

TRIZ SUMMIT  
2021



# ТРЕНДЫ ФИЗИЧЕСКИХ ЭФФЕКТОВ

**Бушувев А.Б.**

*Университет ИТМО СПб, РФ, [bushuev@inbox.ru](mailto:bushuev@inbox.ru)*

16 октября 2021 года



TRENDS OF PHYSICAL EFFECTS

***Bushuev A.B.***

*ITMO University, SPb, RU*

<http://triz-summit.ru>



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**

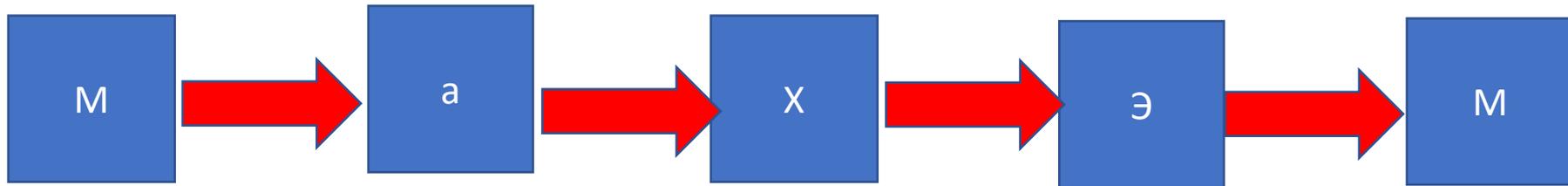
### 2 этап – поиск общего свойства (инварианта) различных физических эффектов и построение трендов или линий развития

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

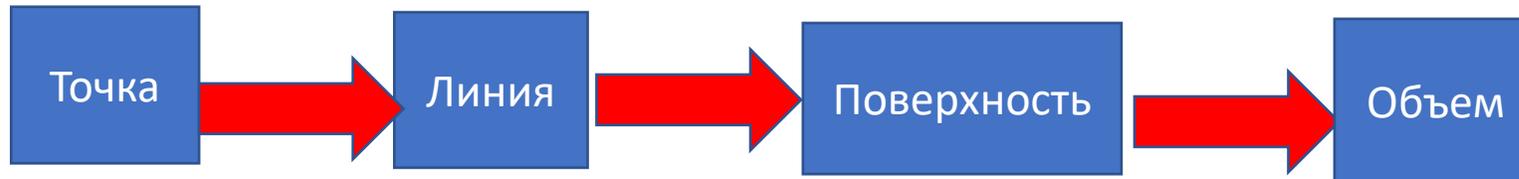
1. модель АРИЗ



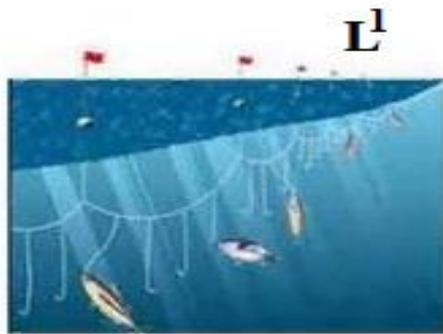
2. модель развития полей М(а)ТХЭМ



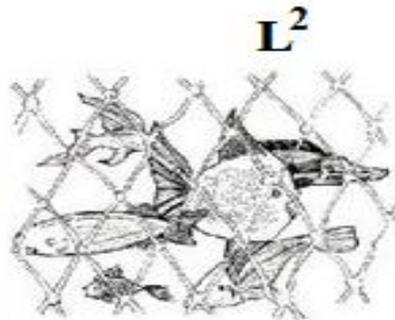
### 3. Тренд геометрических объектов



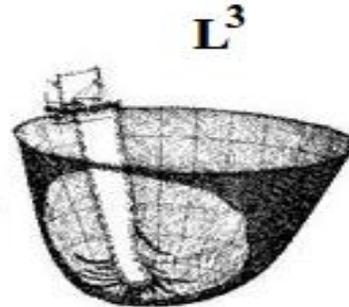
**удочка с одним крючком**



**поводок с крючками на линии**



**сеть**



**кошелевый невод**

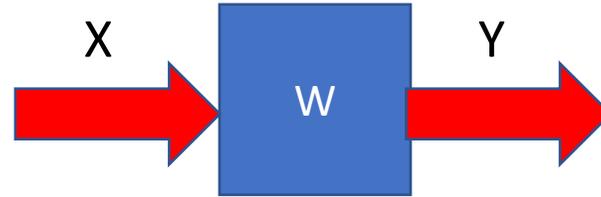
точка =  $L^0$ ,  
линия =  $L^0L^1 = L^1$ ,  
поверхность =  $L^1L^1 = L^2$ ,  
объем =  $L^2L^1 = L^3$



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  $L_{и}$**

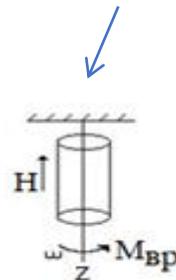
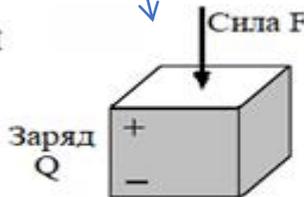
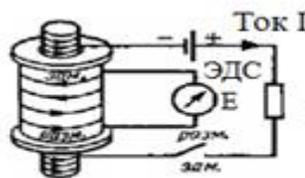
Следующий эффект тренда получаем сдвигом вправо. Вход – момент силы, выход – магнитный момент. Известен как эффект Барнетта. Еще два эффекта получаются сдвигом влево, эффект самоиндукции Генри, и закон Пашена – повышение дл.проводимости газов при снижении давления. Использовано в молниеотводе Г.С.Альтшуллера.

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.  **$W_2$  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