эту скорость (мощная тормозная система, прочный кузов, усиленная амортизация). Чтобы наглядно увидеть возрастание степени идеальности автомобиля, надо сравнить современный автомобиль со старым рекордным автомобилем, имевшим ту же скорость (на той же дистанции).
- ▶ Видимый вторичный процесс (рост скорости, мощностей, тоннажа и т.д.) маскирует первичный процесс увеличения степени идеальности технической системы. Но при решении изобретательских задач необходимо ориентироваться именно на увеличение степени идеальности — это надежный критерий для корректировки задачи и оценки полученного ответа.

- ▶ Техническая система в своём развитии приближается к идеальности. Достигнув идеала, система должна исчезнуть, а её функция продолжать выполняться.
- ▶ Основные пути приближения к идеалу:
 - ▶ повышение количества выполняемых функций,
 - ▶ «свертывание» в рабочий орган,
 - ▶ переход в надсистему.
- ▶ При приближении к идеалу техническая система вначале борется с силами природы, затем приспосабливается к ним и, наконец, использует их для своих целей.
- ▶ Закон увеличения идеальности наиболее эффективно применяется к тому элементу, который непосредственно расположен в зоне возникновения конфликта или сам порождает нежелательные явления. При этом повышение степени идеальности, как правило, осуществляется применением незадействованных ранее ресурсов (веществ, полей), имеющих в зоне возникновения задачи. Чем дальше от зоны возникновения конфликта будут взяты ресурсы, тем в меньшей степени удастся продвинуться к идеалу.

5. ЗАКОН НЕРАВНОМЕРНОСТИ РАЗВИТИЯ ЧАСТЕЙ СИСТЕМЫ

- ▶ *Развитие частей системы идет неравномерно; чем сложнее система, тем неравномернее развитие ее частей.*
- ▶ Неравномерность развития частей системы является причиной возникновения технических и физических противоречий и, следовательно, изобретательских задач. Например, когда начался быстрый рост тоннажа грузовых судов, мощность двигателей быстро увеличилась, а средства торможения остались без изменения. В результате возникла задача: как тормозить, скажем, танкер водоизмещением 200 тыс. тонн. Задача эта до сих пор не имеет эффективного решения: от начала торможения до полной остановки крупные корабли успевают пройти несколько миль...

6. ЗАКОН ПЕРЕХОДА В НАДСИСТЕМУ

- ▶ *Исчерпав возможности развития, система включается в надсистему в качестве одной из частей; при этом дальнейшее развитие идет на уровне надсистемы.*
- ▶ Об этом законе мы уже говорили.

- ▶ Перейдем к «ДИНАМИКЕ».
- ▶ Она включает законы, отражающие развитие современных технических систем под действием конкретных технических и физических факторов. Законы «статики» и «кинематики» универсальны — они справедливы во все времена и не только применительно к техническим системам, но и к любым системам вообще (биологическим и т.д.). «Динамика» отражает главные тенденции развития технических систем именно в наше время.

7. ЗАКОН ПЕРЕХОДА С МАКРОУРОВНЯ НА МИКРОУРОВЕНЬ

- ▶ *Развитие рабочих органов системы идет сначала на макро-, а затем на микроуровне.*
- ▶ В большинстве современных технических систем рабочими органами являются «железки», например винты самолета, колеса автомобиля, резцы токарного станка, ковш экскаватора и т.д. Возможно развитие таких рабочих органов в пределах макроуровня: «железки» остаются «железками», но становятся более совершенными. Однако неизбежно наступает момент, когда дальнейшее развитие на макроуровне оказывается невозможным. Система, сохраняя свою функцию, принципиально перестраивается: ее рабочий орган начинает действовать на микроуровне. Вместо «железок» работа осуществляется молекулами, атомами, ионами, электронами и т.д.
- ▶ Переход с макро- на микроуровень — одна из главных (если не самая главная) тенденций развития современных технических систем. Поэтому при обучении решению изобретательских задач особое внимание приходится обращать на рассмотрение перехода «макро-микро» и физических эффектов, реализующих этот переход.

- ▶ Переход с макро- на микроуровень — главная тенденция развития всех современных технических систем.
- ▶ Для достижения высоких результатов задействуются возможности структуры вещества. Вначале используется кристаллическая решетка, затем ассоциации молекул, единичная молекула, часть молекулы, атом и, наконец, части атома.
- ▶ Пример:
- ▶ В погоне за грузоподъемностью на закате поршневой эры самолёты снабжались шестью, двенадцатью и более моторами. Затем рабочий орган — винт — всё же перешел на микроуровень, став газовой струёй.

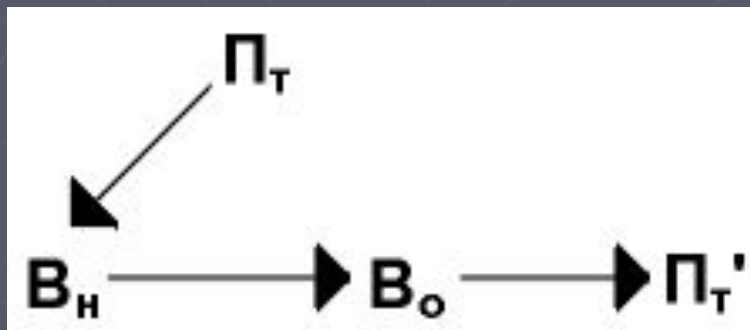
8. ЗАКОН УВЕЛИЧЕНИЯ СТЕПЕНИ ВЕПОЛЬНОСТИ

- ▶ *Развитие технических систем идет в направлении увеличения степени вепольности.*
- ▶ Смысл этого закона заключается в том, что невепольные системы стремятся стать вепольными, а в вепольных системах развитие идет в направлении перехода от механических полей к электромагнитным; увеличения степени дисперсности веществ, числа связей между элементами и отзывчивости системы.
- ▶ Многочисленные примеры, иллюстрирующие этот закон, уже встречались при решении задач.

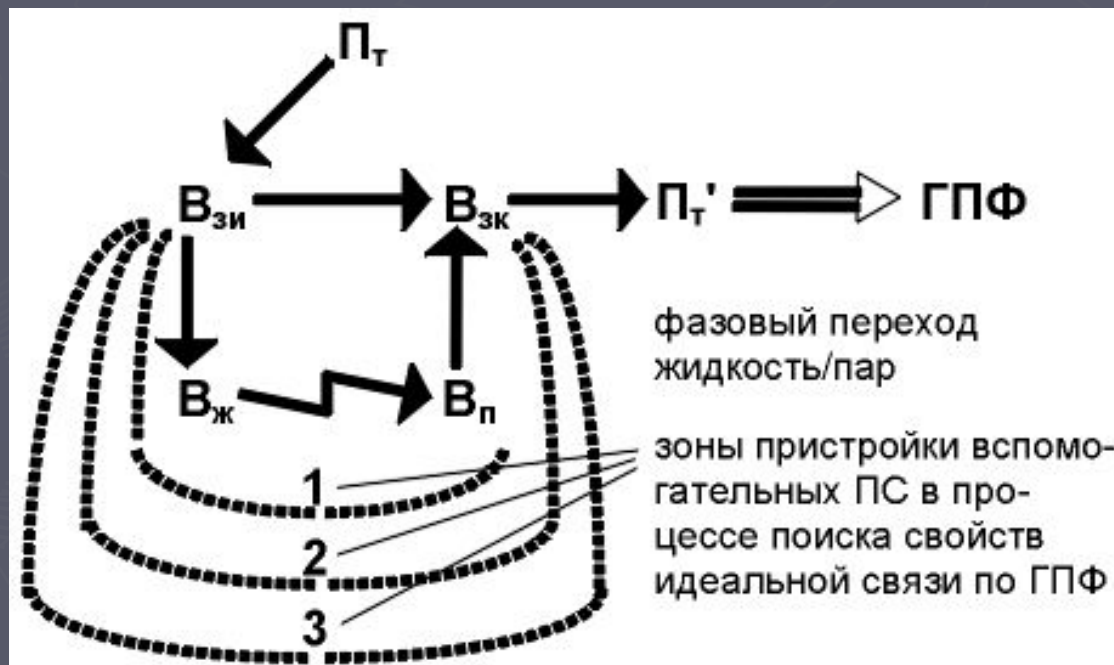
Формулировка закона и основные направления усложнения систем

- ▶ *Развитие технических систем идет в направлении увеличения степени вепольности: невепольные системы стремятся стать вепольными, а в вепольных системах развитие идет путем увеличения числа связей между элементами, повышения отзывчивости (чувствительности) элементов, увеличения количества элементов .*
- ▶ Закон справедлив для периода развертывания технических систем. В сущности, это закон развертывания (усложнения) веполей - ведь любую ТС можно представить как некую совокупность простых веполей.
- ▶ Как возникают ТС?
Появившаяся потребность обеспечивается вначале простым веполем: изделие, обрабатываемое орудием труда (инструментом) и сила человека. Но при функционировании первого веполя постепенно выявляются его недостатки и возникают новые потребности в увеличении полезной функции, в устранении участия человека, в присоединении к ТС новых полезных функций, в устранении вредных (побочных) функций и т.д. Все эти потребности поочередно воплощаются в дополнительные подсистемы ТС, у которых, в свою очередь, проявляются недостатки и т.д.

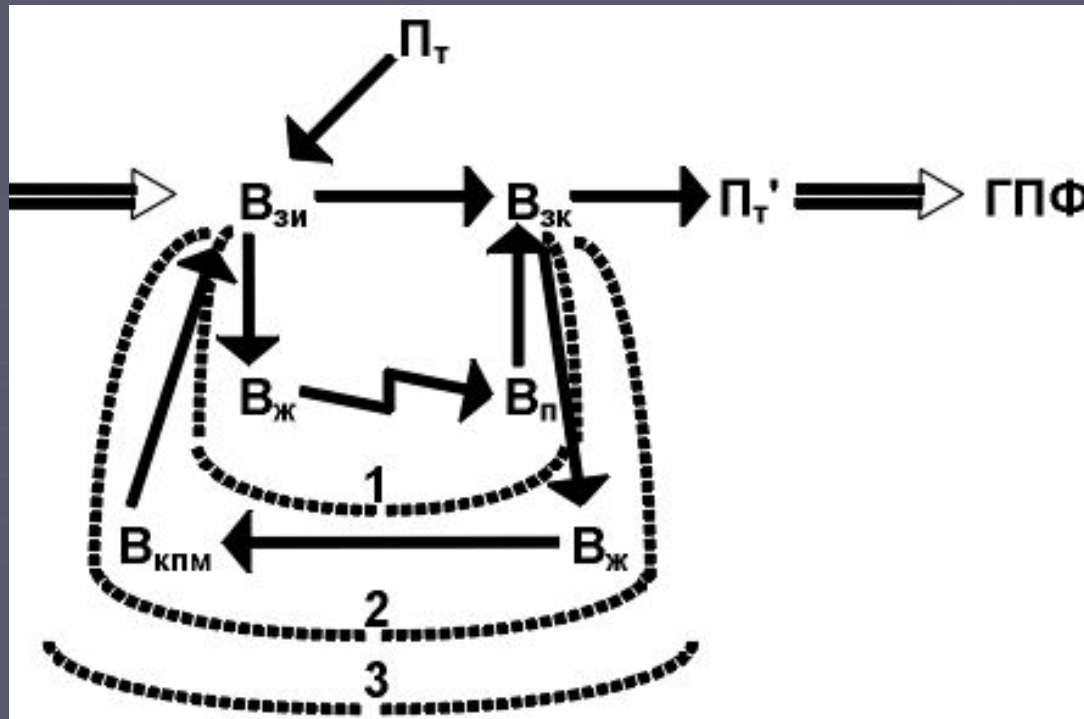
- ▶ Так возникли все современные сложные ТС, ведущие свою родословную от камня, палки, колеса. Разумеется, сложность не может увеличиваться бесконечно, на определенном этапе развития ТС наталкивается на ограничения (физические, экономические, экологические) и наступает период свертывания ТС в идеальное вещество...
- ▶ *Общий смысл закона:* разворачивается (усложняется) та часть (элемент) веполя, которая испытывает наибольшее затруднение при выполнении ГПФ системы (или при увеличении ГПФ). Причем, "больным" местом может быть любой элемент или связь в веполе.
- ▶ Возьмем в качестве примера тепловую трубу. Потребность в передаче тепла на расстояние определила ГПФ будущей системы: передача тепла от одной точки к другой. Простейший способ теплопередачи связь между точками с помощью металлического стержня. Примем эту связь (условно) предшественником тепловой трубы и изобразим эту систему в вепольной форме:



- Здесь один конец стержня V_n - зона нагрева, второй конец V_o - зона охлаждения (отдачи тепла P_t нагреваемому телу). Разница между P_t и P'_t терялась в процессе передачи по связи. Поэтому связь, выполняющая ГПФ, испытывала наибольшие требования по повышению эффективности - она и развивалась. Следующий этап развития - термосифон (труба с рабочей жидкостью - водой):



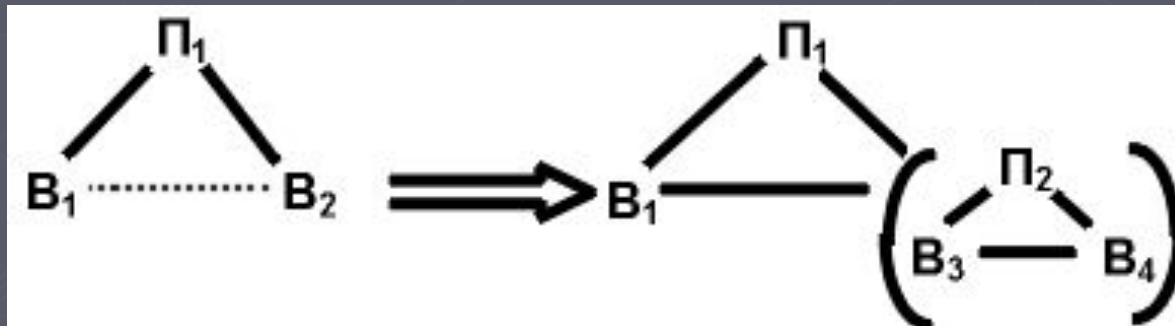
- ▶ Здесь $V_{зи}$ - зона испарения в термосифоне, то есть приемник тепла, $V_{зк}$ - зона конденсации пара в жидкость, то есть зона отдачи тепла, $V_{ж}$ - рабочая жидкость, $V_{п}$ - пар.
- ▶ Следующий этап - тепловая труба Гоглера, в которой к термосифону добавлена новая подсистема - возврата сконденсированной жидкости к зоне испарения с помощью фитиля (капиллярно-пористого материала):



- ▶ Итак, развертывание веполей - это обязательный этап развития любых систем.
- ▶ Развертывание осуществляется следующим образом:
- ▶ мобилизуются ВПР - за счет более полного использования имеющихся и применения "даровых" веществ и полей;
- ▶ в веполи вводят вещества и поля, которые позволяют без существенного усложнения реализовать новые ФЭ, расширить функциональные возможности системы и тем самым повысить степень ее идеальности;
- ▶ если не удастся использовать ВПР, новые ФЭ, то систему "достраивают" новыми полезно-функциональными ПС, которые увеличивают ГПФ системы, но и усложняют ее (это "черновики" будущих идеальных веществ).

Образование цепного веполя

- ▶ Если нужно повысить эффективность вепольной системы, задачу решают превращением одной из частей веполя в независимо управляемый веполь с образованием цепного веполя.
- ▶ а) разворачивание вещества в веполь:



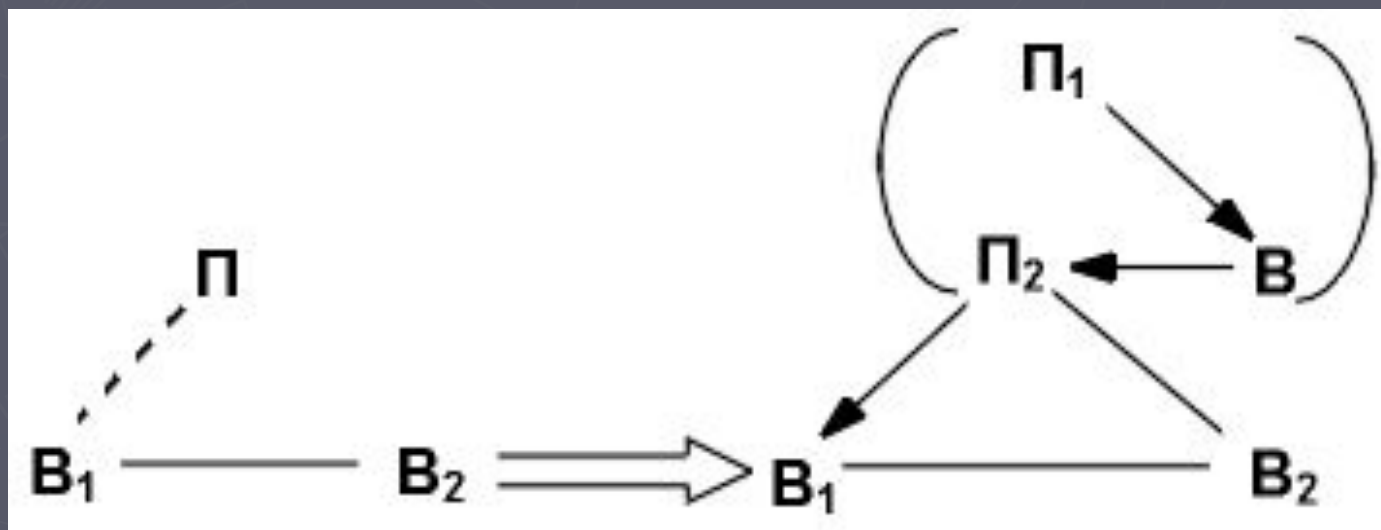
- ▶ B_3 или B_4 , в свою очередь, могут быть развернуты в веполь.

- б) развертывание связей в веполе:



В этом случае в связь $V_1 - V_2$ встраивается звено $\Pi_2 - V_3$.

- в) развертывание поля в веполе:

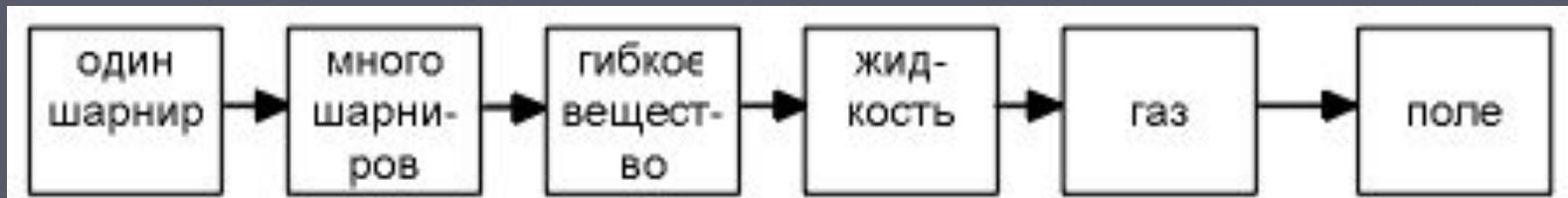


- ▶ *Пример 94.* Существует система доска, на которой пишут мелом. Функция писать на доске. Эту же функцию можно выполнить, если писать. Более общая функция оставлять изображение. Ее можно выполнить, если писать на больших листах бумаги, например, фломастером. Можно проектировать изображение на экран с помощью проектора, соединенного с компьютером.
- ▶ При придании системе дополнительных функций систему объединяют с другой функцией. В общем случае это может происходить по технологии описанной ниже. В качестве примера можно привести радио с часами.
- ▶ Г.Альтшуллер сформулировал закон перехода в надсистему формулируется следующим образом: исчерпав ресурсы развития, система объединяется с другой системой, образуя новую, более сложную систему. Кроме того, Альтшуллер предложил механизм такого перехода. Он состоит в объединении двух исходных систем, при этом получают бисистему, или нескольких систем с получением полисистемы. Переход "моно-би-поли" - неизбежный этап в развитии всех технических систем. Механизм перехода "моно-би-поли". После объединения систем в би- или полисистему происходит некоторое изменение новой системы. При этом сокращаются вспомогательные элементы, и устанавливается более тесная связь между отдельными системами. Такие системы называются частично свернутыми.

Закон динамизации технических систем

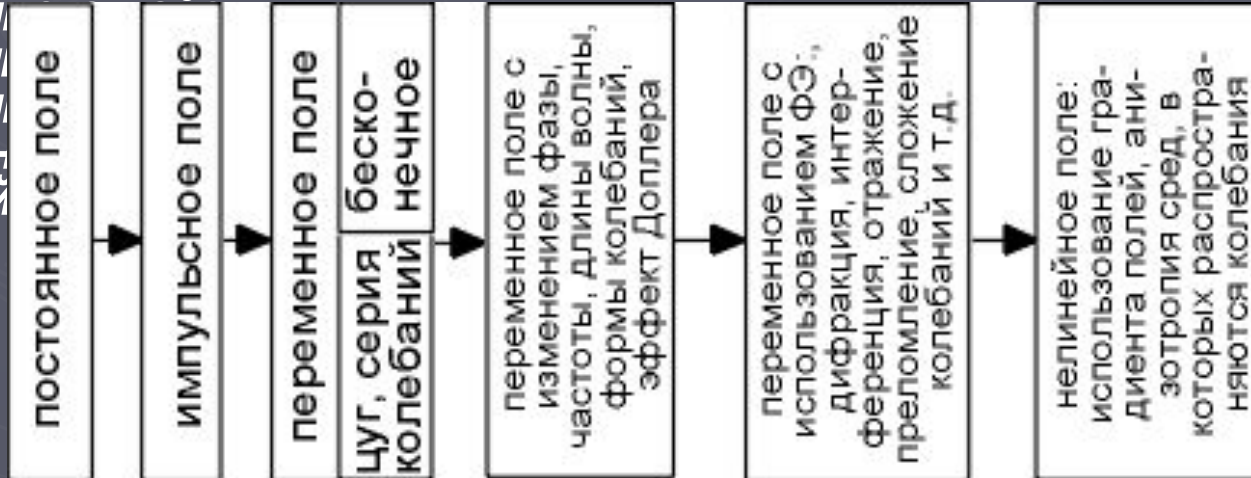
- ▶ Жесткие системы, для повышения их эффективности должны становиться динамичными, то есть переходить к более гибкой, быстро меняющейся структуре и к режиму работы, подстраивающемуся под изменения внешней среды.
- ▶ С момента синтеза и на первых этапах развития ТС имеют обычно жесткие внутренние связи, в них отсутствуют подсистемы для изменения режима работы в зависимости от изменения внешних условий. Из-за этого системы легко уязвимы, часто выходят из строя, недолговечны. Поэтому этап динамизации (адаптации) неизбежен.
- ▶ Для механических систем он начинается обычно с перехода от неподвижных частей к движущимся, жесткая связь (или конструкция) "ломается" и в этом месте вводится шарнир, жесткие элементы заменяются на гибкие, на гидро- и пневмоконструкции, используется вибрация, периодическое изменение формы и др.
- ▶ Для последующих этапов динамизации характерно использование физических и химических эффектов и явлений, введение обратной связи, первые стадии самоорганизации, замена систем и подсистем идеальными веществами, "интеллектуализация" техники.

- ▶ На законе основаны два стандартных направления решения изобретательских задач:
- ▶ **1) Динамизация вещества системы.**
- ▶ Динамизация начинается обычно с разделения вещества на две шарнирно соединенные части; далее динамизация идет по линии: **один шарнир - много шарниров - гибкое вещество - жидкость - газ; иногда динамизация заканчивается заменой вещественной связи полевой:**



- ▶ **2) Динамизация поля**
- ▶ - в простейшем случае осуществляется переходом от

постоянной к импульсному действию, переменному, нелинейному



- ▶ 2) **Динамизация поля**
- ▶ - в простейшем случае осуществляется переходом от постоянного действия к импульсному действию, затем к переменным и нелинейным полям.
- ▶ Обе цепочки динамизации отражают лишь наиболее характерные этапы изменений в системах. Не обязательно все этапы "проходят" системы и не все системы "доходят" в своем развитии до конца цепочек.

