

## НАУЧНЫЕ ДИСКУССИИ

УДК 389.0

**А. В. Нестеров**

(Москва)

### ФИЛОСОФИЯ ИЗМЕРЕНИЙ

Рассматриваются аспекты тензорного подхода к измерениям фундаментальных величин, а также соотношений между ними.

При изучении объектов исследователь имеет дело не только со структурными свойствами (например, длина и мощность в физике), но и с функциональными. Поэтому для таких объектов пытаются создать идеализированные конструктивные определения и способы измерения функциональных свойств и понятий, т. е. определения, задающие стандарты в том же смысле, в каком науки, не имеющие телеологической ориентации, задают стандарты для структурных понятий [1].

Стандарт может быть идеализирован только в относительном смысле. Например, в соответствии с развитием науки и уровнем знаний процесс измерения длины непрерывно совершенствуется от материального эталона (платино-иридиевого стержня) к длине волны света и далее к единому эталону времени и длины. Кроме того, исследуемые объекты не предстают перед нами разделенными на дисциплины. Нет явлений физических, химических, экономических и других. В настоящее время специалисты пытаются проникнуть в структуру частей объектов и их связей, опираясь на понимание функционирования всей системы как целого, что невозможно без использования функциональных понятий.

Если исходить из того, что измерения являются частным случаем метрии, то под метрией будем понимать любые формальные и неформальные процедуры (дающие возможность повторяемости результата), использующие объективные и субъективные способы, средства и навыки фиксации и оценивания значений характеристик, показателей свойств и качественных атрибутов объектов, позволяющие соотнести эти значения с числовой или другой количественной шкалой, и приписать им алфавитно-цифровые шифры, знаки и символы.

В философских публикациях используются следующие термины: *материя*, *Вселенная*, *природа*, *материальный мир*, *объективная действительность* и т. п. Очертим круг понятий, задействованных в данном тексте, не для того, чтобы дать еще одно определение, а для ограничения их расширитель-

ного понимания. Вселенная – допускаемый самоочевидный термин. Универс – конечная часть Вселенной. Элемент универса Вселенной – часть универса Вселенной, рассматриваемая самостоятельно. Определение материи будет дано ниже. Другие синонимы не используются.

Будем считать, что Вселенная адекватно отражается, движется в сторону уменьшения некоторого потенциала с конечной скоростью и обладает корпускулярными (дискретными) и волновыми (полевыми) свойствами. Корпускулы имеют массу покоя, а электромагнитное поле не имеет. Особенностью чисто волнового процесса является то, что он осуществляет перенос энергии без переноса вещества. Элемент универса Вселенной не существует без движения, поэтому не существует какой-либо формы этого элемента в чистом виде, так как в этом случае прекратился бы процесс преобразования другой его формы. Например, энергия есть свойство элементов универса Вселенной и не может изменяться без них, так как свойство неотрывно от элементов. Термин материя в данном тексте подразумевает материальный объект, внутреннее корпускулярное движение элементов которого приводит к тому, что объект остается объектом в окружающей среде и представляет для исследователя самостоятельный интерес, при этом энергетические и информационные свойства отступают на второй план [2].

Когда говорят о триединстве времени, пространства и вещества, то подразумевают не только вещество в корпускулярном виде, но и в виде электромагнитного поля. Поэтому будем использовать триединство времени, пространства и элемента. При этом обратим внимание на то, что вещество и поле взаимопроницаемы.

Особенностью поля является то, что волна может накладываться на волну, а корпускулы – нет. Кроме того, отметим, что если рассматривать в качестве элемента понятие, т. е. абстрактный элемент, то характеристика такого элемента – количество вещества – имеет для него значение, равное нулю, однако число более простых элементов, входящих в понятие, может иметь положительное значение.

Элемент можно рассматривать как вещественный, обладающий массой покоя, или как полевой, обладающий массой инерции, или как абстрактный, не обладающий массой и инерцией.

Время – свойство элемента универса Вселенной (событий), достаточное для того, чтобы позволить данному элементу различать любые два изменения в одном и том же свойстве этого же элемента. Момент времени – это такой короткий период, что в течение его не может произойти ни одно событие, т. е. начало и конец которого человек не может индивидуализировать. Когда говорят о передаче энергии, материи или информации, то подразумевают, что передается не энергия, материя и информация, а элементы универса Вселенной, так как отдельно, например, информация без ее носителя передаваться не может, так же как и полезные свойства материи не могут переноситься без их носителя. У каждого из этих свойств элемента универса Вселенной есть свои носители энергии, материи и информации. В связи с этим говорят о триединстве энергии, материальных объектов (материи) и информации в категориальном смысле. На практике для удобства исследования выделенные объекты рассматриваются в состоянии покоя, пренебрегая связями, поскольку изучаются некоторые проекции этого процесса в виде объектов или его свойств.

Современные системы измерения содержат ограниченное количество основных величин, однако существуют системы, в рамках которых все физические величины выражаются только через две основные: длину  $L$  и время  $T$ .

В работе [3] приведена история создания данной системы. Еще Максвелл в 1873 году отмечал такую возможность. В 1941 году Браун разработал первый вариант такой системы, а в 1966 году независимо Бартини создал *LT*-таблицу, особенностью которой было целочисленное представление показателей величин. В 1933 году Файрстоун ввел различие между физическими переменными двух типов: продольными и поперечными. Поперечные переменные, такие как напряжение, скорость, давление, температура и т. п., выражаются как разности и измеряются в двух пространственно различных точках. Соответствующие продольные переменные (сила, ток, поток жидкости и т. п.) измеряются в одной точке.

В 1916 году Эйнштейн ввел тензорное представление, в рамках которого получили развитие ковариантные и контравариантные изменения. Если координата объекта меняется в том же направлении, в каком изменился базис, – объект ковариантен по этому базису. Если координата объекта меняется противоположным образом, объект контравариантен. Если же координата объекта не меняется, то он называется инвариантным относительно этих изменений.

Введем следующие понятия [4]. Тензор является сложной категорией, образованной пересечением трех и более категорий. Введем три базовые категории (мегакатегории): продольную ( $X$ ), поперечную ( $Y$ ), инвариантную ( $Z$ ). Продольная – категория, отражающая свойство предмета рассмотрения, которое может быть наблюдаемо, проявлено, представлено в одной точке (в виде точки). Поперечная – категория, отражающая свойство предмета рассмотрения, которое может быть наблюдаемо, проявлено, представлено в двух и более конечном числе точек. Инвариантная (системная) – категория, отражающая свойство предмета рассмотрения, которое может быть наблюдаемо, проявлено, представлено в виде неопределенного (открытого, ангажементного, условного) множества точек. В англоязычной литературе такие объекты называют «паттернами». Мегакатегории могут образовывать сочетания  $XY$ ,  $XZ$ ,  $YZ$ ,  $XYZ$ . Если мегакатегории  $X$ ,  $Y$ ,  $Z$  представить как координаты ортогонального категорийного пространства, тогда составные категории  $XY$ ,  $XZ$ ,  $YZ$  будут представлять собой некоторые категорийные плоскости, а конкретные  $X$ ,  $Y$ ,  $Z$ ,  $XY$ ,  $XZ$ ,  $YZ$  – некоторые проекции предмета рассмотрения ( $XYZ$ ) в категорийном пространстве  $XYZ$ .

Элемент универса Вселенной как предмет рассмотрения обладает всеми тремя мегакатегориями  $X$ ,  $Y$ ,  $Z$ , которым можно поставить в соответствие три фундаментальных свойства Вселенной: временное, пространственное (геометрическое) и элементное (принадлежность системе) – и соответственно три характеристики, описывающие соответствующие физические величины: время, длину (пространство) и количество вещества (элемент), которые можно рассматривать как некоторые проекции  $XYZ$  категорийного пространства.

Когда мы говорим об измерении, то подразумеваем процедуру отображения, которая возможна только потому, что элементы универса Вселенной обладают свойством адекватно отражаться как в других элементах универса Вселенной, так и в самих себе.

Процесс отражения – группа преобразований, состоящая из масштабирования (самоотражения); зеркального отражения, при котором левое становится правым; деформации, в том числе разрывов, при условии постоянства некоторой величины, характеризующей объект преобразования, например, принадлежность к группе или постоянство площади при разделении плоско-

го квадрата на части. Здесь группа – совокупность систематизированных объектов, которая не является систематизированным классом, а преобразования – совокупность операций над объектом, в результате которых хотя бы одно свойство объекта изменяется либо ковариантно и хотя бы одно свойство объекта остается постоянным (инвариантным).

В свою очередь, свойство отражения порождает информационное свойство или, точнее, возможность фиксации отражения в виде отображения, которое представляют собой данные. Информация извлекается из данных только тогда, когда целеустремленный элемент универса Вселенной использует их с какой-либо целью. Особенностью информации является то, что, пока существует носитель информации, поток отражения неисчерпаем и зависит только от наблюдающего элемента универса Вселенной.

В физической основе Вселенной лежат два фундаментальных физических свойства: корпускулярное и волновое, которые используются в качестве основных в двух единицах измерения физических величин: времени и длины. Эталоном времени являются атомные цезиевые часы, в которых детектор определяет количество долетевших до него атомов цезия (в частности, в секунду это количество составляет 9 192 631 770 шт.) [5]. Физическая величина – время – является ковариантной, так как при увеличении масштаба времени в 60 раз (1 мин) количество атомов, долетевших до детектора, увеличится в 60 раз.

Эталон длины – атомный водородный квантовый генератор, в котором определяется количество периодов световой волны в вакууме, в частности, метр – длина пути, проходимого светом за  $1/299792458$  с. Если измерять длину в миллиметрах (например, отрезок 20 мм), то при увеличении масштаба в 10 раз (т. е. в сантиметрах) значение величины отрезка уменьшится в 10 раз и станет равным 2 см, поэтому длина является контравариантной величиной по отношению к размерности.

Третья фундаментальная единица измерения – количество вещества, которое представляет собой число структурных элементов, составляющих систему. Один моль вещества равен количеству вещества системы и содержит столько же элементов, сколько содержится атомов в углероде (12) массой 0,012 кг. При этом элементами могут быть атомы, молекулы и т. п. Если однородная система содержит  $N$  частиц, то ее количество вещества  $n = N/N_A$ , где  $N_A = 6,0221367 \cdot 10^{23}$  моль<sup>-1</sup> (число Авогадро). Физическая величина – количество вещества – является инвариантной, так как при увеличении масштаба в  $k$  раз, например, при переходе от атомов к молекулам, количество вещества (элементов) в системе останется прежним. Для измерения количества электромагнитного поля используется внесистемная единица – эйнштейн. Один эйнштейн вызывает фотохимическое превращение – 1 моль вещества в системе, способной к фотохимическим реакциям [6].

Определение значения величины (физической) данного объекта осуществляется с помощью измерения или вычисления, т. е. в виде фиксации определенного числа единиц, где под единицей понимается величина фиксированного размера, численно равная математической единице и однородная определяемой величине. Размер величины (физической) объекта существует реально и не зависит от того, в каких единицах величин его выражают, однако числовое значение величины зависит от изменения размера единицы измерения.

Произведение двух и более физических величин одной размерности приводит к появлению величины с размерностью, равной квадрату, кубу и т. д. исходной размерности. Деление двух физических величин одной размерности соответствует появлению безразмерной величины. Деление двух физических величин разных размерностей образует так называемые удельные величины. Умножение двух физических величин разной размерности приводит к появлению величин с размерностью, равной их произведению, в частном случае мощности. Удельные характеристики можно разделить на два вида, в частности, если в знаменателе расположена величина – время, то такую характеристику называют скоростью изменения величины  $Y$ ; если в знаменателе расположена величина – длина, то такую характеристику называют градиентом величины  $Y$ .

Математическая величина  $Y$  может быть представлена функциональной зависимостью от другой величины  $X$  на плоскости, например, в виде двух функций  $Y$ : ковариантной  $Y_1$  и контравариантной  $Y_2$  от базиса  $X$  (рис. 1). В качестве базиса  $X$  могут выступать три базовые физические величины: безразмерное количество элементов  $n$  и размерные – длина  $l$  и время  $t$ . Для ковариантной зависимости физической величины  $Y$  от  $X$  функциональную связь выразим коэффициентом связи  $K_1$ . Для контравариантной зависимости физической величины  $X$  от  $Y$  функциональную связь представим коэффициентом связи  $K_2$ .

Среди контравариантных зависимостей можно выделить функцию  $K_3 = XY$ , которую изображают гиперболой (рис. 1,  $a$ :  $Y_1 = Y_{01} + K_1 X$ ,  $K_1 = \Delta Y_1 / \Delta X$ ,  $K_1 = R_0$  – сопротивление;  $X_2 = X_{02} - K_2 Y$ ,  $K_2 = X_{02} / Y_{02}$ ,  $K_2 = G_0$  – проводимость;  $K_3 = YX$ ,  $K_3 = \text{const}$ ,  $K_3 = P_0$  – мощность; рис. 1,  $b$ :  $K_3$  – коэффициент эластичности:  $K_3 = X_0 X / (Y_0 - X_0 X)$ ;  $Y = \Pi$  – цена;  $X = K$  – количество;  $K_3 = D$  – доход;  $D = \Pi K = \text{const}$ ). Особенностью кривой рис. 1,  $b$  является наличие единичного значения такой величины, как эластичность. Эластичность – величина, представляющая процентное изменение одной величины к заданному процентному изменению другой величины при прочих равных условиях. В простейшем случае процентное изменение величины определяется как отношение разности значений одной величины для взятого отрезка кривой к значению другой величины, полученному как средняя точка для данного отрезка кривой. Коэффициент эластичности по  $Y$  определяется по формуле  $K_3 = bX / (a - bX)$ . Эластичность широко используется в экономике.

Коэффициенты, связывающие  $Y$  и  $X$ , в общем случае могут представлять собой некоторые функции, а в случае, если они зависят от третьей величины  $Z$ , то – функционалы. В простейшем случае эти зависимости изображаются

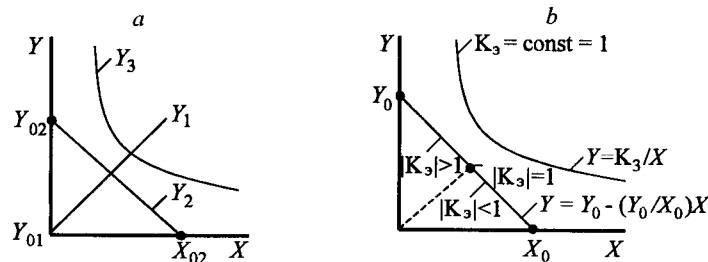


Рис. 1

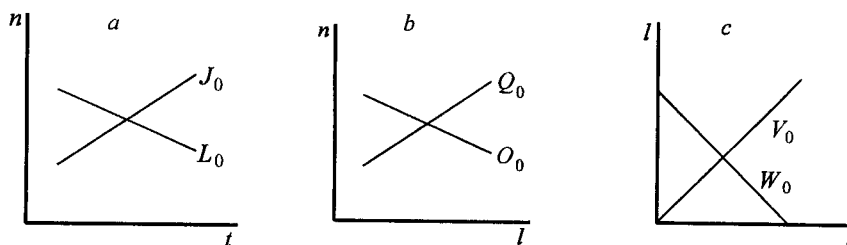


Рис. 2

набором кривых, в которых переход от одной кривой к другой осуществляется с шагом, кратным изменению  $Z$ .

Сочетание  $nt$  может породить три вида функциональных зависимостей и три типа размерностей –  $[NT^{-1}]$ ,  $[TN^{-1}]$ ,  $[TN]$  (рис. 2,  $a-c$ , где  $J_0 = n_0/t_0$  – производительность, частота;  $L_0 = 1/J_0$  – цикличность, период;  $Q_0 = n_0/l_0$  – градиент;  $O_0 = 1/Q_0$  – продуктивность;  $V_0 = l_0/t_0$  – скорость;  $W_0 = 1/V_0$  – проницаемость):

1)  $n = J_0 t$ , где  $J_0 = n_0/t_0 [NT^{-1}]$ ,  $J_0$  по размерности совпадает с частотой;

2)  $n = n_0 - \frac{n_0}{t_0} t$ , где  $\frac{t_0}{n_0} = \frac{1}{J_0} [TN^{-1}]$ ,  $1/J_0$  по размерности совпадает с

периодом;

3)  $J_k = nt [NT]$ ,  $J_k$  по размерности совпадает с доходом, если цену единицы товара выражать в единицах времени, израсходованного на производство данной единицы товара.

Сочетание  $nl$  может породить три вида функциональных зависимостей и три типа размерностей –  $[NL^{-1}]$ ,  $[LN^{-1}]$ ,  $[LN]$ :

1)  $n = Q_0 l$ , где  $Q_0 = n_0/l_0 [NL^{-1}]$ ,  $Q_0$  по размерности совпадает с градиентом;

2)  $l = l_0 - \frac{l_0}{n_0} n$ , где  $l_0/n_0 = 1/Q_0 = O_0$ ,  $O_0$  по размерности совпадает с

продуктивностью;

3)  $Q_k = nl [NL]$ ,  $Q_k$  по размерности совпадает с мощностью транспортных потоков, измеряемой, например, в вагонокилометрах.

Сочетание типа  $ux$  может породить три вида функциональных зависимостей и три типа размерностей:

1)  $y = R_0 x$ , где  $R_0 = y_0/x_0 [YX^{-1}]$ ,  $R_0$  по размерности совпадает с сопротивлением; для случая  $x = t$ ,  $y = l$ ,  $l = V_0 t$ , где  $V_0 = l_0/t_0 [LT^{-1}]$ ,  $V_0$  по размерности совпадает со скоростью;

2)  $y = y_0 - \frac{y_0}{x_0} x$ , где  $G_0 = x_0/y_0 = 1/R_0 [XY^{-1}]$  по размерности совпадает с

проводимостью; для случая  $x = t$ ,  $y = l$ , где  $G_0 = W_0 = 1/V_0$  по размерности совпадает с проницаемостью;

3)  $P_0 = xy [XY]$ , где  $P_0 = \text{const}$  по размерности совпадает с мощностью.

Для определения типа размерностей  $[YX^{-1}]$ ,  $[XY^{-1}]$ ,  $[XY]$  рассмотрим зависимости  $V_0 = f([V])$ ,  $G_0 = f([G])$ ,  $P_0 = f([P])$ . Значение скорости будет уменьшаться при увеличении масштаба единицы измерения скорости, так как при увеличении масштаба длины значение длины будет уменьшаться, а

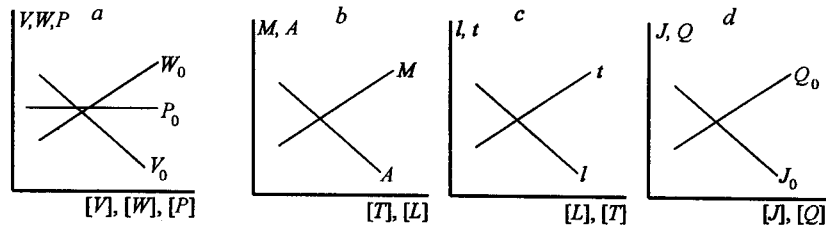


Рис. 3

увеличение масштаба времени приводит к увеличению значения времени, но поскольку время находится в знаменателе, то это приводит к уменьшению значения скорости. Поэтому скорость является контравариантной величиной по отношению к размерности. Естественно, величина, обратная скорости, т. е. проницаемость, будет величиной, ковариантной по отношению к размерности. Мощность как величина полной мощности замкнутой системы будет величиной инвариантной, так как при увеличении значения ковариантной величины пропорционально будет уменьшаться значение контравариантной величины (рис. 3, *a–d*).

По отношению к размерности все ковариантные величины будут иметь размерность, пропорциональную  $[T]$  либо  $[TL^{-1}]$ , контравариантные –  $[L]$  либо  $[LT^{-1}]$ , а инвариантные –  $[N]$  либо  $[LT]$ .

Материя – совокупность свойств, определяющих инерцию элементов универса Вселенной. Среди характеристик, описывающих материальные (инерционные) свойства, можно выделить произведение количества вещества на время (моль · с). Инерцию объекта можно выразить через постоянную времени. Поэтому материальное свойство будет ковариантно по отношению к размерности. Материальное свойство в виде инертности проявляется не только через характеристику (масса в механических системах), но и через аналогичную ей характеристику (индуктивность в электромагнитных системах), а также через другие характеристики в нефизических системах.

Энергия – совокупность свойств, определяющих взаимодействие, работу, совершаемую элементами универса Вселенной. Среди характеристик, описывающих энергетические свойства, можно выделить произведение количества вещества на длину (путь) (моль · м), а также работу (Дж). Работа, совершаемая элементами при взаимодействии, может быть выражена в расстоянии, на которое был поднят груз. Поэтому энергетическое свойство будет контравариантно по отношению к размерности.

Индивидуальность – совокупность свойств, определяющих циклическое, замкнутое движение. Среди характеристик, описывающих индивидуальностные свойства, можно выделить произведение длины на время (м · с), а также мощность (Вт). Поэтому индивидуальностное свойство инвариантно по отношению к размерности и проявляется в различных системах по-разному: в термодинамических системах через характеристику – термодинамическую температуру и связанную с ней термодинамическую энтропию, а в информационных системах в виде характеристики – количества информации (данных).

Факт рождения элемента универса Вселенной характеризуется не только началом его движения во времени, но и началом движения потока отражения этого элемента в окружающей его среде или индивидуализации, что в конеч-

ном счете приводит к информации как еще одному свойству элементов универса Вселенной. Свойство индивидуальности проявляется тогда, когда появляется неоднородность, т. е. выделяется хотя бы один активный элемент, а превышение активных элементов над пассивными приводит к возникновению характеристик, описывающих индивидуальность. Выделение активного элемента из среды позволяет появиться некоторой разности потенциалов, а она, в свою очередь, продуцирует некоторый процесс, который течет в сторону уменьшения этого потенциала. Переход из одного состояния в другое при определенных условиях приводит к циклам. Одним из наиболее известных циклов является цикл Карно, исследование которого привело Больцмана к выявлению связи между энтропией и вероятностью состояния объекта, а далее к появлению закона энергостатистики – возрастания энтропии изолированной макроскопической системы (самопроизвольного перехода системы из менее вероятного в более вероятное состояние  $\Delta S = S_2 - S_1 \geq 0$ ) [7]. Макроскопические объекты – объекты, состоящие из множества элементов универса Вселенной, совокупное поведение которых подчиняется статистическим, вероятностным законам. Состояние объекта определяется совокупностью независимых макроскопических параметров состояния – среднестатистических величин, при этом считается, что интенсивные параметры не зависят от размеров объекта, а экстенсивные – зависят и являются удельными. Существует мнение, что средняя температура больных по больнице не имеет смысла, однако при этом упускается из вида, что температура отдельного атома в теле также бессмысленна. Температура тела фактически зависит от относительных скоростей частиц его составляющих. При этом выделяют активные и пассивные частицы, и если количество активных частиц или их скорости будут возрастать, то будет расти и температура тела, поэтому температуру вне ее физической сущности можно представить в виде формулы  $T = k \ln(N_1 / N)$ , где  $N_1$  – количество активных элементов;  $N$  – количество пассивных элементов. Формула Больцмана для энтропии имеет аналогичный вид:  $s = k \ln W$ , такой же вид имеет формула Шеннона для информации ( $I = -\log_2 p$ ).

В связи с тем, что событие в прошлом не может наступить в будущем, существует временная причинно-следственная зависимость. Поэтому в функциональной зависимости  $y = f(t)$  время может быть только аргументом. В этом заключается смысл необратимости времени.

Особенностью функциональных зависимостей, у которых в качестве аргумента выступает время, является то, что с их помощью характеризуют динамические или инерционные свойства элементов универса Вселенной (т. е. переходные процессы). Как правило, переходные процессы зависят не только от инерционных свойств элемента, но и от энергии, затрачиваемой на преодоление инерции, а также от информации, используемой во время переходного процесса [8].

Среди информационных ограничений отметим следующие. Через систему можно передать такое количество данных, которое не больше, чем на входе системы. Первым это отметил Винер в решении задачи об оптимальной линейной фильтрации. Ошибка на выходе системы зависит только от спектральных характеристик сигнала и помех и не зависит ни от каких параметров самой системы. Потеря информации происходит и в самой системе и может зависеть от нелинейностей элементов системы (модуляции, квантования). Оценка этих информационных ограничений может быть осуществлена с помощью теоремы Котельникова, в соответствии с которой верхняя граница



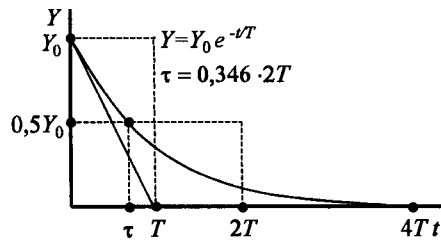


Рис. 4

диапазона рабочих частот сигнала должна быть как минимум в 2 раза меньше частоты преобразования.

Обычно стандартная функциональная зависимость между  $Y$  и  $X$  для случая  $x = t$  выражается в виде реакции на скачкообразное изменение величины  $Y_0$  и представляет собой  $Y = Y_0 e^{-t/T}$ , где  $e = 2,718$ ;  $T$  – постоянная времени, зависящая от параметров объекта, в котором происходит процесс

(рис. 4). Практически экспоненциальный процесс достигает установившегося значения при  $t_n = (3 - 5)T$ . Для простоты берут  $t_n = 4T$ . Постоянная времени представляет собой время, в течение которого происходил бы процесс, если скорость процесса постоянна и равна  $V = Y_0/T$ . При этом считается, что  $\int_0^{\infty} Y_0 e^{-t/T} dt = Y_0 T$  или  $Y_0 e^{-\tau/T} = 0,5Y_0$  и  $\tau = T_0 \ln 2 = 0,346T_0$  (время полу-

превращения процесса – второй вид постоянной времени, где  $T_0 = 0,5t_n$ ).

Однако реальные процессы обычно описываются дифференциальным уравнением второго порядка. Уравнение переходной функции в этом случае имеет вид:

$$h(t) = h_0 \left[ 1 - \left( \cos \frac{t}{T} \sqrt{1 - d_0^2} + \frac{d_0}{\sqrt{1 - d_0^2}} \sin \frac{t}{T} \sqrt{1 - d_0^2} \right) e^{-\frac{d_0 t}{T}} \right].$$

Фактически это решение дифференциального уравнения, например, для электрической цепи, содержащей последовательно соединенные сопротивление  $R$ , индуктивность  $L$  и емкость  $C$  в виде  $u = q/C + R(dq/dt) + L(d^2 q/dt^2)$ , где  $u$  – напряжение;  $q$  – заряд, представляющий синусоиду с периодом  $T = \sqrt{CL}$  (резонансной частотой  $W = 1/T$ ) и затуханием  $d_0 = 0,5R\sqrt{C/L}$ .

В зависимости от параметров элементов электрического колебательного контура (звена второго порядка) вид переходной функции может быть различным от апериодического до экспоненциально возрастающего, а также колебательного процесса.

Переходный процесс имеет колебательный характер только при  $d_0 < 1$  или  $CR^2 < 4L$ . Если же  $d_0 > 1$  или  $CR^2 > 4L$ , процесс носит апериодический характер. В случае, когда  $d_0 = 1$  или  $CR^2 = 4L$ , процесс периодический, но имеет только одно перерегулирование и считается оптимальным с точки зрения быстродействия.

Если  $d_0 = 0$ , процесс имеет колебательный характер без затухания. Если  $-1 < d_0 < 0$ , процесс имеет характер расходящихся колебаний. Если  $d_0 < -1$ , процесс носит экспоненциальный характер. Если  $d_0 = -1$ , то имеет место идеально возрастающий экспоненциальный процесс.

Логистической кривой описываются многие процессы, например, классическим примером является кривая роста бобового стебля (рис. 5).

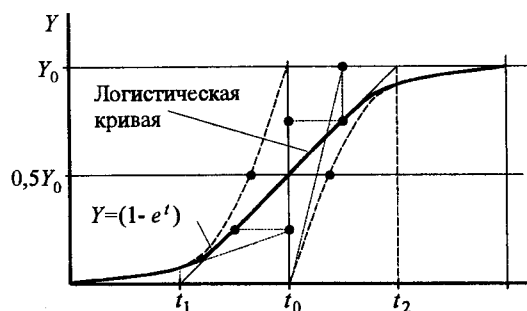


Рис. 5

Логистическая кривая может быть представлена уравнением

$$h(t) = h_0 \frac{d_0}{R\sqrt{d_0^2 - 1}} \left[ e^{\frac{(-d_0 + \sqrt{d_0^2 - 1})t}{T}} - e^{\frac{(-d_0 - \sqrt{d_0^2 - 1})t}{T}} \right] \text{ для } d_0 > 1.$$

Если исходить из того, что наблюдаемый элемент является целеустремленным и его цель может быть противоположной цели наблюдателя, а среда, расположенная между ними, имеет неоднородную структуру и обладает нестационарностью, то данные, полученные (измеренные) наблюдателем, всегда будут неполными. Они будут содержать ошибки, которые связаны с наблюдателем и его инструментом, с окружающей средой и объектом.

Точность измерительных средств проще всего характеризуется ценой деления  $x$  шкалы прибора, поэтому информация, содержащаяся в показаниях  $X$  измерительного средства, определяется  $J = X/x$ , где  $J$  – число делений шкалы прибора между нулем и стрелкой, а для цифровых приборов – это число единиц младшего разряда прибора, содержащееся в показаниях на табло. Так как  $x$  и  $X$  имеют одинаковую размерность, то информация всегда безразмерна и пропорциональна абсолютной величине показаний прибора, но обратно пропорциональна цене деления его шкалы. В связи с тем, что исторически сложилось, что информация по Шеннону измеряется в битах, данная информация также имеет размерность – бит [9].

Отсюда следует, что чем точнее прибор (меньше  $x$ ), тем больше информации можно получить об измеряемом объекте, а в пределе – бесконечно много информации. Однако так как любое материальное свойство как таковое существует в рамках определенной целостности, конечности –  $X_0$ , то информацию, получаемую при  $X_0$ , называют потенциальной в отличие от актуальной, снимаемой с реальных приборов. Если обозначить конкретное измеряемое материальное свойство объекта  $M_k$ , а полученную информацию о конкретном объекте  $J_k$ , то  $J_k = R_k M_k$ , где  $R_k = X_0/x$  – отношение диапазона существования материального свойства к цене деления шкалы прибора или информационная проницаемость среды. При  $R_k = 1$ , т. е. при  $X_0 = x$ , имеем потенциальную информацию  $J_k = M_k$ , а при  $R_k = 0$  не имеем никакой информации. При этом под понятием  $M$  можем понимать, например, то массу, то заряд, то совокупность людей, любое материальное свойство.

Различают три вида информации [9]: чувственную (измеренную), логическую (усредненную) и прагматическую (полезную). Информация, получа-

емая субъектом через органы чувств и измерительные приборы, составляет чувственную информацию, особенностью которой является ее индивидуальность, принадлежность только одному объекту и только тому моменту времени, в который происходит измерение. Так, измерив рост и вес Иванова, мы не можем сказать о росте и весе Петрова, а также о росте и весе Иванова через месяц, так как они могут измениться. Если с помощью некоторых логических операций субъект или специальный прибор – интегратор – определит среднее (арифметическое, геометрическое, гармоническое и т. д.) значение целого класса однородных объектов или состояний одного объекта, то образуется логическая информация (понятие) о росте и весе человека вообще, относящаяся к обобщенному объекту с усредненными свойствами, которых в природе может и не быть. Так, например, усредненная информация о стадах одногорбых и двугорбых верблюдов дает информацию об абстрактном верблюде с нецелым числом горбов и адекватно отражает всю популяцию.

Особенностью логической информации является то, что в отличие от чувственной (измеренной) информации она представляет собой восприятие (идеальный продукт синтезатора), которое не соответствует никакому конкретному материальному объекту и не имеет определенного материального носителя (если не считать мозг в целом).

Ни чувственная, ни логическая информация не свидетельствуют о полезности измеряемого объекта, важности его с точки зрения тех или иных целей практического использования. Эти два вида информации не зависят от целей, поэтому для характеристики важности и полезности объекта используется так называемая прагматическая информация, которая зависит от степени воздействия объекта на цель и извлекается не столько из объекта, сколько из цели.

В нефизических сферах существует большое число различных мер, с помощью которых производят оценки некоторых элементов универса Вселенной, в том числе и процессов в области, например, рыночных отношений.

Цена товара в денежных единицах – эквивалент стоимости товара. Цена единицы товара может быть выражена в универсальном эквиваленте – времени, затраченном на производство единицы товара (кстати, достаточно широко используемая мера сравнения производительности труда при международном его разделении). Особенность данного эквивалента – его независимость от конкретной национальной денежной единицы, каждая из которых является переменной величиной и поэтому имеет курсовую стоимость. Даже золото как всеобщий эквивалент подвержено курсовым влияниям в разных странах. Время, использованное на производство одной единицы продукта, хотя и универсальная, но неоднозначная мера. Большое значение имеют количество затраченной энергии и количество используемой информации при производстве этой единицы продукта и, естественно, количество материи (материалов).

Измерение физических величин элементов универса Вселенной как любой процесс обладает мегакатегорийными проекциями и не может происходить вне времени, пространства (геометрического) и элемента (принадлежности системе), а также без учета материальных, энергетических и информационных (индивидуальных) свойств измерительных устройств, которые тоже представляют собой элементы универса Вселенной.

Поэтому измерительная процедура подразумевает материальное, энергетическое и информационное взаимодействие измеряемого и измерительного элемента. В случае соразмерности этих элементов индивидуальность

измеряемого элемента и его дискретность, размытость и т. п. становятся основными, поэтому говорят, что в основе измерений лежит информационная сущность. В этом случае обнаруживается, что наблюдатель и измерительная система воздействуют на свойства объекта и наблюдатель становится элементом взаимодействия.

Отметим, что если в качестве предмета исследования рассматривается информация (данные), то тогда вышеуказанная информационная сущность представляет собой метаинформационную, а в качестве объектов измерения выступают образцы – элементы универса Вселенной, отображающие сами себя.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Акофф Р., Эмери Ф. О целеустремленных системах. М.: Сов. радио, 1974.
2. Брон О. Б. Электромагнитное поле как вид материи. М.: Энергоиздат, 1960.
3. Петров А. Е. Тензорная методология в теории систем. М.: Радио и связь, 1985.
4. Нестеров А. В. Тензорный подход к анализу и синтезу систем // НТИ. Сер. 2. 1995. № 9. С. 26.
5. Чертов А. Г. Физические величины. М., 1990.
6. Степнин Б. Д. Применение международной системы единиц физических величин в химии. М.: Высшая школа, 1990.
7. Алексеев Г. Н. Энергоэнтропика. М.: Знание, 1983.
8. Каган В. Г. Электроприводы с предельным быстродействием для систем воспроизведения движений. М.: Энергия, 1975.
9. Денисов А. А. Введение в информационный анализ систем. Л.: ЛПИ, 1998.

*Государственный таможенный комитет РФ,  
Центральная таможенная лаборатория*

*Поступила в редакцию  
20 апреля 1999 г.*