

Тренды физических эффектов

Аннотация. Предложена методика поиска инварианта, т. е. одинакового свойства для эффектов разной физико-геометрической природы, основанная на теории размерности физических величин в ЛТ-базисе Бартини. Инвариант определяется по передаточной матрице пропорциональности между входной и выходной матрицами эффекта. Эффекты с одинаковым инвариантом образуют тренды развития пространственных, временных и вещественно-полевых ресурсов. Одним из примеров является известный тренд «точка-линия-поверхность-объем».

По закону свертывания-развертывания тренды эффектов свернуты и развернуты в тренды инвариантов. Для трендов инвариантов предложены эквивалентные электрические аналоги, позволяющие численно сравнивать эффекты по степени сложности.

Методику предполагается использовать для классификации эффектов по инвариантным свойствам, для синтеза физического принципа действия технических систем, а также в процессе изучения изобретательской физики в ТРИЗ.

Ключевые слова: *инвариант физического эффекта, тренды эффектов и инвариантов, численная оценка сложности эффекта*

1. ВВЕДЕНИЕ

В теории решения изобретательских задач многие основные понятия рассматриваются как процесс, т. е. как последовательность некоторых событий, объектов, задающих опорные точки направления развития. Такие последовательности называются линиями развития [1]. Исторически первой линией развития можно считать структуру АРИЗ, по сути, являющуюся графом с вершинами, состоящими из известных противоречий, и с направленными ребрами, указывающими порядок алгоритма. Наиболее полно графы представлены в законах развития технических систем [2,3]. Любая вершина таких графов обладает некоторым свойством, которое является общим для всех вершин. Назовем это общее свойство инвариантом. Например, в линии АРИЗ инвариантом является то, что каждая вершина графа является противоречием, в законе свертывания и развертывания технических систем по линии 1–2-много каждая вершина имеет инвариант – некоторое численное значение. Второе важное свойство линий – каждая вершина графа, сохраняя инвариант, является преобразователем входного свойства в выходное. В известной аббревиатуре МАТХЭМ инвариантом является понятие поля как действие одного вещества на другое, а свойством преобразования является преобразование поля одного вида энергии в поле другого вида энергии. Следовательно, вершинами в графе МАТХЭМ являются физические эффекты, а весь граф может быть назван линией развития видов физических эффектов. Для конкретных физических эффектов название вида становится инвариантом. По этому инварианту эффекты классифицируются в указателях физических эффектов [4,5] на механические, тепловые, электрические и магнитные эффекты.

Дальнейший поиск инвариантов уже внутри перечисленных эффектов в [6] предлагается устанавливать с помощью критериев подобия. Как известно, «критерий подобия – безразмерная величина, составленная из размерных физических параметров, определяющих рассматриваемое физическое явление». Для физических эффектов размерными параметрами будут входные и выходные величины эффекта. Если для двух эффектов критерий подобия одинаков, то и эффекты подобны, т. е. инварианты относительно критерия подобия. Примерами критериев подобия являются число Рейнольдса – в гидро- и газодинамике, число Прандтля в процессах теплопередачи и др. [7].

Однако критерии подобия имеют недостатки, связанные с потерей информации о размерностях физических величин. В то же время в изобретательских задачах имеется некоторый опыт по использованию теории размерностей. В [8] теорию размерностей предлагается использовать для получения качественной математической модели технических систем. В

рамках такой модели выявляется пара противоречивых показателей, а затем используется параметрический метод для разрешения противоречий. В работе [9] на основе экспертной оценки причинно-следственных связей строится структурная модель системы в виде графа. Система размерностей в базисе MLT (масса, длина, время) используется для проверки достоверности структурной модели и отыскания вершин локализации физических противоречий, т. е. нарушения причинно-следственных связей. В докладе [10] исследуется известный тренд «Точка-Линия-Плоскость-Объем», который отнесен к закону повышения согласованности. Вершины графа в тренде образуют пространственные ресурсы, а инвариантом является длина L – основная единица в системе измерений физических величин. Тогда вершины можно задать их размерностями L^n , где $n=0,1,2,3$, а тренд рассматривать как цепочку геометрических эффектов преобразования пространства одной размерности в пространство другой размерности.

В данной работе рассматривается методика построения трендов физических и физико-геометрических эффектов с целью получения общей закономерности развития эффектов и технических устройств, их реализующих. Под эффектом здесь понимается преобразование любой измеряемой физической или геометрической величины в другую такую же величину.

2. МЕТОДИКА ПОИСКА ТРЕНДОВ ЭФФЕКТОВ В ЛТ-БАЗИСЕ

Для поиска используется метод аналогий по определению трендов ВПР в ЛТ-базисе системы кинематических величин Бартини [11]. Например, тренд «Точка-Линия-Плоскость-Объем» находится по его геометрическим размерностям $L^0T^0 \rightarrow L^1T^0 \rightarrow L^2T^0 \rightarrow L^3T^0$. На рис. 1 тренд показан красными стрелками.

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

Рис. 1. Примеры пространственных и временных трендов и трендов ВПР в системе кинематических величин Бартини

Тренд является пространственным, его инвариант L^1T^0 находится по отношению размерностей соседних клеток на тренде: $L^3T^0/L^2T^0=L^2T^0/L^1T^0=L^1T^0/L^0T^0=L^1T^0$, причем размерность выходной клетки делится на размерность входной клетки. Пример временного тренда показан синими стрелками, его инвариант равен $L^1T^{-2}/L^1T^{-1}=L^1T^{-1}/L^1T^0=L^0T^{-1}$.

Тренды ВПР располагаются на диагоналях таблицы Бартини. Например, на главной диагонали зелеными стрелками показан тренд $L^0T^0 \rightarrow L^1T^{-1} \rightarrow L^2T^{-2} \rightarrow L^3T^{-3} \rightarrow L^4T^{-4} \rightarrow L^5T^{-5}$, отражающий работу вращающейся электрической машины (рис.2) по преобразованию механической энергии в электрическую (генератор) и обратно (двигатель). Инвариант тренда равен размерности линейной скорости $[V]=L^1T^{-1}$.

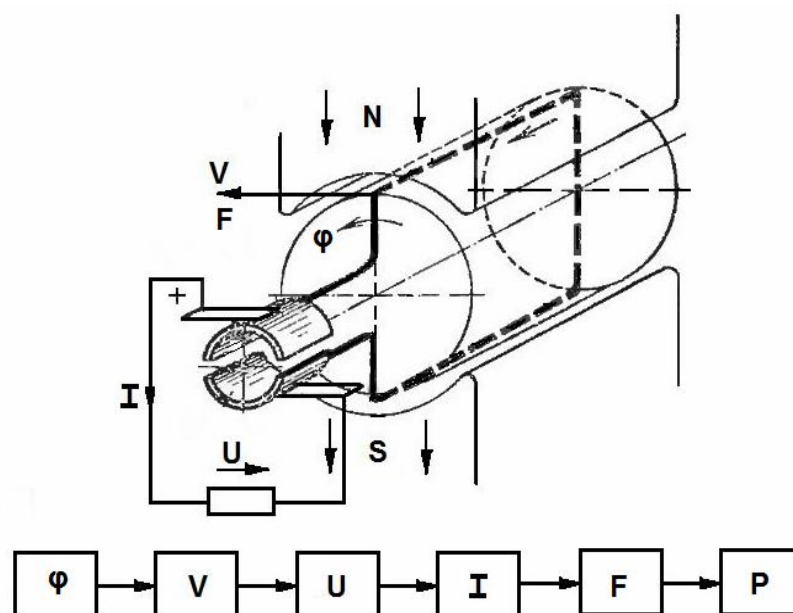


Рис. 2. Электрическая машина и тренд развития представлений о ней

По тренду можно представить проявление физического эффекта электромагнитной индукции, в котором реализован закон Фарадея. Действительно, первая ступень – это угол ϕ поворота (вращения) проводника в магнитном поле. Вторая ступень – это представление о том, что вращение происходит с линейной скоростью V . Следующее представление – возникновение на концах проводника разности потенциалов U . Далее, при замыкании проводника в нем появляется электрический ток I . Ток обладает силовым воздействием F . Сила F , умноженная на линейную скорость V вращения проводника, дает мощность P , развиваемую электрической машиной.

Для поиска инварианта трендов эффектов задачу формализуем следующим образом. Пусть заданы входная x и выходная y величины эффекта, т. е. известна их размерность в базисе LT $[x]=L^aT^b$, $[y]=L^cT^d$. Введем матрицы X и Y входной и выходной величин соответственно

$$X = \begin{bmatrix} L^a & 0 \\ 0 & T^b \end{bmatrix}, Y = \begin{bmatrix} L^c & 0 \\ 0 & T^d \end{bmatrix},$$

и получим передаточную матрицу W эффекта

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

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.

1. Выбираем в таблице Бартини любой тренд пространственных, временных или вещественно-полевых ресурсов.
2. Одну из величин на тренде будем считать входным воздействием эффекта.
3. По справочникам-указателям физических эффектов, научной литературе, находим название эффекта, а следовательно, и выходную величину.
4. По размерностям входа и выхода находим инвариант – передаточную матрицу эффекта W .
5. 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.
6. 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.

3. ПРИМЕР НАХОЖДЕНИЯ ЭФФЕКТОВ ИНДУКТИВНОГО ТРЕНДА

В качестве одного из эффектов тренда выберем прямой пьезоэлектрический эффект [5], входным воздействием в котором является сила F , приложенная к пьезокристаллу, а выходом – электрический заряд Q , возникающий на пластинах (рис.3с). Находим передаточную матрицу W_1

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

Сдвинемся по таблице Бартини относительно клетки силы $L^4 T^{-4}$ на одну клетку вправо, т. е. двигаемся по тренду пространственных ресурсов. Попадаем в клетку $L^5 T^{-4}$, в которой размещается энергия и статистическая температура, измеряемые в системе СИ в джоулях. Но одновременно в этой же клетке находится и размерность момента вращения $M_{\text{вр.}}$, измеряемого в системе СИ в ньютонах, умноженных на метр (1 Дж=1 Н·м). Будем считать момент вращения $M_{\text{вр.}}$ входным воздействием следующего элемента тренда. Физика с геометрией такого перехода имеет следующее простое объяснение. В пьезоэффекте сила F прикладывается в точке и действует по прямой линии на пьезокристалл. С точки зрения полей, используемых в ТРИЗ, это воздействие типа механического поля давления. В следующем, пока неизвестном эффекте, входное воздействие – момент $M_{\text{вр.}}$, действующий по окружности и определяемый по известной формуле $M_{\text{вр.}} = F \cdot \ell$, где ℓ – плечо силы. Поэтому это воздействие можно отнести к механическому полю центробежных сил.

По заданному входу и передаточной матрице W_1 тренда находим выходную величину

$$W_1 M_{\text{вр.}} = \begin{bmatrix} L^{-1} & 0 \\ 0 & T^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} L^5 & 0 \\ 0 & T^{-4} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} L^4 & 0 \\ 0 & T^{-2} \end{bmatrix} = M,$$

где M – магнитный момент. В системе СИ магнитный момент M равен произведению тока I на площадь S контура и имеет размерность $A \cdot m^2$, но в системе СГС, на которую ориентированы названия физических величин в системе Бартини, магнитный момент имеет размерность $A \cdot m \cdot c$ ($M = I \cdot S / C$, где C – скорость света в м/с).

В справочнике [5] такой вход и выход имеет эффект Барнетта. Эффект показывает связь атомных магнитных моментов с механическими моментами и заключается в намагничивании тел путем их вращения при отсутствии внешнего магнитного поля. Эффект реализуется в ферромагнетиках, таких как железо Чиоффи, никель, кобальт, пермаллой, трансформаторная сталь, армо-железо и т. п. Во вращающемся с постоянной угловой скоростью ω вокруг неизменной оси z образце (рис. 3д), элементарные магнетики его материала представляют собой своеобразные гироскопы, обладающие механическим моментом количества движения и магнитным моментом. Эффект проявляется на телах удлиненной геометрической формы и проявляется во всём объеме ферромагнетика. Результирующая магнитного поля направлена вдоль оси вращения. Открыт Сэмюэлем Барнеттом в 1909 году. Физический эффект применяется для исследования природы и строения ферромагнитных веществ.

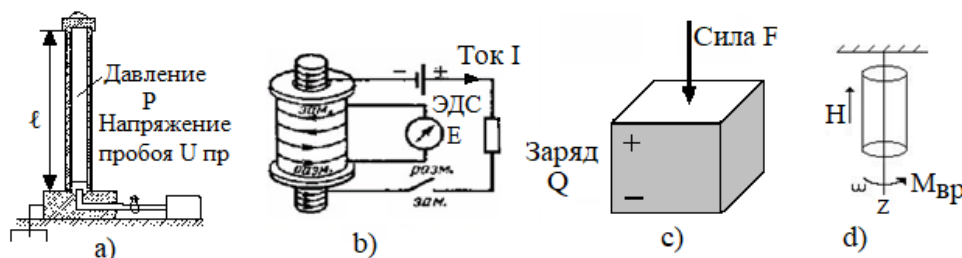


Рис. 3. Индуктивный тренд развития эффектов

Другие эффекты графа тренда будем искать, сдвигаясь от клетки силы $L^4 T^{-4}$ влево. Пусть входом будет величина с размерностью $L^3 T^{-4}$. Тогда выход получаем умножением на передаточную матрицу эффекта

$$E = \begin{bmatrix} L^{-1} & 0 \\ 0 & T^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} L^3 & 0 \\ 0 & T^{-4} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} L^2 & 0 \\ 0 & T^{-2} \end{bmatrix}, (2)$$

где E – разность потенциалов или электродвижущая сила (ЭДС), измеряемые в системе СИ в вольтах. Входной величиной является поверхностное натяжение или жесткость. Физического эффекта преобразования этих механических величин в электрическое напряжение или в ЭДС пока не обнаружено. Поэтому поступим следующим образом, найдем электрическую величину с размерностью заданного входа L^3T^{-4} . Для этого из клетки L^3T^{-4} спустимся ниже в клетку L^3T^{-3} , где находится электрический ток, измеряемый в системе СИ в амперах. Отсюда можно сделать вывод, что в клетке L^3T^{-4} размещается электрическая величина – скорость изменения тока во времени dI/dt , где t – время. Следовательно, возникновение ЭДС при изменении тока в проводнике – это проявление эффекта самоиндукции, открытого Дж. Генри в 1831 году. Величину ЭДС самоиндукции, наводимой в катушке с током (рис.3б), можно найти по закону электромагнитной индукции Фарадея

$$E = -L_k \frac{dI}{dt}, (3)$$

где L_k – индуктивность катушки. Формула (3), записанная для размерностей физических величин, полностью совпадает с формулой (2). Передаточная матрица тренда эффектов по размерности совпадает с индуктивностью катушки, поэтому тренд назван индуктивным.

Найдем следующий эффект тренда. Входом эффекта выбираем давление P с размерностью L^2T^{-4} и умножаем его на передаточную матрицу тренда

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

В таблице Бартини соответствующая клетка содержит линейное ускорение, в системе СИ, имеющее размерность m/c^2 . Ориентируясь на соседнюю клетку справа, в которой размерностью разности потенциалов являются вольты, а сдвиг на клетку влево означает деление на метры, получаем на выходе эффекта величину напряженности электрического поля, измеряемую в $В/м$. В этих же единицах измеряется электрическая прочность диэлектриков, например, напряжение пробоя $U_{пр}$. Эффект изменения электрической прочности газов в зависимости от давления известен из физики [12] (закон Фр. Пашена, 1889 г.) и более того, его использование рассмотрено Г.С. Альтшуллером в [1] в задаче о молниотводе (рис.3а) для защиты антенн радиотелескопов [13]. Физико-геометрические эффекты индуктивного тренда приведены на рис. 4 (красными стрелками).

4. ПРИМЕР НАХОЖДЕНИЯ ЭФФЕКТОВ ТРЕНДА ПРОВОДИМОСТИ

Построим тренд эффектов на основе временного тренда входных воздействий. Выбираем в качестве исходного эффекта явление электроосмоса [5]. Электроосмос – это перемещение жидкости в капилляре под действием приложенной ЭДС. Эффект задается следующим математическим выражением

$$V = \frac{\zeta \varepsilon S}{4\pi\eta\ell} E,$$

где V – линейная скорость жидкости, ζ – дзета-потенциал, E – потенциал внешнего поля, S – сечение капилляра, η – вязкость жидкости, ℓ – расстояние между электродами.

По известным размерностям входа E и выхода V находим передаточную матрицу эффекта

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

Физическая величина в этой клетке таблицы Бартини называется проводимостью (но в системе СИ эта величина имеет размер Ом), поэтому и тренд эффектов назовем трендом проводимости.

Сдвигаемся на шаг вверх, попадаем в клетку напряженности электромагнитного поля H . Находим выход эффекта

$$W_2 H = \begin{bmatrix} L^{-1} & 0 \\ 0 & T^1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} L^2 & 0 \\ 0 & T^{-3} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} L^1 & 0 \\ 0 & T^{-2} \end{bmatrix} = a.$$

где a – линейное ускорение.

Такой эффект может быть отнесен к электромагнитному ускорению заряженных частиц, при котором на заряженную частицу, например, в соленоиде, действует сила Лоренца F , зависящая от напряженности электромагнитного поля H . При массе m под действием силы F частица приобретает линейное ускорение $a=F/m$. Этот эффект также используется в электромагнитном оружии, в котором заряженное тело, вылетая из поля, совершает убойное действие [14].

Для следующего эффекта тренда входным воздействием является давление P . Находим выходную величину

$$W_2 P = \begin{bmatrix} L^{-1} & 0 \\ 0 & T^1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} L^2 & 0 \\ 0 & T^{-4} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} L^1 & 0 \\ 0 & T^{-3} \end{bmatrix} = j,$$

где j – плотность потока или, применительно к потоку заряженных частиц, плотность тока, измеряемая в системе СИ в A/m^2 . Изменение плотности тока в зависимости от давления газа характерно для газового разряда в электровакуумных приборах [15]. При атмосферном давлении внутри колбы с электродами разряда не возникает, потому что даже при высоком напряжении, разряду не пробить промежуток между электродами. При откачке газа давление падает, и возникает пробой в виде дугового разряда – тонкий малиновый шнур (для воздуха). При дальнейшем снижении давления дуговой разряд переходит в тлеющий, плотность тока растет, разряд занимает всю колбу. Эффекты тренда проводимости представлены на рис. 4 синими стрелками.

	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
T^{-1}	Линейная скорость	Обильность двумерная	Расход объемный	Скорость смещения объема	$L^5 T^{-1}$

Рис. 4. Физико-геометрические эффекты индуктивного тренда (красные стрелки) и тренда проводимости (синие стрелки)

Аналогично можно построить тренды для других эффектов.

5. ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

Введение эффекта передаточной матрицы, формально совпадающей по виду с матрицами физических величин, позволяет размещать эффекты в клетках таблицы Бартини. Несколько эффектов, попавших в одну клетку, образуют тренд. Таким образом, все эффекты тренда обладают одинаковым свойством или инвариантом. Таблицу размерностей Бартини можно использовать как средство классификации, кодирования и хранения эффектов, что облегчает их поиск для решения изобретательских задач. На рис. 5 приведен фрагмент LT-таблицы, в котором эффекты размещены под порядковыми номерами.

	L^{-2}	L^{-1}	L^0
T^0	14	8,9,10 w_3	
T^1	13	5,6,7 w_2	15
T^2	11,12	1,2,3,4 w_1	

Рис. 5. Фрагмент LT –таблицы трендов эффектов

В индуктивный тренд с инвариантом W_1 входят следующие эффекты:

1. Эффект Барнетта
2. Прямой пьезоэлектрический эффект
3. Эффект самоиндукции,
4. Эффект изменения электрической прочности газов в зависимости от давления

В тренд проводимости с инвариантом W_1 входят следующие эффекты:

5. Эффект электроосмоса
6. Эффект электромагнитного ускорения
7. Эффект изменения плотности тока в газовом разряде

Кроме того, показаны в качестве примера заполнения таблицы и другие эффекты:

8. Радиометрический эффект проявления силы отталкивания между двумя поверхностями в разреженном газе, имеющими разную температуру, вход – разность температур $L^5 T^{-4}$, выход – сила $L^4 T^{-4}$
9. Эффект Доплера, вход – линейная скорость $L^1 T^{-1}$, выход – частота $L^0 T^{-1}$
10. Механико-геометрический эффект прокатки сляба в лист, вход – объем $L^3 T^0$, выход – поверхность $L^2 T^0$
11. Эффект Дорна (седиментации), вход – сила тяжести (или центробежная сила) $L^4 T^{-4}$, выход – разность потенциалов $L^2 T^{-2}$
12. Закон Фарадея (электромагнитной индукции), вход – сила $L^4 T^{-4}$, выход – ЭДС $L^2 T^{-2}$
13. Тензорезистивный эффект, вход – линейная деформация $L^1 T^0$, выход – электрическое сопротивление $L^{-1} T^1$
14. Закон Гука, вход – сила $L^4 T^{-4}$, выход – механическое напряжение, давление $L^2 T^{-4}$
15. Эффект Доплера, вход – линейная скорость $L^1 T^{-1}$, выход – длина волны $L^1 T^0$.

Главное отличие такого табличного указателя в том, что в нем учитываются некоторые конструктивные особенности технической реализации эффекта. Многие физические эффекты имеют несколько разных входных и выходных воздействий. Например, тензорезистивный эффект (№13) может иметь на входе линейную деформацию, т. е. тензорезистор вытягивается или сжимается по длине, но может быть и пленочным. Для пленочного входом будет давление, и тензоэффект на пленочном тензорезисторе попадет в другую клетку – $L^{-3} T^5$. Аналогично для выходов – эффект Доплера (№9 и №13) размещается в разных клетках в зависимости от того, что получается на выходе доплеровского измерителя скорости, длина волны или частота.

Рассмотренные тренды относятся к закону свертывания и развертывания технических систем, а не только к закону повышения согласованности [10]. Действительно, тренд «Точка-Линия-Плоскость-Объем» сворачивается в клетку $L^1 T^0$ таблицы Бартини, где инвариант $L^1 T^0$ может входить уже в тренды инвариантов с соседними клетками. На рис. 5 представлен временной тренд такого рода инвариантов $L^{-1} T^0 \rightarrow L^{-1} T^1 \rightarrow L^{-1} T^2$ в зеленой, синей и красной клетках соответственно. Для тренда эффектов в зеленой клетке передаточная матрица W_3 равна

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

а в системе Бартини размерность $L^{-1} T^0$ имеют величины кривизна и изменение проводимости во времени (рис. 1). Тренд инвариантов $L^{-1} T^0 \rightarrow L^{-1} T^1 \rightarrow L^{-1} T^2$ может быть представлен электрическим эквивалентом. Если вместо размерностей в базисе LT подставить условные обозначения элементов электрического контура, то получим следующую цепочку:

$$1/C \rightarrow R \rightarrow L,$$

где C – емкость, Ф, R – электрическое сопротивление, Ом, L – индуктивность, Гн. Для эффектов №№ 1,2,3,4 в индуктивном тренде с инвариантом W_1 индуктивность L является идеальной моделью, отражающей главное свойство преобразования входа в выход. Это свойство заключается в том, что при подаче на вход эффекта потока (или тока – для заряженных частиц) в эффекте возникает некоторая сила, препятствующая изменению этого потока (тока). Энергия взаимодействия не рассеивается, она остается в эффекте. С информационной точки зрения можно сказать, что возникает память, запоминающая это состояние.

Аналогично для эффектов №№ 5,6,7 в тренде проводимости с инвариантом W_2 идеальной моделью является активное омическое сопротивление R . Сопротивление также препятствует входному потоку (или току), но результат не запоминается, так как энергия взаимодействия рассеивается в виде тепла.

Характерный пример – явление электромагнитной индукции, оно используется в эффектах № 3 (самоиндукция) и № 6 (электромагнитное ускорение). Пока ток меняется, по величине или направлению, свойство индуктивности L сохраняется. Как только ток становится постоянным, свойство индуктивности пропадает, появляется свойство омического сопротивления R , энергия рассеивается при нагреве проводника. Эффект переходит на тренд проводимости. Конечно, пример относится к идеальному проводнику, который обладает или только индуктивностью, или только активным сопротивлением. При электромагнитном ускорении снаряд, вылетающий из орудия, уносит энергию поля, которая рассеивается при трении в полете.

Эффекты можно численно сравнивать по степени сложности их моделей в виде передаточных матриц. Если эффект задан передаточной матрицей W (1), 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.

6. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

При анализе физических эффектов в ЛТ-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
- для обучения изобретательской физике в рамках ТРИЗ

ЛИТЕРАТУРА

1. Альтшуллер Г. С. Найти идею. Введение в теорию решения изобретательских задач. – 3-е изд., дополненное. – Петрозаводск: Скандинавия, 2003. – с.240.
2. Vladimir Petrov. The Laws of System Evolution. The TRIZ journal, On 21, Mar 2002.
3. Саламатов Ю.П. Система законов развития техники. В сборнике «Шанс на приключение»/ Сост. А.Б.Селюцкий. – Петрозаводск: Карелия.1991. – с.7-174.
4. Горин Ю.В., Землянский В.В. Создание новых технических решений на основе использования физических эффектов и явлений: Методическое пособие для преподавателей образовательных учреждений СПО. – Пенза: ПГТА, ПКУ и ПТ им. Е.Д. Басулина, 2005. – 60 с.
5. Физические эффекты в машиностроении: Справочник / В.А.Лукьянец, З.И.Алмазова, Н.П. Бурмистрова и др.; Под общ. ред. В.А.Лукьянца. – М.: Машиностроение. 1993. – 224 с.
6. Лабковский Б.А. Наука изобретать. – СПб.: Нордмет-Издат, 1999. – 372 с.
7. Филиппов Л. П. Теория термодинамического подобия. Учебное пособие. – М., Изд-во МГУ, 1985, – 108 с.
8. Глазунов В.Н. Параметрический метод разрешения противоречий в технике (методы анализа проблем и поиска решений в технике) – М.: Речной транспорт, 1990. – 150 с.
9. Coatanéab E, Ryynänen L, Calonius O, Mokammel Fa, Riitahuhtab A. Systematic search and ranking of physical contradictions using graph theory principles: Toward a systematic analysis of design strategies and their impacts. World Conference: TRIZ FUTURE, TF 2011-2014. Procedia Engineering 131 (2015) 1165 – 1182.
10. Любомирский А. Тренд «Точка-Линия-Плоскость-Объем». Доклады Международной конференции «Развитие ТРИЗ: достижения, проблемы, перспективы» MATRIZ Fest 2005, СПб, 2005 г. <https://metodolog.ru/00514/00514.html>
11. Бартини Р.О., Кузнецов П.Г. О множественности геометрий и множественности физик. / Проблемы и особенности современной научной методологии. – Свердловск: АН СССР, Урал. науч. центр. – 1978, С. 55-65.
12. Lisovskiy V. A., Yakovin S. D., Yegorenkov V. D. Low-pressure gas breakdown in uniform dc electric field // J. Phys. D: Appl. Phys. 2000. – Vol. 33, no. 21. – P. 2722–2730.
13. Стекольников И.С. Молниеотвод. Авт. св-во СССР № 177497. Публ. 18.12.1965 г., Бюл. № 1.
14. Васильев Е.В. Пат. РФ № 2324249. Многоступенчатый ускоритель с бегущим переключением соленоидов. Публ. 10.05.2008. Бюл. № 13.
15. Райзер Ю. П. Физика газового разряда. – 2-е изд. – М.: Наука, 1992. – 536 с.