

УДК 006.915

СТРУКТУРНО-ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ СИСТЕМА РАЗМЕРНОСТЕЙ «SE»

Вадим Николаевич Сокотушенко, кандидат технических наук, доцент кафедры энергии и окружающей среды Университета «Дубна»; почтовый адрес: 141982, Московская область, город Дубна, улица Университетская, дом 19, корпус 2, кабинет 113; контактный телефон: 8-962-961-53-52; e-mail: sokotushenko@mail.ru

Аннотация

В настоящее время общепринятой мировым научным сообществом системой единиц измерения является Международная система единиц измерения. Вместе с этим известны некоторые неточности этой системы. Например, в оптике величины потока, силы и мощности излучения имеют одинаковую размерность, что может говорить о некорректности принятых единиц измерения. В настоящей работе представлены возможные трансформации величин на основе фундаментальной системы пространственно-временных размерностей (система пространственно-временных LT-величин Р.Бартини-П.Г.Кузнецова) с энергетической точки зрения. В работе пространственно-временное представление величин определяется через величину «энергия».

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: система пространственно-временных LT-величин Р.Бартини-П.Г.Кузнецова, Международная система единиц измерения, структурно-энергетическая система размерностей

THE STRUCTURAL-ENERGETIC SYSTEM OF DIMENSIONS “SE”

Vadim Nikolaevich Sokotushenko, the candidate of technical science, the associate professor at the chair of Energy and Environment, Dubna University of Nature, Society and Man; the mail address: 141982, Moscow Region, Dubna, Universitetskaya St., 19, building 2, 113; the contact number: -962-961-53-52; e-mail: sokotushenko@mail.ru.

Abstract

Nowadays the International System of Units of Measurement is universally-acknowledged by the scientific community. However, some inaccuracy of this system is revealed. For example, in optics the quantities of the flux of radiation, its force and power have the same dimension that proves the inconsistency of the adopted units of measurement. The present work presents the possible transformations of quantities on the basis of the fundamental system of spatio-temporal dimensions (R. Bartini's and P. G. Kuznetsov's system of the spatio-temporal LT-quantities) from the energetic side. In the work the spatio-temporal representation of the quantities is indicated through the quantity “energy”.

KEY WORDS: R. Bartini's and P. G. Kuznetsov's system of the spatio-temporal LT-quantities, the International System of Units of Measurement, the structural-energetic system of dimensions.

1. Размерности величин в СИ и пространственно-временной системе LT

Международная система (обозначение системы единиц измерения – «СИ», или в русской транскрипции – «СИ») введена законодательными актами во многих государствах мира¹. Международная система охватывает все области измерений, в которой производные величины могут быть получены с помощью определяющих уравнений с числовыми коэффициентами, равными единице. Следовательно, система СИ является универсальной и когерентной.

¹ Постановлением Государственного комитета Российской Федерации по стандартизации и метрологии от 4 февраля 2003 года (статья №38) межгосударственный стандарт ГОСТ 8.417–2002 (взамен ГОСТ 8.417–81) введён в действие непосредственно в качестве государственного стандарта Российской Федерации с 1 сентября 2003 года. Вопросы по универсальной системе единиц измерения, а также возможные уточнения, регулярно обсуждаются на Генеральных конференциях по мерам и весам (ГКМВ) [1].

В настоящее время интенсивная разработка и уточнения действующей Международной системы SI объясняется исторически сложившейся ситуацией, при которой непосредственное *измерение* величины автоматически зачисляет её в основные единицы измерений относительно всех остальных величин. Последние, вообще говоря, могут иметь более фундаментальное значение по сравнению с теми величинами, которые исследователь в состоянии обнаружить, *измерить*, зафиксировать своими приборами и устройствами.

Вместе с этим, в работе [3, с. 98] со ссылками на Р.Бартини приведена таблица, характеризующая систему пространственно-временных ЛТ-величин. Важнейший вывод, который следует из работ по ЛТ–системе, заключается в том, что анализ пространственно-временной системы размерностей открывает принципиально новые возможности изучения фундаментальных физических законов. С философской точки зрения этот вывод, вообще говоря, очевиден, поскольку пространство и время являются основными формами существования природных систем. Вместе с этим хорошо известно, что все свойства пространства и времени зависят от движения. Мерой движения является энергия. Далее, попытаемся с естественно-научной точки зрения осуществить переход, трансформацию ЛТ–систем, выбрав за единицу измерения энергию – величину, от которой зависят все свойства пространства и времени. Таким образом, появляется необходимость введения энергетической системы размерностей.

2. Структурно-энергетическая система размерностей SE

Каждый структурный уровень всякой природной системы характеризуется не только внутренней и поступающей извне внешней энергиями, но и своей собственной структурной энергией. Доля структурной энергии в полной энергии системы различна как количественно, так и качественно [1, 2, 5].

Введение понятия структурной энергии есть одна из отличительных особенностей нового естественнонаучного направления по сравнению с другими современными тенденциями науки в целом. Так понятие структурной энергии вообще отсутствует в современной термодинамике и статистической теории открытых систем. Исследования о взаимосвязи энергии и энтропии, информации и энтропии, энергии и информации приводят к выводу о существовании аналогии между соотношением энергия – информация и известной зависимостью энергии и массы в физике. В эргодинамике показано [4, 5], что связь между энергией и информацией можно представить в виде:

$$E = SI^2, \tag{1}$$

где E – энергия;

S – переменная структуры;

I – информация.

В LT-системе размерность энергии – $[L^5T^{-4}]$, а размерность информации – $[L^3T^{-2}]$. Отсюда, размерность переменной структуры:

$$[S] = [E][I]^{-2} = L^5T^{-4} \cdot (L^3T^{-2})^{-2} = L^{-1}T^0 = L^{-1} \equiv R. \quad (2)$$

Следовательно, размерность величины переменной структуры S:

$$[S] = L^{-1} \equiv R. \quad (3)$$

Таким образом, в LT-системе, «структура» S имеет размерность кривизны R-пространства. Представим размерности некоторых физических и нефизических величин в структурно-энергетических единицах измерений в виде произведения:

$$[S]^p [E]^q = R^p E^q, \quad (4)$$

где p, q – действительные числа.

3. Анализ размерностей в SI, LT и ERG системах

Обозначим известные единицы энергии – эрг, джоуль, эВ и другие возможные варианты единицы энергии буквой «E», от англ. – Energy. Соответствующую систему размерностей будем называть ERG системой или в русской транскрипции ЭРГ системой размерностей. Величины в ERG размерной системе могут быть представлены через размерности энергии и длины L, а также энергии и времени T. В этой связи введём две подсистемы: энергетически-пространственная подсистема размерностей ERGL и энергетически-временная подсистема размерностей ERGT.

В таблице 1 представлены размерности величин соответственно в Международной системе SI, LT и ERG системах.

Таблица 1. Размерность величин в Международной системе SI, LT и ERG системах

№	Величина	Размерность			
		SI	LT	ERG	
				ERGL	ERGT
1.	Энергия	L^2MT^{-2}	L^5T^{-4}	E^1L^0	E^1T^0
2.	Длина	L	L^1T^0	E^0L^1	$E^{1/5}T^{4/5}$
3.	Время	T	L^0T^1	$E^{-1/4}L^{5/4}$	E^0T^1
4.	Масса	M	L^3T^{-2}	$E^{1/2}L^{1/2}$	$E^{3/5}T^{2/5}$

Продолжение Таблица 1. Размерность величин в Международной системе SI, LT и ERG системах

№	Величина	Размерность			
		<i>SI</i>	<i>LT</i>	<i>ERG</i>	
				<i>ERGL</i>	<i>ERGT</i>
5.	Сила электрического тока	I	L^3T^{-3}	$E^{3/4}L^{-3/4}$	$E^{3/5}T^{-3/5}$
6.	Количество вещества	N	L^3T^{-2}	$E^{1/2}L^{1/2}$	$E^{3/5}T^{2/5}$
7.	Сила света	J	L^5T^{-5}	$E^{5/4}L^{-5/4}$	E^1T^{-1}
8.	Площадь	L^2	L^2T^0	E^0L^2	$E^{2/5}T^{8/5}$
9.	Объём, вместимость	L^3	L^3T^0	E^0L^3	$E^{3/5}T^{12/5}$
10.	Скорость	L^1T^{-1}	L^1T^{-1}	$E^{1/4}L^{-1/4}$	$E^{1/5}T^{-1/5}$
11.	Ускорение	L^1T^{-2}	L^1T^{-2}	$E^{1/2}L^{-3/2}$	$E^{1/5}T^{-6/5}$
12.	Волновое число	L^{-1}	$L^{-1}T^0$	E^0L^{-1}	$E^{-1/5}T^{-4/5}$
13.	Плотность	$L^{-3}M$	L^0T^{-2}	$E^{1/2}L^{-5/2}$	E^0T^{-2}
14.	Удельный объём	L^3M^{-1}	L^0T^2	$E^{-1/2}L^{5/2}$	E^0T^2
15.	Плотность электрического тока	$L^{-2}I$	L^1T^{-3}	$E^{3/4}L^{-11/4}$	$E^{1/5}T^{-11/5}$
16.	Напряжённость магнитного поля	$L^{-1}I$	L^2T^{-3}	$E^{3/4}L^{-7/4}$	$E^{2/5}T^{-7/5}$
17.	Молярная концентрация компонента	$L^{-3}N$	L^0T^{-2}	$E^{1/2}L^{-5/2}$	E^0T^{-2}
18.	Яркость	$L^{-2}J$	L^3T^{-5}	$E^{5/4}L^{-13/4}$	$E^{1/5}T^{-13/5}$
19.	Момент инерции	L^2M	L^5T^{-2}	$E^{1/2}L^{5/2}$	E^1T^2
20.	Период	T	L^0T^1	$E^{-1/4}L^{5/4}$	E^0T^1
21.	Частота	T^{-1}	L^0T^{-1}	$E^{1/4}L^{-5/4}$	E^0T^{-1}

Продолжение Таблица 1. Размерность величин в Международной системе SI, LT и ERG системах

№	Величина	Размерность			
		SI	LT	ERG	
				ERGL	ERGT
22.	Сила	LMT^{-2}	L^4T^{-4}	E^1L^{-1}	$E^{4/5}T^{-4/5}$
23.	Давление	$L^{-1}MT^{-2}$	L^2T^{-4}	E^1L^{-3}	$E^{2/5}T^{-12/5}$
24.	Мощность	L^2MT^{-3}	L^5T^{-5}	$E^{5/4}L^{-5/4}$	E^1T^{-1}
25.	Электрический заряд, количество электричества	TI	L^3T^{-2}	$E^{1/2}L^{1/2}$	$E^{3/5}T^{2/5}$
26.	Электрическое напряжение, электродвижущая сила	$L^2MT^{-3}I^{-1}$	L^2T^{-2}	$E^{1/2}L^{-1/2}$	$E^{2/5}T^{-2/5}$
27.	Электрическая ёмкость	$L^2M^{-1}T^4I^2$	L^1T^0	E^0L^1	$E^{1/5}T^{4/5}$
28.	Электрическое сопротивление	$L^2MT^{-3}I^{-2}$	$L^{-1}T^1$	$E^{-1/4}L^{1/4}$	$E^{-1/5}T^{1/5}$
29.	Электрическая проводимость	$L^2M^{-1}T^3I^2$	L^1T^{-1}	$E^{1/4}L^{-1/4}$	$E^{1/5}T^{-1/5}$
30.	Поток магнитной индукции, магнитный поток	$L^2MT^{-2}I^{-1}$	L^2T^{-1}	$E^{1/4}L^{-3/4}$	$E^{2/5}T^{3/5}$
31.	Плотность магнитного потока, магнитная индукция	$MT^{-2}I^{-1}$	L^0T^{-1}	$E^{1/4}L^{-5/4}$	E^0T^{-1}
32.	Индуктивность, взаимная индуктивность	$L^2MT^{-2}I^{-2}$	$L^{-1}T^{-2}$	$E^{1/2}L^{-7/2}$	$E^{-1/5}T^{-14/5}$
33.	Световой поток	J	L^5T^{-5}	$E^{5/4}L^{-5/4}$	E^1T^{-1}
34.	Освещенность	$L^{-2}J$	L^3T^{-5}	$E^{5/4}L^{-13/4}$	$E^{1/5}T^{-13/5}$
35.	Активность радионуклида	T^{-1}	L^0T^{-1}	$E^{1/4}L^{-5/4}$	E^0T^{-1}
36.	Поглощенная доза ионизирующего излучения, керма	L^2T^{-2}	L^2T^{-2}	$E^{1/2}L^{-1/2}$	$E^{2/5}T^{-2/5}$

Продолжение Таблица 1. Размерность величин в Международной системе SI, LT и ERG системах

№	Величина	Размерность			
		SI	LT	ERG	
				ERGL	ERGT
37.	Эквивалентная доза ионизирующего излучения	L^2T^{-2}	L^2T^{-2}	$E^{1/2}L^{-1/2}$	$E^{2/5}T^{-2/5}$
38.	Активность катализатора	NT^{-1}	L^3T^{-3}	$E^{3/4}L^{-3/4}$	$E^{3/5}T^{-3/5}$
39.	Момент силы	L^2MT^{-2}	L^5T^{-4}	E^1L^0	E^1T^0
40.	Поверхностное натяжение	MT^{-2}	L^3T^{-4}	E^1L^{-2}	$E^{3/5}T^{-8/5}$
41.	Динамическая вязкость	$L^{-1}MT^{-1}$	L^2T^{-4}	E^1L^{-3}	$E^{2/5}T^{-12/5}$
42.	Пространственная плотность электрического заряда	$L^{-3}TI$	L^0T^{-2}	$E^{1/2}L^{-5/2}$	E^0T^{-2}
43.	Электрическое смещение	$L^{-2}TI$	L^1T^{-2}	$E^{1/2}L^{-3/2}$	$E^{1/5}T^{-6/5}$
44.	Напряженность электрического поля	$LMT^{-3}I^{-1}$	L^1T^{-2}	$E^{1/2}L^{-3/2}$	$E^{1/5}T^{-6/5}$
45.	Диэлектрическая проницаемость	$L^{-3}M^{-1}T^4I^2$	L^0T^0	E^0L^0	E^0T^0
46.	Магнитная проницаемость	$LMT^{-2}I^{-2}$	$L^{-2}T^2$	$E^{-1/2}L^{-3/2}$	$E^{-2/5}T^{2/5}$
47.	Удельная энергия	L^2T^{-2}	L^2T^{-2}	$E^{1/2}L^{-1/2}$	$E^{2/5}T^{-2/5}$
48.	Поверхностная плотность потока энергии	MT^{-3}	L^3T^{-5}	$E^{5/4}L^{-13/4}$	$E^{1/5}T^{-13/5}$
49.	Молярная внутренняя энергия	$L^2MT^{-2}N^{-1}$	L^2T^{-2}	$E^{1/2}L^{-1/2}$	$E^{2/5}T^{-2/5}$
50.	Экспозиционная доза фотонного излучения	$M^{-1}TI$	L^0T^0	E^0L^0	E^0T^0
51.	Мощность поглощённой дозы	L^2T^{-3}	L^2T^{-3}	$E^{3/4}L^{-7/4}$	$E^{2/5}T^{-7/5}$
52.	Угловая скорость	T^{-1}	L^0T^{-1}	$E^{1/4}L^{-5/4}$	E^0T^{-1}
53.	Угловое ускорение	T^{-2}	L^0T^{-2}	$E^{1/2}L^{-5/2}$	E^0T^{-2}
54.	Сила излучения	L^2MT^{-3}	L^5T^{-5}	$E^{5/4}L^{-5/4}$	E^1T^{-1}

Используя вместо физической терминологии обобщённые названия величин, позволяющие рассматривать их с общих позиций энергетических преобразований, в [1] определены размерности некоторых нефизических величин и их видов энергии.

В таблице 2 представлены размерности нефизических величин соответственно в LT и ERG системах.

Таблица 2. Размерности нефизических величин в LT и ERG системах

№	Величина	Размерность		
		LT	ERG	
			$ERGL$	$ERGT$
1	Эффективность	$L^6 T^{-7}$	$E^{7/4} L^{-9/4}$	$E^{6/5} T^{-9/5}$
2	Мобильность	$L^6 T^{-6}$	$E^{3/2} L^{-3/2}$	$E^{6/5} T^{-6/5}$
3	Обновляемость	$L^5 T^{-6}$	$E^{3/2} L^{-5/2}$	$E^1 T^{-2}$
4	Динамичность	$L^6 T^{-5}$	$E^{5/4} L^{-1/4}$	$E^{6/5} T^{-1/5}$
5	Интенсивность	$L^3 T^{-5}$	$E^{5/4} L^{-13/4}$	$E^{1/5} T^{-13/5}$
6	Темпы роста	$L^3 T^{-4}$	$E^1 L^{-2}$	$E^{3/5} T^{-8/5}$
7	Производительность	$L^3 T^{-3}$	$E^{3/4} L^{-3/4}$	$E^{3/5} T^{-3/5}$
8	Информация	$L^3 T^{-2}$	$E^{1/2} L^{1/2}$	$E^{3/5} T^{2/5}$

Заметим, что в системе СИ отношение $E/T = \text{Энергия}/\text{Время}$ имеет размерность мощности и является величиной производной от основных размерных единиц. В ERG системе, отношение E/T определяет размерности таких величин, как сила света, сила излучения и световой поток.

В этой связи размерности нефизических величин, таких как мобильность, производительность, капитал имеют соответственно размерности мощности в степени $6/5$, $3/5$, $2/5$.

4. Негэнтропия и информация

В физике, известно соотношение, впервые установленное Больцманом и переформулированное в более общем виде Планком, связывающее функцию распределения p_i с мерой беспорядка системы – энтропией или её плотностью S .

С точностью до размерного множителя, имеем:

$$s = -\sum_{i=1}^n p_i \ln p_i \quad (5)$$

При этом сумма распределений p_i удовлетворяет условию:

$$\sum_{i=1}^n p_i = 1 \quad (6)$$

Заметим, что уравнение Планка-Больцмана послужило основным соотношением для развития исследований Шеннона [6] по теории информации.

Соотношение эргодинамики, связывающее функцию распределения p_i с мерой упорядоченности системы - негэнтропией или её плотностью I , имеет вид [2]:

$$I = \sum_{i=1}^n p_i \ln p_i \quad (7)$$

Величина p_i выражает вероятность того, что выбранный из множества состояний эргодинамической системы энергопреобразователь находится в определённом i -ом состоянии.

На современном этапе развития физики, теории информации, системологии, и вообще естествознания в целом система считается более упорядоченной, чем меньше число её возможных состояний. Поведение такой системы более прогнозируемо по сравнению с той системой, для которой число её возможных состояний больше. Беспорядок в этом смысле предполагает отсутствие информации о точном состоянии системы. Чем больше хаоса в системе, тем меньше у нас полной информации о ней, а, следовательно, больше энтропия и меньше негэнтропия.

Поэтому должна иметь место функциональная зависимость i -ой порции (кванта) информации I_i и вероятности p_i : $I_i = f(p_i)$. Пусть имеем i -ую и j -ую независимые друг от друга информации. Тогда известное свойство аддитивности информационных потоков:

$$I_{ij} = I_i + I_j \quad (8)$$

и требование их независимости даёт равенства:

$$I_{ij} = f(p_i p_j) = f(p_i) + f(p_j) \quad (9)$$

Последнее в свою очередь требует, чтобы функция I_i была логарифмической функцией p_i . Таким образом, имеем основное определение теории информации [6]:

$$I_i = f(p_i) = -c \cdot \ln p_i \quad (10)$$

где c - постоянная.

Из (10) находим:

$$p_i = e^{-\frac{I_i}{c}} \quad (11)$$

Подставляя (3) в (2) получим выражение негэнтропии I через квант точной информации I_i [5]:

$$I = -\sum_{i=1}^n \frac{I_i}{c} e^{-\frac{I_i}{c}} \quad (12)$$

5. Энергия и информация

Алгоритм вывода функциональной связи энергии и информации $\mathcal{E} = f(I)$ сводится к следующим математическим действиям:

1) С одной стороны находим величину энергии через негэнтропию – в физике эта зависимость есть синтез первого и второго начал термодинамики.

Можно показать, что в эргодинамике связь между плотностью энергии e_s и плотностью энтропии s имеет вид:

$$\frac{s}{s_0} = \frac{e_s}{e_{s_0}} e^{\int \left(\frac{s}{s} + \frac{w}{e_s} \right) dt}, \quad (13)$$

где w , s - соответствующие плотности производства энергии и энтропии;

e_{s_0} , s_0 - постоянные;

t - переменная времени.

Заменяя в уравнении (5) плотность энтропии на плотность негэнтропии I имеем:

$$\frac{I}{I_0} = \frac{e_s}{e_{s_0}} e^{-\int \left(\frac{s}{I} + \frac{w}{e_s} \right) dt} \quad (14)$$

$$e_s = e_{s_0} \frac{I}{I_0} e^{\int \left(\frac{s}{I} + \frac{w}{e_s} \right) dt} \quad (15)$$

2) С другой стороны, известна связь негэнтропии и информации – равенство (12).

Зависимость энтропии и информации также известна – это основное определение современной теории информации (15).

3) Исключая из двух уравнений (12) и (15) негэнтропию, найдём функциональную связь между энергией и информацией в виде:

$$e_3 = -\frac{e_{30}}{I_0} \sum_{i=1}^n \frac{I_i}{c} \exp \left[-\frac{I_i}{c} + \int \frac{w}{e_3} dt - \int s / \sum_{i=1}^n \frac{I_i}{c} e^{-\frac{I_i}{c}} dt \right] \quad (16)$$

Полученные соотношение при известных значениях производства энергии w , негэнтропии s и постоянных e_{30} , I_0 , c представляет собой либо уравнение относительно энергии e_3 , если известна точная информация I_i , либо уравнение для определения кванта информации I_i , если известна плотность полной энергии системы e_3 . В обоих случаях уравнения являются трансцендентными.

Если считать, что из всех видов и форм энергий доминантой во взаимодействии с информационными потоками является структурная энергия эргосистемы, то в уравнении (16) величину e_3 можно рассматривать как плотность именно структурной энергии эргоэлементов, а не плотность глобальной энергии системы в целом.

Упростим выражение (16). Разложим в ряд Тейлора экспоненциальную функцию:

$$\exp \left[-\frac{I_i}{c} + \int \frac{w}{e_3} dt - \int s / \sum_{i=1}^n \frac{I_i}{c} e^{-\frac{I_i}{c}} dt \right] = 1 - \frac{I_i}{c} + \int \frac{w}{e_3} dt - \int s / \sum_{i=1}^n \frac{I_i}{c} e^{-\frac{I_i}{c}} dt + \dots, \quad (17)$$

тогда равенству (16) можно придать вид:

$$e_3 = -\frac{e_{30}}{I_0} \sum_{i=1}^n \frac{I_i}{c} \left(1 - \frac{I_i}{c} + \int \frac{w}{e_3} dt - \int s / \sum_{i=1}^n \frac{I_i}{c} e^{-\frac{I_i}{c}} dt \right) \quad (18)$$

или

$$e_3 = \frac{e_{30}}{I_0 c} \sum_{i=1}^n \left[I_i^2 - I_i \left(1 + \int \frac{w}{e_3} dt - \int s / \sum_{i=1}^n \frac{I_i}{c} e^{-\frac{I_i}{c}} dt \right) \right] \quad (19)$$

Если предположить, что производство энергии и энтропии эргодинамической системы, по каким-либо причинам отсутствует $w = 0$, $s = 0$, то из (17) следует формула:

$$e_3 = const \sum_{i=1}^n (I_i^2 - I_i), \quad (20)$$

где $const = e_{30} / I_0 c$.

Если в добавление к этому из множества n различных видов информации существует единственный источник информации $n = 1$ или рассматривается только один вид информации $I = I_1$, то из равенства (18) следует:

$$e_3 = const (I^2 - I) \quad (21)$$

Поскольку информация $I \geq 0$, то в случае весьма мощных потоков информации при условии получим:

$$e_s = const \cdot I^2 \quad (22)$$

Причём формула $e_s = const \cdot I^2$ ранее получена с эвристической точки зрения в [1, 2]. Очевидно, что соотношение (22) выражает связь энергии и информации в наиболее простом виде. Заметим, что равенство (22) с большей или меньшей количественной погрешностью, качественно всегда верно отражает зависимость энергии и информации.

Связь энергии и информации в виде (22) можно получить при наличии не только одного вида или одной порции информации, но и множества различных информаций. Для этого введём обозначения суммы различных информаций: $I_\Sigma = \sum_{i=1}^n I_i$, и суммы квадратов ин-

формаций: $I_s^2 = \sum_{i=1}^n I_i^2$, при этом $I_s \neq I_\Sigma$, $I_s^2 \neq I_\Sigma^2$.

Используя введённые обозначения выражению (22) можно придать вид:

$$e_s = const (I_s^2 - I_\Sigma^2) \quad (23)$$

Откуда имеем:

$$e_s \cong const \cdot I_s^2 \quad (24)$$

Литература

1. Бушуев, В.В. Основы эргодинамики/В.В.Бушуев, В.С.Голубев. – М.: ИАЦ «Энергия», 2002. – 228 с.
2. Бушуев, В.В. Энергия российского Экоса: часть I. – М.: ИАЦ «Энергия», 2003. – 208 с.
3. Кузнецов, О.Л. Устойчивое развитие: научные основы проектирования в системе природа-общество-человек: учебное пособие/О.Л.Кузнецова, Б.Е.Большаков. – Санкт-Петербург – Москва – Дубна: Гуманистика, 2001. – 616 с.
4. Международная система единиц (СИ). – Франция: МБМВ, 1998.
5. Сокотущенко, В.Н. Математические основы эргодинамики. – М.: ИАЦ «Энергия», 2007. – 88 с.
6. Шеннон, К. Математическая теория связи: пер. с англ. – М.: ИЛ, 1963.