

TRIZ SUMMIT
2021



ТРЕНДЫ ФИЗИЧЕСКИХ ЭФФЕКТОВ

Бушувев А.Б.

Университет ИТМО СПб, РФ, bushuev@inbox.ru

16 октября 2021 года



ITMO UNIVERSITY

TRENDS OF PHYSICAL EFFECTS

Bushuev A.B.

ITMO University, SPb, RU

<http://triz-summit.ru>



© 2021, TRIZ Developers Summit



Цель работы – развитие методики преподавания физических эффектов в курсе ТРИЗ в высшей школе для технических специальностей «Мехатроника и робототехника», «Киберфизические системы», «Управление в технических системах», «Электроинженерия», «Системы управления движением и навигации»

1 этап – Классификация и систематизация физических эффектов

- 1.1 Классификация эффектов в соответствии с разделами физики
- 1.2. Организация поиска по указателям физических эффектов
- 1.3. Некоторые примеры использования физических эффектов для решения задач

Результат первого этапа – некоторая формализация в использовании разных физических эффектов

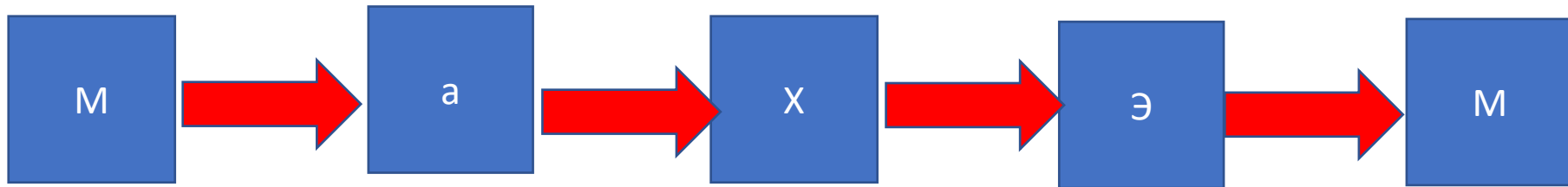
2 этап – поиск общего свойства (инварианта) различных физических эффектов и построение трендов или линий развития

Тренд - структурная последовательность некоторых объектов, задающая процесс развития, модель процесса, состоящая из «опорных» точек, этапов. Примеры трендов:

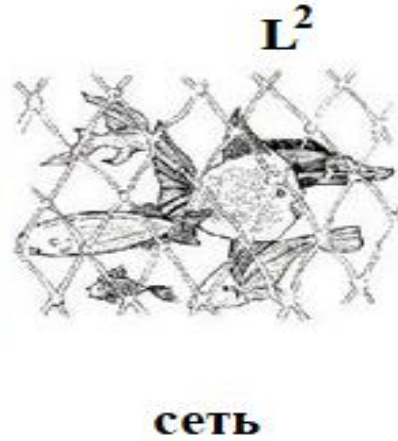
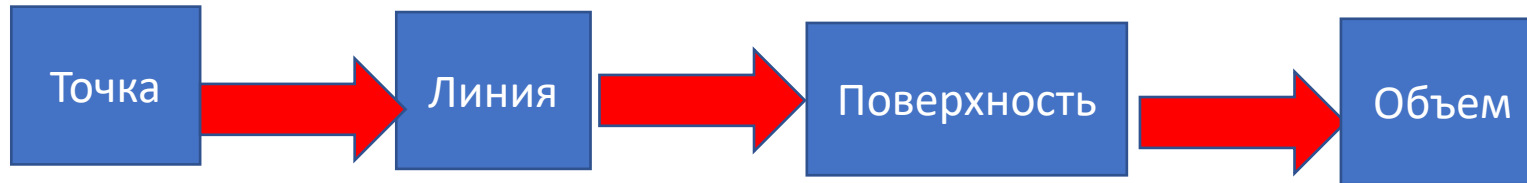
1. модель АРИЗ



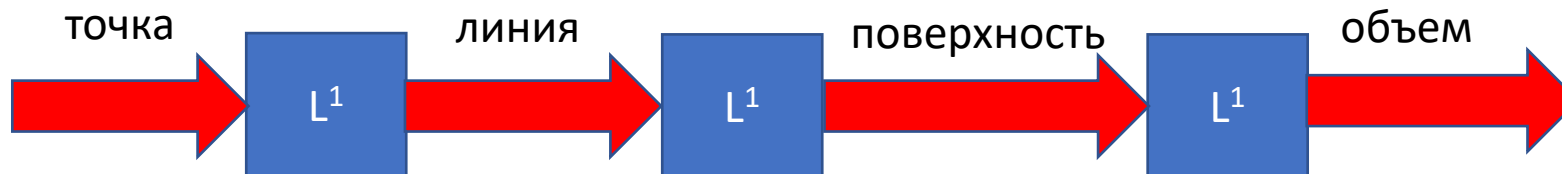
2. модель развития полей М(а)ТХЭМ



3. Тренд геометрических объектов



точка = L^0 ,
линия = $L^0L^1 = L^1$,
поверхность = $L^1L^1 = L^2$,
объем = $L^2L^1 = L^3$



D.	L^{-1}	L^0	L^1	L^2	L^3	L^4	L^5
T^{-5}	$L^{-1}T^{-5}$	L^0T^{-5}	L^1T^{-5}	L^2T^{-5}	Поверхн. мощность	L^4T^{-5}	Мощность
T^{-4}	$L^{-1}T^{-4}$	L^0T^{-4}	Удельный вес Градиент давления	Давление Напряжение	Поверхн. натяжение Жесткость	Сила	Энергия Температура
T^{-3}	$L^{-1}T^{-3}$	L^0T^{-3}	Плотность потока	Напряженность эл.-магн. поля Динамическая вязкость	Ток Массовый расход	Импульс	L^5T^{-3}
T^{-2}	Изменение электр. объемной плотности	Угловое ускорение Массовая плотность	Линейное ускорение	Разность потенциалов	Масса Кол-во электричества	Магнитный момент	Момент инерции
T^{-1}	Электр. объемная плотность	Частота Угловая скорость	Линейная скорость	Обильность двумерная Кинематическая вязкость	Расход объемный	Скорость смещения объема	L^5T^{-1}
T^0	Кривизна Изменение проводимости	Безразмерная величина Угол	Длина Емкость	Поверхность (площадь)	Объем	Момент инерции плоской фигуры	L^5T^0
T^1	Проводимость	Период	Длительность расстояния	L^2T^1	L^3T^1	L^4T^1	L^5T^1

Построение тренда эффектов

- Для поиска трендов эффектов задачу формализуем следующим образом. Эффект будем рассматривать в виде следующей структуры



Пусть заданы входная x и выходная y величины эффекта, т.е. известна их размерность в базисе L $[x]=L^aT^b$, $[y]=L^cT^d$. Введем матрицы X и Y входной и выходной величин соответственно. Тогда можно получить передаточную матрицу W эффекта

$$W = YX^{-1} = \begin{bmatrix} L^c & 0 \\ 0 & T^d \end{bmatrix} \begin{bmatrix} L^a & 0 \\ 0 & T^b \end{bmatrix}^{-1} = \begin{bmatrix} L^{c-a} & 0 \\ 0 & T^{d-b} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} L^m & 0 \\ 0 & T^n \end{bmatrix}$$

Передаточную матрицу будем считать инвариантом, т.е. все эффекты, имеющие одну и ту же передаточную матрицу, входят в один тренд.

- Тренд эффектов будем строить следующим образом.
- Выбираем в таблице Бартини любой тренд пространственных, временных или вещественно-полевых ресурсов.
- Одну из величин на тренде будем считать входным воздействием эффекта.
- По справочникам-указателям физических эффектов, научной литературе, находим название эффекта, а, следовательно, и выходную величину.
- По размерностям входа и выхода находим инвариант – передаточную матрицу эффекта W
- Сдвигаемся по тренду последовательно на одну клетку в ту, или (и) в другую сторону, и находим новые входные воздействия по их размерностям в таблице Бартини
- Умножаем новое входное воздействие на инвариант W и находим выход эффекта, а тем самым и определяем его название.
- Пункты 1 и 2 выполнять не требуется, если какой-либо эффект уже задан, и мы хотим построить тренд, в который будет входить этот эффект.

Пример построения индуктивного тренда

Построим тренд в который входит пьезоэлектрический эффект. Находим его инвариант, передаточную матрицу

	L^1	L^2	L^3	L^4	L^5
T^{-4}	Удельный вес Градиент давления	Напряжение Давление	Поверхн. натяжение Скорость тока	Сила	Энергия Момент силы
T^{-3}	Плотность потока	Напряженность эл.-магн. поля	Ток	Импульс	$L^5 T^{-3}$
T^{-2}	Линейное ускорение Электр. прочность	Разность потенциалов ЭДС	Масса Кол-во электричества	Магнитный момент	Момент инерции

$$W_1 = QF^{-1} = \begin{bmatrix} L^3 & 0 \\ 0 & T^{-2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} L^4 & 0 \\ 0 & T^{-4} \end{bmatrix}^{-1} = \begin{bmatrix} L^{-1} & 0 \\ 0 & T^2 \end{bmatrix}$$

где вход сила F, выход – эл. заряд Q.

Обратим внимание, что его инвариант W_1 находится в клетке $L^{-1}T^2$. **В системе Бартини эту размерность имеет индуктивность $L_{и}$**

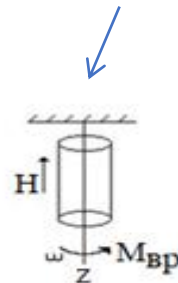
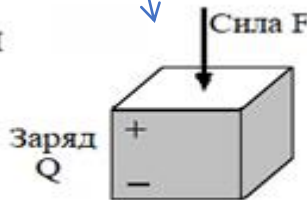
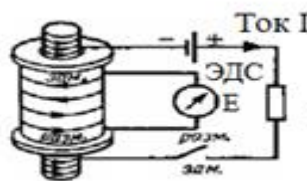
Следующий эффект тренда получаем сдвигом вправо. Вход – момент силы, выход – магнитный момент. Известен как эффект Барнетта. Еще два эффекта получаются сдвигом влево, эффект самоиндукции Генри, и закон Пашена – повышение дл.проводимости газов при снижении давления. Использовано в молниеотводе Г.С.Альтшуллера.

Закон Пашена

Эффект самоиндукции Генри

Пьезоэффект

Эффект Барнетта



Пример построения тренда активной проводимости

- Построим тренд эффектов на основе временного тренда входных воздействий. Выбираем в качестве исходного эффекта явление электроосмоса. Электроосмос – это перемещение жидкости в капилляре под действием приложенной ЭДС. Находим инвариант -передаточную матрицу

$$W_2 = VE^{-1} = \begin{bmatrix} L^1 & 0 \\ 0 & T^{-1} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} L^2 & 0 \\ 0 & T^{-2} \end{bmatrix}^{-1} = \begin{bmatrix} L^{-1} & 0 \\ 0 & T^1 \end{bmatrix}.$$

где V – скорость жидкости, E – ЭДС. **W₂ имеет размерность R –активного сопротивления**

Второй эффект - в электромагнитном оружии. снаряду придается линейное ускорение «а» под действием напряженности поля H.

Третий эффект – изменение плотности тока j в колбе в зависимости от давления P и возникновение дугового разряда в виде тонкого малинового шнура

	L ¹	L ²	
T ⁻⁴	Удельный вес Градиент давления	Напряжение Давление	Газовый разряд в электровакуумных приборах
T ⁻³	Плотность потока	Напряженность эл.-магн. поля	Электромагнитное оружие
T ⁻²	Линейное ускорение Электр. прочность	Разность потенциалов ЭДС	
T ⁻¹	Линейная скорость	Обильность двумерная	Электроосмос

Построение тренда трендов

Передаточные матрицы W или инварианты трендов занимают определенное положение в таблице Бартини. Если их разместить в в клетках таблицы, то можно построить тренд трендов $W_3 \rightarrow W_2 \rightarrow W_1$

	L^{-2}	L^{-1}	L^0
T^0		$W_3 = \begin{bmatrix} L^{-1} & 0 \\ 0 & T^0 \end{bmatrix}$	
T^1		$W_2 = \begin{bmatrix} L^{-1} & 0 \\ 0 & T^1 \end{bmatrix}$	
T^2		$W_1 = \begin{bmatrix} L^{-1} & 0 \\ 0 & T^2 \end{bmatrix}$	

Тренд трендов		
Название элемента	Передаточная матрица	Электрический эквивалент
Обратный ёмкостной	W_3	$1/C, \Phi^{-1}$
Активной проводимости	W_2	$R, \text{Ом}$
Индуктивный	W_1	$L_{и}, \text{Гн}$

Для всех эффектов тренда W_1 характерно свойство возникновения противодействия входу. Энергия взаимодействия не рассеивается, остаётся в системе.

Для тренда W_2 энергия рассеивается. Тренд W_3 работает только в пространстве

Тренд эффектов W_3

D.	L^{-1}	L^0	L^1	L^2	L^3
T^0	Кривизна	Безразмерная величина	Длина Ёмкость	Поверхность (площадь)	Объем

Эффекты можно численно сравнивать по степени сложности их моделей в виде передаточных матриц. Если эффект задан матрицей W , то число сложности N_C находится по формуле $N_C = |m| + |n|$. Для всех эффектов в индуктивном тренде $N_C = 3$, для эффектов в тренде проводимости $N_C = 2$.

Число сложности эффекта отражает затраты пространственных и временных ресурсов по преобразованию входного воздействия в выходное.

- При анализе физических эффектов в LT-базисе кинематических величин установлена методика выявления скрытых закономерностей, трендов развития эффектов. Методика может быть использована
- при поиске и классификации технологических эффектов
- для синтеза физического принципа действия технических систем
(см. Y. V. Litvinov, A.B. Bushuev, E. Y. Litvinov. Graphic Synthesis of the Operating Physical Principle of Control and Measuring Devices. // Wave Electronics and its Application in Information and Telecommunication Systems (WECONF 2021). - 2021.
<https://doi.org/10.1109/WECONF51603.2021.9470754>)
- для обучения изобретательской физике в рамках ТРИЗ

Спасибо за внимание