

Принцип действия: определение, место в системе, практика применения

Алексей Захаров

Дуб: Билет № 7, первый вопрос: «Принцип работы синхрофазотрона». Костя, как слышимость? Как слышно? Как меня слышишь? Прием...

Костя: Понял, понял. Слышу тебя нормально, нормально тебя слышу. Отвечаю на первый вопрос 7-го билета. В основу работы синхрофазотрона положен принцип¹ ускорения заряженных частиц магнитным полем, полем-м-м-м...

Новелла «Наваждение» из фильма «Операция Ы и другие приключения Шурика», Л.Гайдай, 1965 г.

Принцип действия систем² - важная для ТРИЗ тема исследований. Она охватывает вопросы моделирования систем, функциональный анализ и синтез, законы развития систем, методы прогнозирования переносом функций и трендов подобных систем, вопросы определения терминов и понятий в этой области. Практически все специалисты по ТРИЗ используют этот термин в своём лексиконе, однако до сих пор нет единого чёткого понимания, что же это такое.

Действительно, судя даже по аннотациям статей заявленных участников Саммита-2011, разноречивой во мнениях присутствует:

- Принцип действия технической системы определяется как совокупность выполняемых ею функций. Под совокупностью понимается иерархическое «дерево функций».
- Принцип действия систем – это модель функционально-ориентированных систем.
- Принцип действия - это что-то вроде "особенностей взаимодействия элементов системы друг с другом и с надсистемой...".
- ... четкой формулировки понятия "Принцип действия" найти не удалось.
- ... в настоящее время отсутствует общепризнанный способ выявления и формулирования принципа действия технической системы.

Но, может быть, все не так уж плохо, и найти определение принципа действия, хотя бы для начала обсуждения, можно? Ну, попробуем...

ПРИНЦИП ДЕЙСТВИЯ³ - представление технической системы в виде принципиальной схемы, в которой в упрощенной форме показаны основные конструктивные элементы и указаны во взаимосвязи действующие физические эффекты (могут быть и другие эффекты), служащие основой работы технической системы.

¹ Увы, подсказка неверна! В основу работы синхрофазотрона положен принцип ускорения заряженных частиц электрическим полем, а магнитное поле используется для изменения кривизны траектории частицы.

² **О проведении ТРИЗ Саммита 2011.** Информационное письмо № 1, 30 ноября 2010 г. <http://www.triz-summit.ru/ru/section.php?docId=4902>

³ **Техническое творчество: теория, методология, практика.** Энциклопедический словарь-справочник / Под ред. А.И.Половинкина, В.В.Попова. М.: НПО «Информ-система», 1995. 408 с.: ил., с. 138, <http://doc.unicor.ru/tt>

А вот публикация, весьма близкая к ТРИЗ:

Особенности использования в технической системе природных явлений и эффектов, направленных на выполнение главной полезной функции (ГПФ), составляют принцип действия системы. Это важная характеристика ТС, ее существенный признак, по которому различают средства выполнения одной и той же функции.

Как и ТС в целом, каждая подсистема имеет свой принцип действия.⁴

Последнее замечание я понимаю так: принцип действия ТС может быть сформулирован только на самом верхнем иерархическом уровне системы. Например, при определении принципа действия автомобиля, необходимо начать с формулирования его ГПФ как транспортного средства: «перемещать материальное тело (груз и/или пассажира)», с дополнительным уточняющим условием - по суше. Поэтому принципом действия именно автомобиля будет природное явление (эффект), позволяющее реализовывать указанную ГПФ. А для уточняющего условия «по суше» принципы действия будут другие, и они будут реализовываться по отношению к подсистемам автомобиля, а не к объекту его ГПФ «материальное тело».

Или вот еще Б.Голдовский:

... существенным признаком ТС является ее принцип действия (ПД). Принцип действия ТС представляет собой минимально-необходимую совокупность природных эффектов и явлений (процессов), обеспечивающих выполнение ГПФ. ТС, имеющие общие ГПФ и принцип действия, составляют функционально-физический класс, занимающий одну из параметрических ниш.⁵

Все-таки я с этим несогласен – ГПФ одна и относится к обработке Изделия, поэтому действие в конкретной главной функции обеспечивается одним природным эффектом (явлением), который прямо связан с обрабатываемым Изделием. А упомянутая минимально-необходимая совокупность природных эффектов и явлений (процессов) относится к подсистемам, к их функционированию. Ведь одну и ту же ГПФ можно реализовать абсолютно разными совокупностями природных эффектов и явлений (процессов). Так, перемещение материального тела по воздуху (ГПФ реализуется только одним природным эффектом – действием силы на материальное тело) можно осуществить совершенно разными совокупностями природных эффектов и явлений, которые являются принципами действия подсистем, входящих в состав системы верхнего иерархического уровня.

Проверим, как работает определение ПД «по Голдовскому», с учетом замечания об единственности принципа действия для реализации ГПФ.

В 60-х гг. профессор металлургического института Н.А.Баринин сконструировал для электродуговых печей (ЭДП) элементы кладки, охлаждаемые водой. В литейном цехе подмосковного завода на маленькую печь поставили вместо кирпичного свода металлический, охлаждаемый водой. Год проработала печь без смены свода, а стойкость свода - одна из важнейших характеристик ЭДП. Она измеряется по количеству плавков за кампанию (от смены до смены свода). Отсюда считают и

⁴ Голдовский Б.И., Вайнерман М.И. **Рациональное творчество. О направленном поиске новых технических решений.** — М.: «Речной транспорт», 1990, с. 23

⁵ Б.И.Голдовский. **О противоречиях в технических системах - 2.** Нижний Новгород, 1999, <http://metodolog.ru/00001/00001.html>

*количество стали за кампанию, удельный расход кирпича на тонну стали. Все эти показатели оказались ненужными, т.к. охлаждаемый свод "отменил" и кампанию, и кирпич. Свод стал поистине вечным...*⁶

ГПФ защитного элемента (вариант 1 - обычная кладка, вариант 2 - металлический свод с охлаждением водой) свода электродуговой печи = поглотить и рассеять поток тепла, идущий к своду печи от электродуги и от расплавленного металла.

ПД1 (обычная кладка), используемый физэффект - пассивное поглощение и рассеивание потока тепла (с целью защиты свода).

ПД2 (металлический свод с охлаждением водой), используемый физэффект – активное поглощение и рассеивание потока тепла = унос тепла водой (с целью защиты свода).

*Задачу создания «моментального» фотоаппарата подсказала Эдвину Лэнду в 1943 году его трехлетняя дочь, когда попросила дать ей только что снятый обычным фотоаппаратом снимок. На обдумывание и формулировку принципа действия моментальной камеры Э.Лэнду потребовалось около часа: кассета должна содержать комбинацию из фотоматериала и химреактивов, дающих в результате позитивный снимок на бумажной подложке. 1947 г. - опытный образец, 1948 г. - промышленное производство.*⁷

ГПФ кассеты – размещать фотоматериал и химреактивы; обрабатывать экспонированный фотоматериал химреактивами.

ПД, используемый эффект – химическая обработка экспонированного фотоматериала (с целью проявления скрытого фотографического изображения и его последующего закрепления).

*США, Аргоннская лаборатория, 1991: стенд для исследований магнито-гидродинамической (МГД) силовой установки для подводных лодок. Принцип действия МГД-установки: взаимодействие соленой морской воды, по которой идет электрический ток, с магнитным полем соленоида.*⁸

ГПФ магнитогидродинамической силовой установки – перемещать морскую воду относительно корпуса подводной лодки

ПД, используемый эффект – движение электролита посредством электромагнитной силы, действующей на него в скрещенных магнитном и электрическом полях (с целью перемещения подводной лодки, на которой расположена МГД-установка).

*Тепловая труба (англ. heat pipe) — элемент систем охлаждения; принцип работы ТТ заключается в переносе тепла легкоиспаряющейся жидкостью - от нагреваемого конца трубы к охлаждаемому, где жидкость конденсируется.*⁹

ГПФ тепловой трубы – переносить тепло

ПД, используемый эффект – испарение, перемещение и конденсация легкоиспаряющейся жидкости (с целью переноса тепла).

Ну, еще один контрольный пример, для полноты картины - из нетехнической области...

⁶ Палий Г.М. Некрасивые истории в музее металлургии. «ХиЖ», 3/91, с. 15

⁷ Мамиофа И. Эдвин Лэнд – автор Полароида. «ИР», 7/91, с. 45

⁸ Микроинформация № 1211. «ИР», 12/91, с. 28

⁹ Тепловая труба, http://en.wikipedia.org/wiki/Heat_pipe

Стаффорд Бир, один из пионеров в области кибернетизации предприятий, постулировал возможность создания "фирмы-гомеостата" и в качестве примера рассмотрел теорию регулирования деятельности большого сталелитейного производства. "Мозг" такого предприятия должен так оптимизировать все процессы, из которых складывается выплавка стали, чтобы производство было наиболее продуктивным, эффективным и независимым как от колебаний предложения (рабочей силы, руды, угля и т. д.) и спроса, так и от внутренних изменений в системе (неравномерность процесса производства, нежелательный рост себестоимости изделий).

*Бир сознательно смоделировал это предприятие-гомеостат по принципу действия живого организма...*¹⁰

ГПФ сталелитейного производства – производить продукцию.

ПД, используемый эффект – адаптация (элементная, структурная, функциональная и т.д.) системы (с целью поддержания устойчивого производства продукции).

Ближе всего к теме «принцип действия» в ТРИЗ находится выполненный анализ.

В определении¹¹ сказано, что **веполь** – это **минимальная техническая система**, которая обязательно включает два взаимодействующих вещества и поле (энергию). В качестве таких веществ обычно выступают **изделие и инструмент** (или часть инструмента, непосредственно взаимодействующая с изделием) или же объект (изделие) и внешняя среда (играющая роль инструмента).

Не станем обращать внимание на давно существующую странность, что в состав ТС включено изделие (!?). Отметим главное - повсеместной остается пара «изделие и инструмент». Вот, например, ... задача о повышении скорости движения ледокола во льдах. Для этой задачи простейшей моделью может служить **веполь, включающий лед (изделие), ледокол (инструмент)** и механическое поле сил, возникающее при взаимодействии ледокола со льдом. «Ледокол», входящий в веполь, - просто вещество, взаимодействующее с другим веществом (льдом) благодаря полю механических сил.¹²

Т.е. явно отмечены ТС¹³ (ледокол), Изделие (лед) и механическое поле, которое возникает между ледоколом и льдом, и используется при обработке ледоколом льда. Механическое поле – это тот самый физический эффект, который и положен в основу ГПФ ледокола – делать канал во льду.

По сути, все вепольные формулы – описания воздействия ТС на Изделие с помощью какого-либо эффекта. Поэтому этот эффект, согласно определению ПД, основой этого сАмого принципа действия и является.

Вопрос поиска принципа действия (ПД) возникает:

1. При создании технической (точнее – любой) системы.
2. При переходе к новому ПД, когда существующий принцип действия в связи с исчерпанностью его ресурса не может быть больше использован.

¹⁰ Гл. 4. Интеллектуальная. (г) О морали гомеостатов. С.Лем. Сумма технологии. М, «Мир», 1968, <http://lib.ru/LEM/summa/summg14g.htm>

¹¹ Альтшуллер Г.С., Селюцкий А.Б. Крылья для Икара: Как решать изобретательские задачи, Петрозаводск, "Карелия", 1980 г., с. 59-61.

¹² Там же.

¹³ В данном случае рассматривается весь ледокол, поэтому можно заменить термин Инструмент на ТС.

В компьютерной программе USESoft создание новой системы поддерживается экраном «Процесс создания новой системы»:

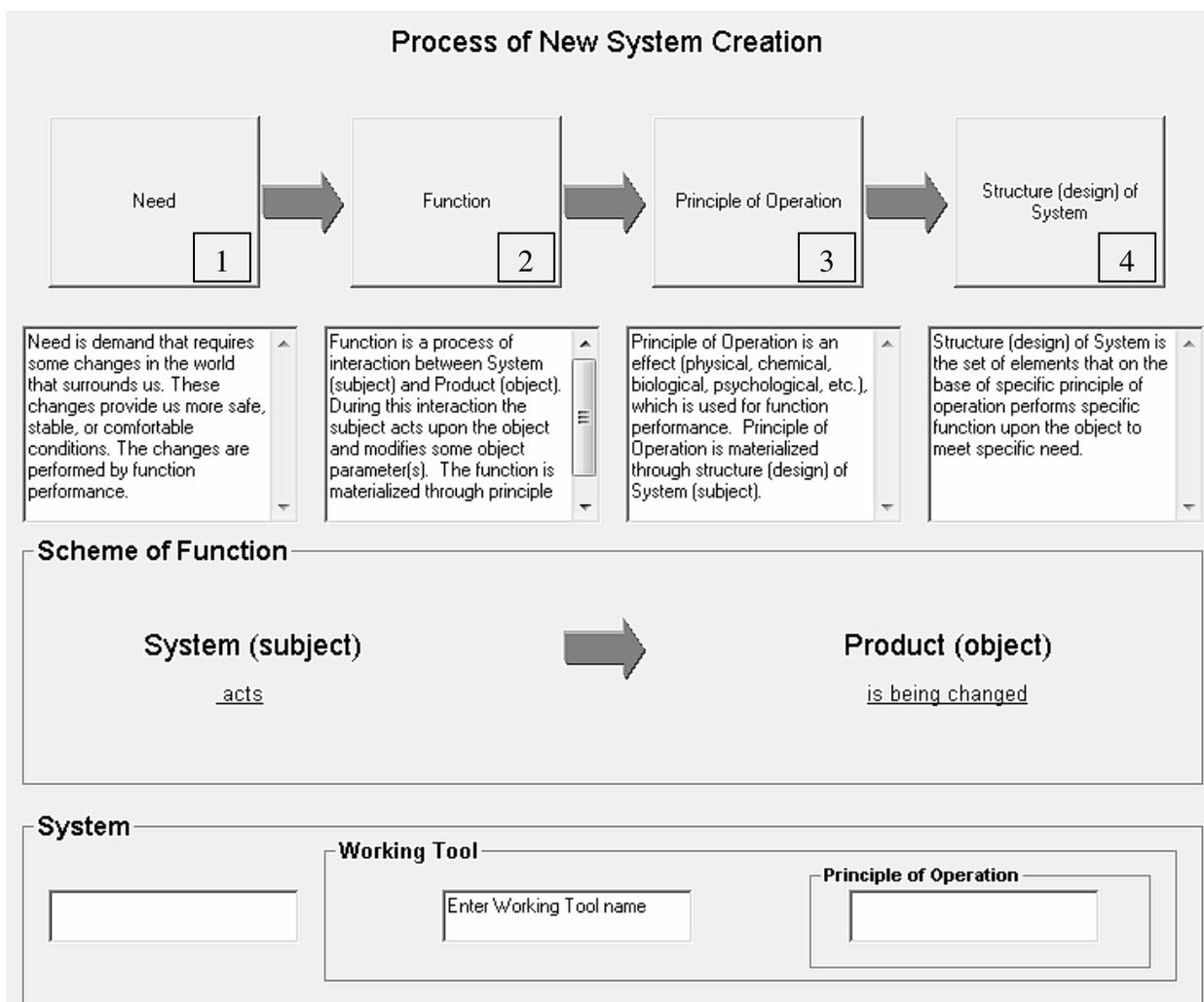


Рис. 1

Экран реализует алгоритм создания новой системы: «Потребность → Функция (действие и объект) → Принцип действия → Конструкция (дизайн)».

Процесс создания новой Системы начинается с последовательной подстановки описаний (определений) элементов в пояснения к блокам. Последовательное наполнение блоков помогает создать «портрет» искомой Системы. Если в конце всех подстановок в Блоке 4 получено логичное и исчерпывающее описание Системы, то это значит, что исследователь правильно понимает и описывает процесс создания Системы.

Дополнительно правильность описания процесса создания новой Системы проверяется визуально автоматическим построением (на основе введенных определений) Схемы функционирования создаваемой Системы (Scheme of Function) – см. среднюю часть экрана на Рис. 1.

Пояснения к блокам алгоритма – выделен блок 3 «Принцип действия»

<p>1. Need is demand that requires some changes in the world that surrounds us. These changes provide us more safe, stable, or comfortable conditions.</p> <p>The changes are performed by function performance.</p>	<p>1. Потребность – это желательность некоторых изменений в окружающем мире. Эти изменения обеспечивают более безопасные, стабильные или удобные условия.</p> <p>Изменения реализуются действием функции.</p>
<p>2. Function is a process of interaction between System (subject) and Product (object). During this interaction the subject acts upon the object and modifies some object parameter(s).</p> <p>The function is materialized through principle of operation.</p>	<p>2. Функция – процесс взаимодействия между Системой (субъект) и Продуктом (объект). Во время этого взаимодействия субъект действует на объект и изменяет некоторые параметры объекта.</p> <p>Функция материализуется с помощью принципа действия.</p>
<p>3. Principle of Operation is an effect (physical, chemical, biological, psychological, etc.), which is used for function performance.</p> <p>Principle of Operation is materialized through structure (design) of System (subject).</p>	<p>3. Принцип действия – это эффект (физический, химический, биологический, психологический и т.д.), который используется для реализации функции.</p> <p>Принцип действия реализуется с помощью конструкции (дизайна) Системы (субъекта).</p>
<p>4. Structure (design) of System is the set of elements that on the base of specific principle of operation performs specific function upon the object to meet specific need.</p>	<p>4. Конструкции (дизайн) Системы – это набор элементов, который на основе конкретного принципа действия реализует конкретную функцию по отношению к объекту чтобы удовлетворить конкретную потребность.</p>

Принцип действия, выявленный с помощью сформулированной функции, затем используется для конкретизации рабочего органа создаваемой ТС. Это делается с помощью автоматической подстановки названия Системы и описания принципа действия: Система → Рабочий орган ← Принцип действия (см. нижнюю часть экрана на Рис. 1).

В качестве примера приведена цепочка создания ТС «Тягач-трейлер». Задача была предметом обсуждения на Методологе, <http://www.metodolog.ru/node/218>

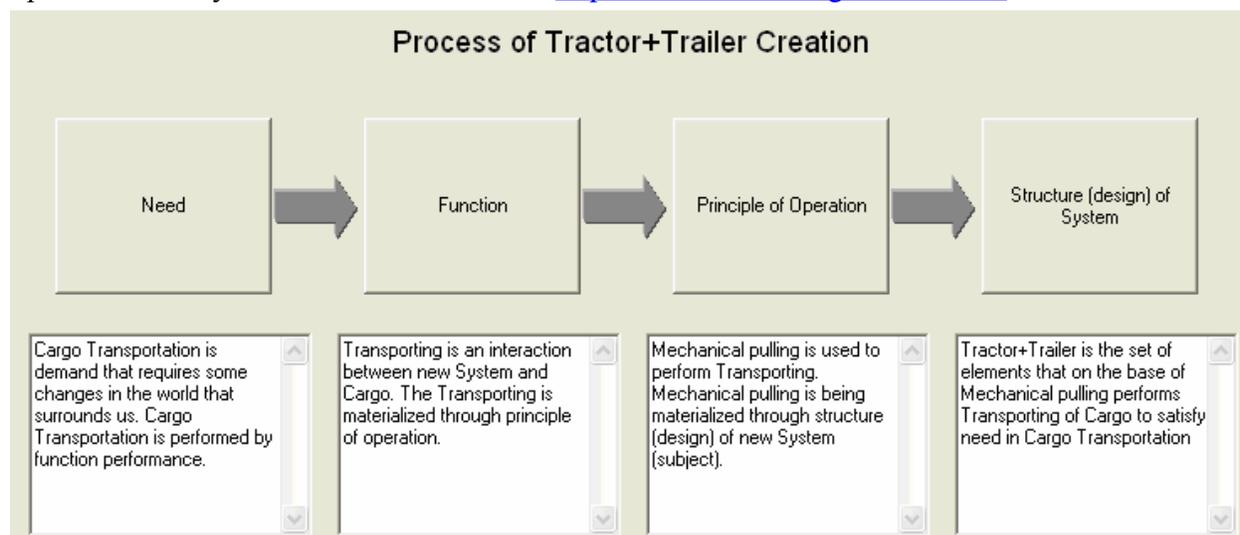


Рис. 2

Cargo Transportation is demand that requires some changes in the world that surrounds us. Cargo Transportation is performed by function performance.	Транспортировка груза – это потребность, которая требует некоторых изменений в окружающем мире. Транспортировка груза реализуется с помощью выполнения функции.
Transporting is an interaction between new System and Cargo. The Transporting is materialized through principle of operation.	Транспортировка – это взаимодействие между ТС и грузом. Транспортировка материализуется с помощью принципа действия.
Mechanical pulling is used to perform Transporting. Mechanical pulling is being materialized through structure (design) of new System (subject).	Для осуществления транспортировки используется механическое перетаскивание. Механическое перетаскивание осуществляется с помощью ТС.
Tractor + Trailer is the set of elements that on the base of Mechanical pulling performs Transporting of Cargo to satisfy need in Cargo Transportation	Тягач с трейлером – это набор элементов, который на основе механического перетаскивания осуществляет транспортировку груза с целью удовлетворения потребности в этой транспортировке.

Проверка правильности формулировки ГПФ системы «Тягач-трейлер»:



Рис. 3

Выбор Рабочего органа системы «Тягач-трейлер» с помощью описания системы «Тягач-трейлер» и найденного принципа действия:



Рис. 4

Тягач-трейлер → Грузовая платформа ← Механическое перетаскивание

Выводы:

1. Принцип действия системы (не только технической) - это эффект (физический, химический, биологический, психологический и т.д.), который используется для реализации главной полезной функции (ГПФ) системы.

Принцип действия реализуется с помощью конструкции (дизайна) системы.

2. Ближе всего к теме «принцип действия» в ТРИЗ находится полный анализ.

По сути, все полезные формулы – описания воздействия ТС на Изделие с помощью какого-либо эффекта. Поэтому этот эффект, согласно определению ПД, этим самым принципом действия и является.

3. Выход на принцип действия системы происходит:
 - при создании новой системы по алгоритму «Потребность → Функция (действие и объект) → Принцип действия → Конструкция (дизайн)».
 - при переходе к новому ПД, когда существующий принцип действия в связи с исчерпанностью его ресурса не может быть больше использован.
4. Алгоритм «Потребность → Функция (действие и объект) → Принцип действия → Конструкция (дизайн)», с помощью которого осуществляется поиск принципа действия, реализован в компьютерном воплощении подхода «УСЭ – USESoft».

6 января 2011 г.

Брайтон, Массачусеттс, США