Московский государственный технический университет
им. Н.Э. Баумана

А.С. Чуев, Задорожный Н.А.

Введение в размерностное и системное представление физических величин

Часть 1. (Механические величины)

Учебное пособие для школьников, готовящихся к поступлению в технический вуз

Москва, МГТУ им. Н.Э. Баумана
2016

УДК 53.081; 537.8

ББК
Ч

Рецензент:

Чуев А.С., Задорожный Н.А. Введение в размерностное и системное представление физических величин. Учебное пособие. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2016. – … с.

Изложены основные сведения о размерностях физических величин в системе единиц СИ и системном представлении большинства величин на основе многоуровневого размещения их на матрице с их же *LT*- размерностным выражением. В размерностной системе физических величин, как и известной системе химических элементов, действует системное правило – местоположение системного элемента определяет его свойства. Более того, в физической системе обнаружилось еще одно замечательное свойство – оказалось, что определенным образом выделенные физические величины, образующие геометрически правильные фигуры (параллелограммы), своими системными связями одновременно выражают и физические закономерности. Учебное пособие знакомит школьников с системой физических величин и закономерностей, впервые разработанной в МГТУ им. Н.Э. Баумана. Часть 1 предназначена для начального ознакомления с системой ФВиЗ и содержит механические величины двух типов – кинематические и динамические.

Для школьников старших классов подшефных школ МГТУ им. Н.Э. Баумана.

Илл. 5 Библиогр. 6 назв.

УДК 53.081; 537.8

ББК

Методическое издание

Анатолий Степанович Чуев

Николай АнтоновичЗадорожный

Введение в размерностное и системное

представление физических величин

Редактор
Корректор
Компьютерная верстка

Предисловие

Все физические величины определенным образом связаны друг с другом и составляют неизвестную нам в целом глобальную систему природных закономерностей. Это положение признается большинством ученых и исследователей природы.

Постижение всей совокупности природных взаимосвязей вряд ли доступно человечеству - даже в отдаленной исторической перспективе. Однако физическую сущность и определенную системность в закономерных взаимосвязях (соотношениях) известных нам на сегодня физических величин можно постичь уже сегодня, применяя системный размерностный анализ, то есть изучая используемые размерности физических величин и их соотношения, многие из которых выражают природные закономерности.

Обнаружение системности в расположении и взаимосвязях физических величин по аналогии с системой химических элементов Д.И. Менделеева позволяет многое. Во-первых, уточнить характер или принцип строения структуры и взаимосвязей системных элементов. Во-вторых, правильная расстановка элементов системы позволяет выявить «белые пятна» и целенаправленно искать недостающие элементы системы. В-третьих, исходя из общих свойств системы, имеется возможность априори выявлять некоторые характерные свойства и признаки этих, еще не обнаруженных элементов, поскольку их свойства, как правило, определяются местоположением в системе. И, самое примечательное, что подтверждено на практике, правильно найденная система физических величин содержит в себе и систему природных закономерностей.

Систему физических величин, подобную системе химических элементов пытались создать или открыть многие, но в определенной степени это удалось достичь Р.Л. Бартини - известному советскому авиаконструктору, который создал первую в истории *LT*-размерностную систему величин. Чтобы понять эти первые шаги, сделанные в системном представлении физических величин, познакомиться вначале с тем, что такое размерности физических величин и каковы бывают их разновидности.

Основная часть

Физические величины и их размерности

Под физической величиной понимают качественную характеристику того или иного физического объекта материального мира, существующую как бы сама по себе (например, *время* и *пространство*) или встречающуюся во множестве объектов и явлений, обладающую способностью к количественной определенности через принятую для нее единицу измерения.

Наряду с единицами измерения, используют понятие размерности величин. Размерность физической величины – одна из важнейших ее характеристик, которую можно определить как буквенное выражение, показывающее связь данной величины с величинами, принятыми за основные в рассматриваемой системе единиц.

Основные величины – это такие величины, единицы измерения которых, могут устанавливаться произвольными по размеру. Например, в Международной системе единиц (СИ) единицей длины принят метр, а единицей массы килограмм. В другой, на сегодня устаревшей системе единиц СГС, единицей длины принят сантиметр, а единицей массы грамм. Единица времени для этих систем единиц принята одинаковой по размеру, это секунда.

Число основных величин в любой системе единиц строго определенное. Так, система СИ содержит семь основных системных величин, обозначаемых в уравнениях связи (физических формулах) буквами: l, m, t, I, T, ν и J, где l– длина, m – масса, t – время, I – сила электрического тока, T – термодинамическая температура, ν – количество вещества, J – сила света.

Для обозначения размерности основных величин системы СИ приняты большие буквы латинского алфавита: для длины – L, массы – M, времени – T, силы электрического тока – I, термодинамической температуры – Θ, количества вещества – N и силы света – J. Размерности записывают прописными буквами и печатают прямым шрифтом. Кроме основных величин в системе СИ имеются две дополнительные: плоский угол и телесный угол. Единицами их измерения установлены радиан и стерадиан, они признаются безразмерными (табл.1).

Табл.1. Основные и дополнительные величины системы СИ.

№	Наименование ФВ	Обозн.	Ед. измерения	Обозн. ед. измер.	Размер-ность
1	Длина	l	метр	м	L
2	Масса	m	килограмм	кг	M
3	Время	t	секунда	с	T
4	Сила электрического тока	I	ампер	А	I
5	Термодинамическая температура	T	кельвин	К	Θ
6	Количество вещества	n, ν	моль	моль	N
7	Сила света	J	кандела	кд	J
8*	Плоский угол	α,β, γ, θ, ν, φ	радиан	рад	1
9*	Телесный угол	ω, Ω	стерадиан	ср	1

Размерность любой величины x обозначается через $\dim x$. Например, $\dim l = \mathrm{L}$, $\dim t = \mathrm{T}$, $\dim m = \mathrm{M}$. Над размерностями величин, как и над самими величинами, можно производить действия умножения, деления, возведения в степень и извлечения корня.

Все величины, не входящие в основные, называются производными. Единицы измерения производных физических величин устанавливаются строго определенным образом – по так называемым уравнениям связи. Например, скорость есть путь (длина), деленный на время. Уравнение связи для скорости $\mathrm{v} = l / t$. Поскольку длина и время входят в основные величины и их единицы измерения уже установлены, то единицей измерения скорости в системе СИ будет 1м/с, а в системе СГС 1см/с и никак не иначе. Размерности всех производных величин по форме представляют собой одночлен из обозначения размерности основных величин, имеющих определенные степени. Обозначение основной величины в степени 0 обычно используется. Например, размерность скорости имеет вид LT^{-1}, размерность силы - MLT^{-2}. Показатель степени, в которую возведена размерность основной величины, входящей в степенной одночлен, называют показателем размерности. Примеры обозначения в СИ размерностей других наиболее часто используемых величин приведены в табл. 2.

Табл. 2. Наиболее широко используемые механические физические величины

№	Наименование ФВ	Обозначение или уравнение связи	Ед. измерения	Размерность	
				СИ	LT
1	Длина	l	метр, (м)	L	L
2	Время	t	секунда, (с)	T	T
3	Скорость	v	метр в секунду	LT^{-1}	LT^{-1}
4	Ускорение	a	метр на секунду в квадрате (м/с^2)	LT^{-2}	LT^{-2}
5	Кривизна	r^{-1}	метр в минус 1 (м$^{-1}$)	L^{-1}	L^{-1}
6	Частота	f	герц, (Гц)	T^{-1}	T^{-1}
7	Масса	m	килограмм, (кг)	M	$\mathrm{L}^3\mathrm{T}^{-2}$
8	Сила	$F = m\,a$	ньютон, (Н)	$\mathrm{M\,LT}^{-2}$	$\mathrm{L}^4\mathrm{T}^{-4}$
9	Энергия	$W = F\,l$	джоуль, (Дж)	$\mathrm{M\,L}^2\mathrm{T}^{-2}$	$\mathrm{L}^5\mathrm{T}^{-4}$
10	Мощность	$N = W / t$	ватт, (Вт)	$\mathrm{M\,L}^2\mathrm{T}^{-3}$	$\mathrm{L}^5\mathrm{T}^{-5}$
11	Давление	$P = F / s = W / V$	паскаль, (Па)	$\mathrm{ML}^{-1}\mathrm{T}^{-2}$	$\mathrm{L}^4\mathrm{T}^{-2}$

В табл. 2 имеется столбец, в котором приведены размерности тех же самых величин в LT- размерности. Это система единиц, в которой основными величинами принимают длину и время, все остальные величины оказываются выраженными через длину и время. Интересно, что размерность всех величин можно выразить и через одну основную и такие системы есть. Данный факт иллюстрирует органическое устройство Природы по принципу «Все во всем».

Далее показано некоторое продолжение табл. 2.

№	Наименование ФВ	Обозначение или уравнение связи	Ед. измерения	Размерность	
				СИ	LT
12	Площадь	s	метр², (м²)	L^2	L^2
13	Объем	V	метр³, (м³)	L^3	L^3
14	Плотность	ρ_m	кг/м³	ML^{-3}	T^{-2}
15	Импульс (количество движения)	$P = mv$	кг·м/с	MLT^{-1}	L^4T^{-3}
16	Момент импульса	$L = mvr$	кг·м²/с	ML^2T^{-1}	L^5T^{-3}
17	Натяжение (жесткость)	$f = F/l = W/S$	Н/м	MT^{-2}	L^3T^{-4}
1*	Сила электр. тока	I	ампер, (А)	I	
2*	Электр. заряд	$q = I * t$	кулон, (Кл)	IT	
3*	Эл. напряжение	$U = I*R$	вольт, (В)	$M L^2T^{-2}I^{-1}$	
4*	Эл. сопротивление	$R = U / I$	ом, (Ом)	$M L^2T^{-3}I^{-2}$	

Перевод размерности физических величин, приведенных в табл.2, из размерностей СИ в LT- размерностную систему осуществим подстановкой взамен размерности массы значения L^3T^{-2}. Такой выбор замены размерности для массы позволяет произвести третий закон Кеплера, что далее будет рассмотрено более подробно. Как осуществляется замена размерностей массы можно показать и на примере сравнении двух силовых законов: второго закона Ньютона и его же закона всемирного тяготения

$$ma = G\frac{mM}{r^2}.$$

Если принять значение *гравитационной постоянной* G безразмерной величиной и сократить в этом выражении слева и справа малую букву m, то размерность массы M центрального тела определится как $\dim M = L^3T^{-2}$.

Выражая размерность *массы* таким образом, мы получаем возможность выразить большинство других величин через *длину* и *время*, что показано в табл. 2. Бинарное выражение размерности физических величин позволяет разместить их на одной плоскости в соответствующих координатах. Так образом впервые была получена система ФВ, созданная известным советским авиаконструктором Р.Л. Бартини.

Система Р.Л. Бартини представлена на рис. 1, все физические величины (ФВ) имели размерностное выражение через *длину* и *время*. Бинарное представление размерности всех ФВ позволило разместить их в одной плоскости и создать планарную систему ФВ. Из-за LT – размерностного представления ФВ система размерностей получила название *кинематической*. Точно так же можно называть и систему ФВ по рис.1.

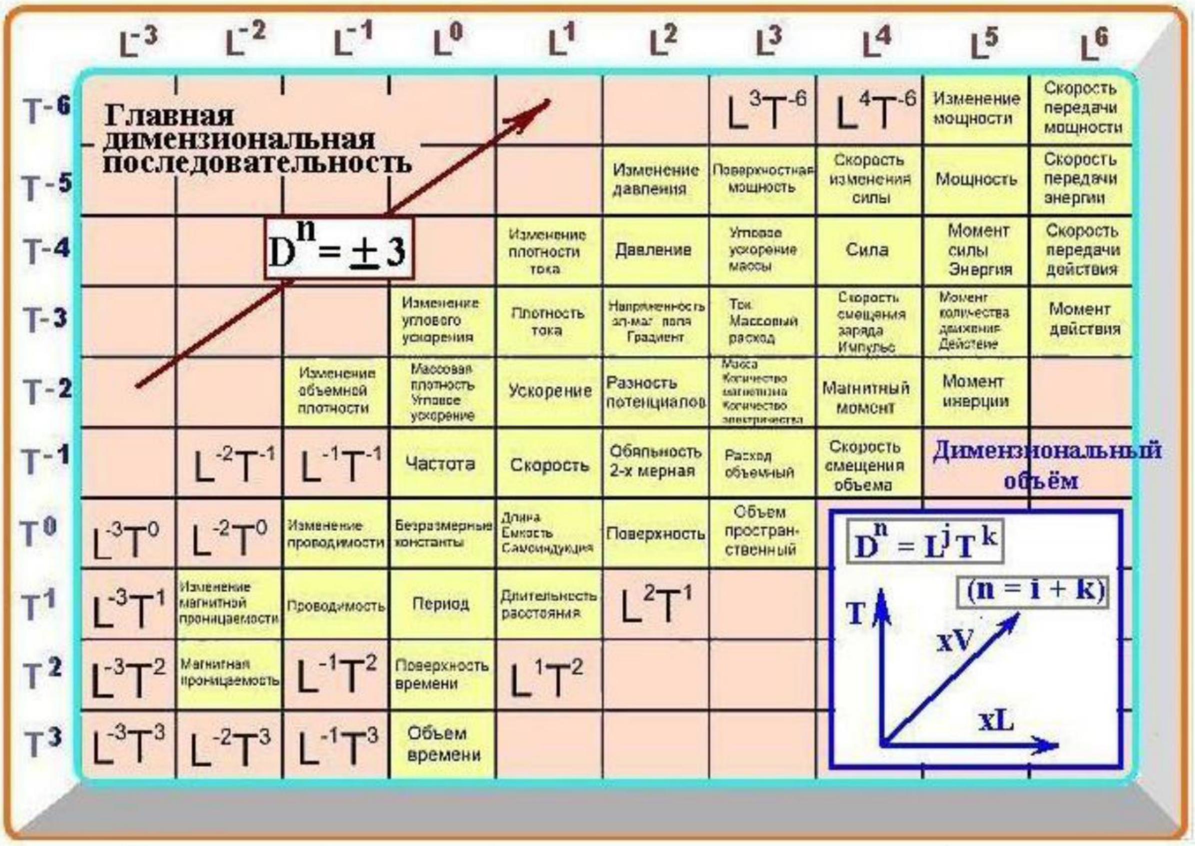

Рис. 1. Кинематическая система физических величин Р.Л. Бартини

В своей системе Бартини открыл «главную димензиональную последовательность» в расположении ФВ и предсказал существование нескольких новых величин. Однако, из-за использования не очень практичной *LT*-размерности величин, данная система не нашла широкого практического применения.

Системное представление физических величин в размерностях СИ

Исследования Р.Л. Бартини про созданию системы ФВ получили дальнейшее развитие в работах А.С. Чуева [1]. Базовое представление ФВ в *LT*-размерности в целом сохранилось, но система стала многоуровневой и ФВ получили привычные размерности системы СИ. Примечательным оказалось то, что в системе стало возможным обнаруживать закономерные связи между величинами и она получила наименование системы физических величин и закономерностей (ФВиЗ).

Если сравнивать систему ФВиЗ с ее прототипом - системой Бартини, то можно заметить, что, если не принимать во внимание всех других изменений, то прототип оказался как бы повернутым на четверть оборота (45 градусов) по часовой стрелке. Это хорошо видно на рис. 2, на котором изображены ФВ системы СИ, в размерности которых присутствуют размерностные обозначения только *длины* L и *времени* T.

Рис. 2. Системное расположение кинематических ФВ в размерностях СИ

Как можно заметить по рис. 2, все ФВ имеют упорядоченное расположение, но отличное от их расположения в системе Бартини. При ближайших переходах от элемента к элементу системы слева направо происходит увеличения их размерности на размерность скорости (LT^{-1}). При ближайших переходах сверху вниз и справа налево, происходит деление на размерность *длины* L, а при переходах сверху вниз и слева направо, происходит деление размерности на размерность *времени* T.

Аналогичным образом размещаются на своем системном уровне механические ФВ (рис. 3), которые получили наименование общих базовых динамических величин.

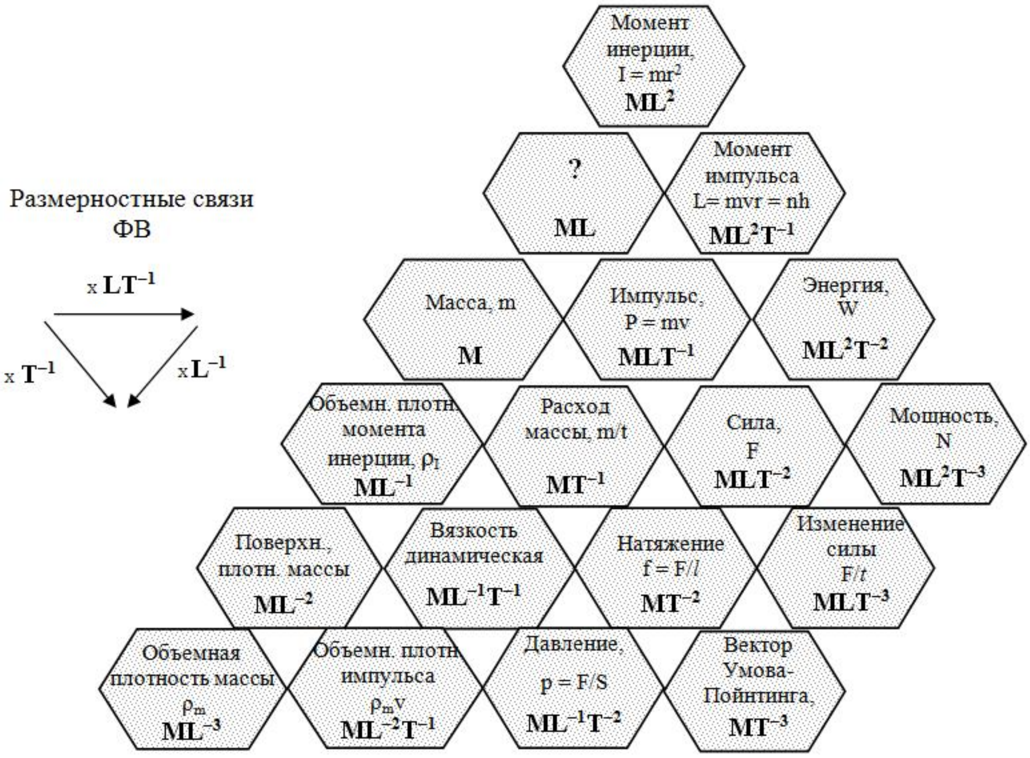

Рис. 3. Расположение ФВ на системном уровне общих базовых динамических ФВ

Теперь рассмотрим, как осуществляется «сшивка» двух показанных на рис. 2 и рис. 3 блоков ФВ. Можно заметить, что кинематические ФВ в отличие от динамических не содержат в своей размерности *массу*. Однако на рис. 2 мы уже обозначили присутствие *гравитационной массы* с размерностью L^3T^{-2}. Данная размерность *массы* обусловлена физически наблюдаемой закономерностью - третьим законом Кеплера, по которому *инертная масса* Солнца в килограммах выражается через отношение *пространственных* и *временных* характеристик планет. Закон формулируется так: «Отношение куба большой полуоси планерной орбиты к квадрату периода обращения планеты вокруг Солнца есть величина, одинаковая для всех планет». Оказывается если это отношение поделить на *массу* Солнца в килограммах (с поправкой $16\pi^3$), то в результате мы получаем значение *гравитационной постоянной* $\gamma = 6{,}67259(85) \cdot 10^{-11}$ м^3/(с^2·кг). Поясним это подробнее.

Если соотнести параметры планетных орбит по третьему закону Кеплера (R^3/T^2) и массу Солнца $M_c = 1{,}989 \cdot 10^{30}$ кг, то усредненный результат вычисления такого соотношения для трех планет с наиболее правильной круговой орбитой их движения вокруг Солнца (Венера, Земля и Нептун) показывает соотношение: 1 кг = 169, $58 \cdot 10^{-14}$ м^3/с^2 .

При внимательном рассмотрении можно заметить, что этот результат есть отношение $\gamma/4\pi^2$, где γ – известная *гравитационная постоянная* (постоянная тяготения) в системе СИ.

Отсюда следует вывод, что *постоянная тяготения* системы СИ содержит в себе переводной коэффициент (соотношение) двух различных выражений *массы* – в килограммах и в м^3/с^2.

Чтобы разобраться с дополнительным числовым коэффициентом $4\pi^2$ рассмотрим соотношение двух разновидностей *массы* более детально. Центростремительное *ускорение*, воздействующее на планеты Солнечной системы, определяется выражением

$$a = \frac{\mathrm{v}^2}{R} = \frac{(2\pi R)^2}{T^2}\frac{1}{R} = \frac{4\pi^2 R}{T^2}$$

где: v , R и T – орбитальная скорость, радиус и период обращения любой из планет (Приложение 2).

Гравитационная масса Солнца служит источником сферически распространяющегося потока ускорений a, поэтому, с учетом предыдущего выражения, указанная масса определится выражением

$$M_{\text{гр}} = 4\pi R^2 a = \frac{16\pi^3 R^3}{T^2}.$$

Если вычислить согласно этому выражению гравитационную массу Солнца в м^3/с^2 (исходя из средних значений пространственно-временных параметров планет) и отнести ее к известной массе Солнца в килограммах, то получается следующее соотношение

$$\frac{M_{\text{гр}}}{M_{\text{ин}}} = 4\pi\gamma,$$

где γ – постоянная тяготения, значение которой в СИ: $\gamma = 6{,}67259\cdot10^{-11}$ м^3/(с$^2\cdot$кг).

Полученное таким образом соотношение между гравитационной массой (измеряемой в м^3/с^2) и инертной массой (измеряемой в килограммах) по сути есть гравитационная постоянная в ее традиционном понимании.

$$G = 4\pi\gamma = 8{,}3850238\cdot10^{-10} \text{ м}^3/(\text{с}^2\cdot\text{кг})$$

При этом закон всемирного тяготения наиболее правильно следует записывать в виде

$$F = G\frac{m_1 \cdot m_2}{4\pi R^2}.$$

Для самого закона тяготения ничего не меняется (выражение для *силы* умножили и разделили на 4π). Но существенно то, что новое значение *постоянной тяготения* станет теперь напрямую определяться соотношением между *гравитационной массой*, измеряемой в м^3/с^2 и *инертной массой*, измеряемой в килограммах. Определяющее соотношение для силы тяготения в LT- системе размерностей (где $G = 1$), по сути, тоже не меняется:

$$F = \frac{m_1 \cdot m_2}{R^2}.$$

Таким образом, в многоуровневой системе ФВиЗ вполне однозначно определилось взаимное расположение двух базовых уровней ФВ, названных *кинематическими* и *динамическими* величинами. Эти ФВ именуются также общими базовыми, поскольку они участвуют в закономерных связях почти со всеми другими ФВ. Планарное (плоское) изображение этих двух системных уровней с размещением в одной системной ячейке *инертной* и *гравитационной* масс, показано на рис. 4.

Вполне очевидно, что в одной и той же системной ячейке (системном элементе) рис. 4 оказываются наложенными друг на друга не только две разнородные *массы*, но и другие величины, которые совсем не похожи между собой. Так под *объемной плотностью массы* оказывается *скорость в степени* 2, под *током массы* расположена *скорость в степени* 3 и т.д. То есть система по рис. 4 представляет собой двухслойное или двухуровневое образование, но с жесткой привязкой друг к другу (сшивкой) этих уровней расположением двух *масс* строго друг над другом. Результирующее изображение системы ФВиЗ с наложением друг на друга двух ее базовых системных уровней приведена на рис. 4.

Рис. 4. Системное изображение двух уровней общих базовых величин: кинематических и динамических ФВ.

По изображению рис. 4 можно заметить, что если в размерностном выражении динамических ФВ размерность *массы* выразить через размерности *длины* и *времени*, то эти величины получат свое размерностное выражение в кинематической *LT*-размерностой системе Бартини. Отличие их размерностей от размерностей в системе СИ одно и то же для всех динамических величин, они отличаются на размерность *гравитационной постоянной* в системе СИ, т.е. на $L^3T^{-2}M^{-1}$. Различие динамических ФВ в системах размерностей СИ и *LT*- приведено в Приложении 1.

Несмотря на указанное отличие в размерностях ФВ двух системных групп, между ними обнаруживаются системные связи, которые подчиняются определенной логике и топологии, причем эти связи выражают природные закономерности. Обозначенная логика и топология состоят в следующем: произведения (*отношения*) размерностей ФВ, расположенных на противоположных (*смежных*) вершинах выделенного параллелограмма, равны. Данное свойство автоматически выполнялось и в системе Бартини, но оно выполнялось для любых системных связей типа выделенного параллелограмма. Поэтому отделить закономерные связи от любых геометрических связей, не было никакой возможности и закономерные связи просто не замечались. В системе ФВиЗ, выполненной на размерностях СИ, индикатором закономерных связей стало обозначенное выше свойство соотношения размерностей ФВ, располагаемых в вершинах выделяемого параллелограмма.

В частных случаях, когда «выделенный параллелограмм» видится как бы сбоку и превращается в «выделенную линию», то в закономерных взаимосвязях произведение размерностей ФВ, расположенных на краях выделенной линии, равно второй степени размерности ФВ, расположенной в ее середине или произведению внутренних ФВ. На рис. 5 таким свойством обладает горизонтальна линия, на краях которой расположены *безразмерная константа* и *мощность*. По ней можно определить, что *мощность* есть произведение *силы* на *скорость*.

Рис. 5. Система механических величин с иллюстрацией системных закономерностей

На рис. 5 можно провести горизонтальную линию, связывающую *массу*, *импульс* и *энергию*. Данная выделенная линия будет выражать следующие их закономерные связи

$$p = \sqrt{2mW}\ ; \qquad W = \frac{p^2}{2m}.$$

По этим выражениям видно, что природные закономерности в системе ФВиЗ выражаются не в виде соотношения наименований или буквенных обозначений ФВ, а в виде соотношения их размерностей. Поэтому надо иметь в виду, что реальные природные закономерности могут иметь числовые коэффициенты типа двойки или числа пи.

Рассмотрим конкретный пример поиска закономерностей в системе, изображенной на приводимых рисунках. Например, нам надо отыскать закономерную взаимосвязь между *силой* и *давлением*. Пользуясь системой по рис. 4 или рис. 5 мысленно проводим линию (диагональ выделенного параллелограмма) от элемента с *безразмерной константой* до элемента, содержащего *силу*. Потом находим элемент системы с ФВ *давление* и на противоположном конце второй диагонали выделяемого параллелограмма обнаруживаем системный элемент с ФВ *площадь*.

Далее проверяем равенство произведений размерностей ФВ, располагаемых на противоположных вершинах выделенного параллелограмма. Наличие такого равенства подтверждает правильность нахождения природной закономерности. В нашем примере будет иллюстрироваться хорошо известное соотношение: *сила* есть *давление*, умноженное на *площадь*. Или, по иному, *давление* есть отношение *силы* к *площади*.

Еще один пример, выделенная горизонтальная линия, проведенная в системе от *безразмерной константы* до *силы*, будет иллюстрировать определяющее уравнение связи для *реактивной силы*, выражаемой как произведение *расхода массы* (топлива) на *скорость* истечения газов реактивного двигателя.

Иллюстрация в системе многоэлементных уравнений связи, в которых присутствуют ФВ в степени более двух или трех (имеется в виду объем), вызывает наибольшие сложности (к счастью, таких закономерностей в механике не так много, к тому же они членимы на более простые уравнения связи). Для примера рассмотрим формулу Пуазейля (см. Приложение 2).

Для построения выделенного параллелограммы следует знать, что формула Пуазейля связывает объем вытекающей из трубы жидкости Q (*изменение объема*) с *динамической вязкостью* η и *градиентом давления* по длине трубы ($\Delta p/l$). Пользуясь системой по рис. 5 и опираясь на элемент системы с *безразмерной константой*, находим, что произведение *изменения объема* на *динамическую вязкость* есть *энергия*.

Поскольку поиск физических закономерностей в системе ФВиЗ имеет свою логику и достаточно формализован, оказалось возможной разработка соответствующей электронной компьютерной программы. Программу разработал в 2010 г. Александр Легейда, будучи студентом ГУУ.

Данная программа положена в основу практической части настоящего учебного пособия. Практическая часть представляет собой компьютерный лабораторный практикум, который позволяет учащимся обрести умение быстро находить системное размещение той или иной ФВ и определять их системные связи, выражающие природные закономерности.

При подготовке к выполнению компьютерного лабораторного практикума школьники знакомятся с материалами настоящего учебного пособия и руководством пользователя к компьютерной программе.

ПРАКТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

<u>Задание 1</u>. Используя учебный файл «МЕХАНИКА-показ.lts» компьютерной программы познакомиться с порядком размещения и визуального выделения физических величин в системных элементах, а также с примерами визуализации (выделенным параллелограммом или выделенной линией) природных закономерностей.

По результатам выполнения задания сделать вывод о возможной классификации природных закономерностей, иллюстрируемых с помощью программы.

Задание 2. Используя учебный файл компьютерной программы «МЕХАНИКА-учебный.lts» найти, отобразить и запомнить в виде файлов (посредством клавиши Print Scrn и программы Paint) системную визуализацию на экране компьютера следующих закономерностей (вариант дается преподавателем при выполнении работы):

Вариант А:

1) Определяющее уравнение связи для *натяжения*.

2) Определяющее уравнение связи для *вращательного момента силы*.

3) Системное выражение кинетической энергии (через *импульс* и *массу*).

4) Системное выражение *момента импульса* (через *момент инерции*).

5) Системное выражение *мощности* вращательного движения (через *момент инерции*).

Вариант Б:

1) Определяющее уравнение связи для *реактивной силы*.

2) Определяющее уравнение связи для *угловой скорости*.

3) Системное выражение кинетической энергии (через *массу* и *скорость*).

4) Системное выражение *момента импульса* (через *импульс*).

5) Системное выражение Закона всемирного тяготения.

Вариант В:

1) Определяющее уравнение связи для *энергии*.

2) Определяющее уравнение связи для *углового ускорения*.

3) Системное выражение *мощности* (через *энергию*).

4) Системное выражение энергии (с участием *момента инерции*).

5) Системное выражение *объемной плотности массы*.

Вариант Г:

1) Определяющее уравнение связи для *мощности*.

2) Определяющее уравнение связи для *динамической вязкости*.

3) Системное выражение мощности (с участием *силы*).

4) Системное выражение вращательного *момента силы* (через *момент инерции*).

5) Системное выражение *объемной плотности момента импульса.*

Вариант Д:

1) Определяющее уравнение связи для *давления*.

2) Определяющее уравнение связи для *кинематической вязкости*.

3) Системное выражение энергии (через *давление*).

4) Системное выражение *мощности* при вращательном движении (через *момент силы*).

5) Системное выражение взаимосвязи *динамической вязкости* и *кинематической вязкости.*

Результаты выполнения своего варианта задания 2 проиллюстрировать преподавателю.

Задание 3. Научиться пользоваться однорисуночным изображением системы механических величин без использования компьютерной программы

Контрольные вопросы по теме занятия

1. Знать единицы измерения и размерности механических физических величин, уметь находить их системные связи.
2. Дайте определение следующих понятий: физическая величина, единица измерения физической величины, размерность физической величины.
3. Сформулируйте определения для: системы физических величин и системы единиц физических величин. Приведите примеры. В чем отличия этих понятий?
4. Назовите семь основных и две дополнительные физические величины международной системы единиц СИ. Назовите единицы измерения этих величин, их обозначения. Как обозначаются размерности этих величин?
5. Какие системы единиц называются естественными? Какие единицы физических величин называют планковскими и каков порядок их величин?
6. В чем принципиальное отличие основных и производных физических величин любой системы единиц? Что такое определяющее уравнение связи?
7. Назовите две основные группы, которые образуют механические физические величины.
8. Как отличаются по размерности механические величины системы СИ от содержащих их *LT*–размерностных системных элементов?
9. Как осуществляется поиск закономерностей в системе размерностных взаимосвязей физических величин в бумажном и электронном вариантах исполнения? Приведите примеры из области механики.
10. В каких случаях системная закономерность имеет вид прямой линии?

Литературные и методические материалы:

1. Коган Б.Ю. Размерность физической величины. Библиотечка физико-математической школы. – М.: Наука. 1968 г. 72 с. http://publ.lib.ru/ARCHIVES/B/"Bibliotechka_fiziko-matematicheskoy_shkoly"/_"BFMSh".html#055

2. Чуев А.С. Физическая картина мира в размерности «длина-время». Серия «Информатизация России на пороге XXI века». – М.: СИНТЕГ, 1999. 96 с.

3. Стоцкий Л.Р. Физические величины и их единицы: Справ. кн. для учителя. – М.: Просвещение, 1984. – 239 с.

4. Инструкция пользователя к компьютерному лабораторному практикуму «Изучение системных размерностных взаимосвязей физических величин». МГТУ им. Н.Э. Баумана. В электронном формате прилагается к компьютерной программе. 2014 г.

Приложение 1.

Системные группы физических величин и их расположение в системных LT – элементах

№ п/п	Наименование физической величины (ФВ)	Обозначение ФВ	Размерность ФВ в СИ	Размерность системного *LT* – элемента, в который входит ФВ	Соотношение размерностей *LT*- элемента и ФВ в СИ
Динамические общие базовые величины					
1	Энергия	W	ML^2T^{-2}	L^5T^{-4}	$M^{-1}L^3T^{-2} = G$
2	Объемная плотность энергии (давление)	w	$ML^{-1}T^{-2}$	L^2T^{-4}	
3	Мощность	N	ML^2T^{-3}	L^5T^{-5}	
4	Импульс (количество движения)	P	MLT^{-1}	L^4T^{-3}	
5	Объемная плотность импульса	ρ_P	$ML^{-2}T^{-1}$	LT^{-3}	
6	Сила механическая	F	MLT^{-2}	L^4T^{-4}	
7	Изменение силы	dF/dt	MLT^{-3}	L^4T^{-5}	
8	Вращательный момент силы	M	ML^2T^{-2}	L^5T^{-4}	
9	Объемная плотность силы	ρ_F	$ML^{-2}T^{-2}$	LT^{-4}	
10	Натяжение (поверхностная плотность энергии)	f	MT^{-2}	L^3T^{-4}	
11	Вектор Умова-Пойнтинга (изменение натяжения)	s	MT^{-3}	L^3T^{-5}	
12	Объемная плотность натяжений	ρ_f	$ML^{-3}T^{-2}$	T^{-4}	
13	Давление	p	$ML^{-1}T^{-2}$	L^2T^{-4}	
14	Градиент давления	grad$p$	$ML^{-2}T^{-2}$	LT^{-4}	
15	Изменение давления	dp/dt	$ML^{-1}T^{-3}$	L^2T^{-5}	
16	Вязкость динамическая	η	$ML^{-1}T^{-1}$	L^2T^{-3}	
17	Масса (инертная)	m	M	L^3T^{-2}	
18	Расход (ток) массы	m/t	MT^{-1}	L^3T^{-3}	
19	Объемная плотность массы	ρ_m	ML^{-3}	T^{-2}	

20	Поток объемной плотности массы	j_m	$ML^{-2}T^{-1}$	LT^{-3}	
21	Механич. момент инерции $I = \Sigma(m_i r_i)^2$	I_m	ML^2	L^5T^{-2}	
22	Момент импульса (действие актуальное)	$L = mvr$	ML^2T^{-1}	L^5T^{-3}	
23	Потенциальное действие $\Pi = FS = f{\cdot}V$	Π	ML^3T^{-2}	L^6T^{-4}	
Кинематические общие базовые величины					
1	Безразмерная константа		L^0T^0	L^0T^0	
2	Пространственная протяженность (длина)	l	L	L	
3	Площадь	S	L^2	L^2	
4	Объем пространства	V	L^3	L^3	
5	Время	t	T	T	
6	Изменение объема	dV/dt	L^3T^{-1}	L^3T^{-1}	
7	Поток объема	Vv	L^4T^{-1}	L^4T^{-1}	
8	Вязкость кинематическая (коэффициент диффузии)	υ	L^2T^{-1}	L^2T^{-1}	1
9	Скорость	v	LT^{-1}	LT^{-1}	
10	Ускорение	a	LT^{-2}	LT^{-2}	
11	Угловая скорость (угловая частота)	ω	T^{-1}	T^{-1}	
12	Угловое ускорение	ε	T^{-2}	T^{-2}	
13	Вихрь вращения	ξ	$L^{-1}T^{-1}$	$L^{-1}T^{-1}$	
14	Кривизна пространства	l^{-1}	L^{-1}	L^{-1}	

Приложение 2.

ОРБИТАЛЬНЫЕ ПАРАМЕТРЫ ПЛАНЕТ

Название	Большая полуось (а.е.)	Эксцентриситет	Наклон к эклиптике (град)	Период обращения (сут)	Наклон оси (град)	Орбит. скорость (км/с)
Меркурий	0.38709830982	0.205631752	7.0049863889	87.96843362	0.00	47.87
Венера	0.72332981996	0.006771882	3.3946619444	224.6954354	177.36	35.02
Земля	1.00000101778	0.016708617	0.0	365.24218985	23.45	29.79
Марс	1.52367934191	0.093400620	1.8497263889	686.92970957	25.19	24.13
Юпитер	5.20260319132	0.048494851	1.3032697222	4330.5957654	3.13	13.06
Сатурн	9.55490959574	0.055508622	2.4888780556	10746.940442	25.33	9.66
Уран	19.21844606178	0.046295899	0.77319611	30588.740354	97.86	6.80
Нептун	30.11038686942	0.008988095	1.7699522	59799.900456	28.31	5.44