

III. МАТЕМАТИКА В ОПИСАНИИ ХАОСА И СИНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМ

DOI: 10.12737/article_5dbaa93ae405b7.05714117

ЭНТРОПИЯ И ЭНЕРГИЯ В БИОМЕХАНИКЕ

А.Ю. ГОРДИЕВСКИЙ¹, Ю.М. ПОПОВ¹, Н.Н. САЗОНОВА¹, Ю.В. САЛИМОВА²

¹ФГБОУ ВО «Самарский государственный социально-педагогический университет» 443099,
Россия, г. Самара, ул. М. Горького, 65/67, E-mail: kafedra_afgch@mail.ru

²БУ ВО «Сургутский государственный университет», ул. Ленина, 1,
Сургут, Россия, 628400

Аннотация. Традиционное исследование кинематических характеристик движений в виде построения статистических функций распределения параметров двигательных функций, спектральных плотностей сигнала, автокорреляций наталкивается на реальность эффекта Еськова-Зинченко. Это означает, что любая выборка параметров движений является уникальной и физиология нервно-мышечной системы требует введения некоторых интегральных характеристик, например, расчета параметров псевдоаттракторов в биомеханике. В этой связи исследуется поведение энтропии и значений энергии в оценке регуляции нервно-мышечной системы и ее изменение при физических нагрузках. Выполняется расчет энтропии и энергии двигательных актов испытуемых, находящихся в разных физических условиях. Показывается низкая эффективность расчета этих двух параметров движения в оценке нервно-мышечной системы, как одной из главных систем. Предлагается другие критерии оценки состояния нервно-мышечной системы человека в различных физиологических условиях на базе расчета параметров псевдоаттракторов и межаттракторных расстояний.

Ключевые слова: тремор, энергия, энтропия, эффект Еськова-Зинченко.

ENTROPY AND ENERGY IN THE BIOMECHANICS

A.Yu. GORDIEVSKY¹, Yu.M. POPOV¹, N.N. SAZONOVA¹, Yu.V. SALIMOVA²

¹Samara State University of Social Sciences and Education, 65/67, Maxim Gorky St., Samara,
443099, Russia, E-mail: kafedra_afgch@mail.ru

²Surgut State University, Lenina pr., 1, Surgut, 628400, Russia

Abstract. A traditional study of the kinematic characteristics of movements in the form of constructing statistical distribution functions for the parameters of motor functions, spectral signal densities, and auto-correlations faces the Eskov-Zinchenko effect. This means that any sample of motion parameters is unique and the physiology of the neuromuscular system requires some integral characteristics, for example, calculating the parameters of pseudo-attractors in biomechanics. In this regard, we study the behavior of entropy and energy values in assessing the regulation of the neuromuscular system and its change during physical exertion. The calculation of the entropy and energy of motor actions in different physical conditions is performed. The low efficiency of calculating these two motion parameters in the evaluation of the neuromuscular system as one of the main systems is shown. Other criteria are proposed for assessing the state of the human neuromuscular system in various physiological conditions based on the calculation of the parameters of pseudo-attractors and distances between attractors.

Key words: tremor, energy, entropy, Eskov-Zinchenko effect.

Введение. Более 25 лет идет изучение эффекта Еськова-Зинченко (ЭЭЗ) в физиологии нервно-мышечной системы (НМС) и биомеханике [1, 6, 8-10, 23]. Сейчас уже твердо доказана уникальность любой полученной выборки параметров движения человека, находящегося в

различных физических и физиологических состояниях [3, 5, 13, 14, 16, 20, 27-34]. Если выборки треморограмм (ТМГ), теппинграмм (ТПГ) уникальны, то системы регуляции НМС или ее изменения становится возможной только по параметрам псевдоаттракторов (ПА). В

нашем случае мы используем двумерное фазовое пространство состояний (ФПС), в котором 1-я координата $x_1(t)$ – фактическое положение конечности в пространстве, а 2-я координата $x_2=dx_1/dt$ представляет скорость изменения $x_1(t)$. Для своих двух координат мы вводим аналог принципа неопределенности Гейзенберга [2, 6-10, 27-32] в биомеханике.

Квантование сигнала $x_1(t)$ обычно с периодом 10 мсек, приводит нас к получению выборок (дискретных значений) $x_1(t)$, для которых невозможно получить устойчивые значения статистических функций распределения $f(x_1)$, их спектральных плотностей сигнала (СПС) или автокорреляций $A(t)$. Все это ($f(x_1)$, СПС, $A(t)$) непрерывно и хаотически изменяется на каждом интервале измерения ТМГ или ТПГ, что доказывает реальность ЭЭЗ [1-5, 11-15, 20, 23, 26, 27-33].

В физике существуют еще некоторые интегральные характеристики любого движения, например, энтропия Шеннона H или энергия процесса E . Учитывая ЭЭЗ можно поставить вопрос о характере их изменения в биомеханических исследованиях испытуемого, который находится в неизменном гомеостазе (хотя $f(x)$, СПС, $A(t)$ при этом непрерывно и хаотически изменяется) и при реальном изменении гомеостаза. Отметим, что речь идет, в общем, о физиологии нервно-мышечной системы, которая реально обеспечивает человеку любой тип движения.

1. Статистический хаос ТМГ и ТПГ – потеря однородности выборок в биомеханике.

За последние 20-25 лет в биомеханике и физике живых систем было твердо доказано эффект Еськова-Зинченко, в котором невозможно подряд получить статистически одинаковые выборки треморограмм или теппинграмм. Существенно, что вероятность того, что две соседние выборки (полученные у одного испытуемого в его неизменном гомеостазе) можно отнести к одной генеральной

совокупности, для ТМГ имеют крайне малую вероятность P_1 . Обычно для ТМГ эта величина $P_1 \leq 0,01$ [1, 2, 5, 14, 18, 19, 23, 30, 32-34], а для кардиоинтервалов и физиологии сердечно-сосудистой системы эта $P_2 \leq 0,05$ [3, 20, 23, 25, 26, 31].

Напомним, в физике и биофизике считается, что процесс не изменяется, если такие выборки совпадают, например, с доверительной вероятностью $P_1^* \geq 0,95$. Это означает, что в 100 опытах по сравнению якобы однородных (статистически одинаковых) выборок одного и того же испытуемого (в его неизменном гомеостазе), мы в 95-ти опытах должны наблюдать их (выборок) статистическое совпадение (их можно отнести к одной генеральной совокупности). В нашем случае для ТМГ с вероятностью $P \geq 0,99$ выборки статистически не совпадают.

Мы проводили тысячи опытов с регистрацией выборок ТМГ у одного и того же испытуемого (в его неизменном гомеостазе) и получали сотни матриц парных сравнений таких (якобы одинаковых статистически, однородных) выборок и везде получали один и тот же результат: вероятность совпадения двух соседних выборок ТМГ $P_1 \leq 0,01$. Это крайне малая величина и она доказывает отсутствие статистической устойчивости подряд полученных выборок ТМГ от одного испытуемого (в неизменном гомеостазе) [1, 6, 10, 12, 13, 15, 17, 21].

В таблице 1 мы представляем типичный пример матрицы парных сравнений выборок ТМГ одного и того же испытуемого (в неизменном гомеостазе). В этой матрице мы имеем только $k_1=3$ пары выборок, которые (две сравниваемые) можно отнести к одной генеральной совокупности. Остальные 102 пары сравнений не имеют свою общую генеральную совокупность, критерий p Вилкоксона (он образует элементы этой матрицы в таблице 1) для всех 103 пар имеет крайне низкие значения ($p < 0,05$).

Таблица 1

Матрица парного сравнения треморограмм испытуемого МОА (без нагрузки, число повторов N=15), использовался критерий Вилкоксона (значимость $p < 0,05$, число совпадений $k_1=3$)

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1		0,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
2	0,9		0,0	0,0	0,0	0,0	0,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
3	0,0	0,0		0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
4	0,0	0,0	0,0		0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
5	0,0	0,0	0,0	0,0		0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0		0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
7	0,6	0,3	0,0	0,0	0,0	0,0		0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0		0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0		0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
10	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0		0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
11	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0		0,0	0,0	0,0	0,0
12	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0		0,0	0,0	0,0
13	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0		0,0	0,0
14	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0		0,0
15	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	

Таблица 2

Матрица парного сравнения теппинграмм испытуемого МОА (без нагрузки, число повторов N=15), использовался критерий Вилкоксона (значимость $p < 0,05$, число совпадений $k_2=10$)

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1		0,28	0,00	0,33	0,00	0,88	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00	0,01	0,00
2	0,28		0,00	0,00	0,00	0,00	0,52	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,07
3	0,00	0,00		0,00	0,00	0,00	0,32	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
4	0,33	0,00	0,00		0,09	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
5	0,00	0,00	0,00	0,09		0,03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00
6	0,88	0,00	0,00	0,00	0,03		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00	0,03	0,00
7	0,01	0,52	0,32	0,00	0,00	0,00		0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,34
8	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,01		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01
9	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		0,04	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,04		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
11	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		0,00	0,76	0,00	0,00
12	0,02	0,00	0,00	0,00	0,01	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		0,00	0,26	0,00
13	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,76	0,00		0,00	0,00
14	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,26	0,00		0,00
15	0,00	0,07	0,00	0,00	0,00	0,00	0,34	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	

Подчеркнем, что эти 3 пары (для них критерий Вилкоксона $p \geq 0,05$) имеют три разные генеральные совокупности. В целом, получить подряд две статистически одинаковые выборки (что бы критерий Вилкоксона $p \geq 0,05$) имеет вероятность $p^2 \leq 0,01$. Эту величину мы получаем после анализа сотни матриц парных сравнений выборок ТМГ у одного и того же испытуемого. Две соседние выборки ТМГ в

табл.1 совпадают с вероятностью $p^1 \leq 0,01$, а три соседние выборки ТМГ совпадают уже с $p^3 \leq 10^{-5}$.

Все это крайне малые величины для статистики и ими можно просто пренебречь. Таблица 1 также показывает, что выборки не могут быть однородными (нет статистического совпадения, $k_1=3$) и это означает завершение применения стохастики в биомеханике. Любая ТМГ у

нас будет уникальной (единственной), а такие системы по утверждению I.R. Prigogine [9] не являются объектом современной науки.

Отметим, что вмешательство сознания в процесс управлением движением не дает нам существенных изменений в обозначенной выше картине потери однородности выборок ТМГ. Характерный пример с произвольными движениями (регистрация 15-ти теппинграмм у одного и того же испытуемого, в его неизменном гомеостазе) представлена в виде матрицы парных сравнений выборок ТПГ в таблице 2. Здесь тоже мы имеем небольшое число k_2 пар выборок ТПГ, которое по критерию Вилкоксона ($p \geq 0,05$) можно отнести к одной генеральной совокупности. Таких пар в таблице 2 $k_2=10$. Это означает, что из всех 105 пар сравнений менее 10% пар ТПГ могут иметь свою (общую) генеральную совокупность.

Пары выборок ТПГ (как и ТМГ в табл.1) в основном статистически не совпадают. Получить две подряд одинаковые выборки ТПГ – это тоже крайне малая вероятность $p^2 \leq 0,05$. Она несколько больше p^3 для ТМГ, но все-таки это крайне малая величина ($p_{теп}^2 \leq 0,05$). Это, фактически, является антиподом известной доверительной вероятности $\beta \geq 0,95$ в статистике. Здесь, в биомеханике, все наоборот, нет статистической устойчивости для подряд получаемых выборок ТМГ и ТПГ в одном, неизменном гомеостазе. Фактически, мы ищем непрерывный хаос статистических функций $f(x_i)$, СПС и $A(t)$, что уводит биомеханику из области стохастики и возникает необходимость в построении новой теории хаоса-самоорганизации (ТХС), которая основана на эффекте Еськова-Зинченко (ЭЭЗ).

2. Энтропийный подход в оценке ТМГ и ТПГ.

Сразу отметим, что произвольные движения (постуральный тремор) в аспекте затрат энергии существенно отличается от произвольного движения (теппинга). Более того, в самом треморе мы также можем привести примеры, когда постуральный тремор совершается в разных физических условиях. Например, удержание пальца в

заданном положении без груза (свободное удержание конечности) и удержание пальца с грузом, весом $P=3H$.

Очевидно, что конечность с грузом и без груза совершает разную работу по удержанию пальца в данной точке пространства. Согласно представлениям I.R. Prigogine [6, 9, 10] это два разных статистических (условно равновесных) состояния и они на графике изменения энтропии (у нас это энтропия Шеннона) должны иметь вид двух локальных минимумов. Такое положение экстремумов на графике I.R. Prigogine представлял, как локальный экстремум (2).

Очевидно, что палец с грузом и без груза – это два разных физических состояний и 2 разных экстремума на графике (для энергии H). Тогда для двух разных физических состояний биомеханической системы, мы должны иметь и разные значения энтропии H , т.е. $H_1 \neq H_2$. Выполняется ли это на примере значений энтропий Шеннона H_1 и H_2 , если эти H_1 и H_2 рассчитать по параметрам ТМГ?

Оказалось, что это не выполняется, в двух разных физических состояниях мы имеем почти одинаковые значения этих энтропий! Статистически, в табл.3, мы не имеем существенных различий между H_1 и H_2 , т.е. средние значения $\langle H_1 \rangle$ и $\langle H_2 \rangle$ почти совпадают в 15-ти похожих измерениях и для пальца с грузом и без груза. Табл.3 нам показывает, что две выборки энтропий H_1 и H_2 в двух разных физических состояниях статистически не различаются ($\langle H_1 \rangle \approx \langle H_2 \rangle$ из таблицы 3). Таким образом, статические режимы ТМГ в биомеханике по параметрам выборок и оценке энтропии H практически не различаются [1-5, 14, 18, 19, 23, 27-30, 32].

Будут ли различаться тогда статические и динамические режимы движения биомеханических систем по параметрам энтропии H ? Для ответа на этот вопрос достаточно сравнить постуральный тремор (см. табл.3) и теппинграммы. Отметим, что при теппинге мы совершаем гораздо большую работу, чем при треморе и с позиций энтропийного подхода мы

должны бы были иметь другие значения энтропии H .

Таблица 3

Значения энтропии Шеннона H для треморограмм одного и того же испытуемого

	H_1 , без нагрузки	H_2 , с нагрузкой $F_2=3H$
1	3.322	3.122
2	3.122	3.122
3	3.322	3.322
4	3.122	3.322
5	3.322	3.322
6	2.922	3.122
7	3.322	3.322
8	3.322	3.322
9	3.322	3.322
10	3.322	2.922
11	3.122	3.122
12	3.122	2.846
13	3.322	3.122
14	3.322	3.122
15	3.122	3.322
<E>	3.229	3.184
	Критерий Вилкоксона, значимость функций $f(x)$ $p=0,40$	

Действительно, для характерной выборки энтропий H для теппинга одного и того же человека в его неизменном гомеостазе среднее значение энтропии Шеннона H_3 уже существенно отличается от таковых значений для ТМГ (в виде H_1 и H_2), что было представлено в табл.3 для конечности с грузом $P=3H$ и без груза. H_3 существенно больше, чем H_1 и H_2 , но все-таки она имеет не очень большие значения.

Выборка H_3 и ее среднее значение $\langle H_3 \rangle$ показывает, что динамические режимы (точнее говоря кинематика) теппинграммы по параметрам энтропии Шеннона H может уже существенно отличаться от разных статических режимов (тремор с грузом и без груза) для одного и того же испытуемого в его неизменном гомеостазе. Однако, для тремора с грузом и без груза эти различия по параметрам энтропии не существенны и это ставит под сомнение дальнейшее использование расчетов энтропии H в оценке различных параметров тремора. Это еще один удар по применению статистики в биомеханике.

3. В оценке параметров тремора и теппинга имеются другие интервалы (параметры псевдоаттракторов).

Как уже отмечалось выше традиционный энергетический подход является наиболее общим подходом в оценке произвольных и непроизвольных движений и он может быть более эффективным, чем расчет статистических функций распределений $f(x)$, спектральных плотностей сигнала (СПС), автокорреляций $A(t)$ и расчета энтропии. Все эти традиционные статистические методы оценки ТМГ и ТПГ, как мы показали выше, не дают желаемой эффективности. Точнее говоря, они весьма неэффективны и стохастика не может быть использована в оценке статических и кинематических характеристик в биомеханике [1-12, 14, 18, 19, 27-30, 32].

Оценка энергетических параметров движений является одним из последних современных физических методов, которые мы пытаемся применять в биомеханике. В противном случае, мы будем вынуждены полностью уходить от традиционных физических подходов и переходить в новую теорию хаоса-самоорганизации – ТХС. В этой ТХС мы используем аналоги принципа Гейзенберга, т.е. работаем не с уравнениями и равенствами, а используем неравенства в виде ограничений на фазовые

координаты, описывающие биомеханические процессы.

Основными такими фазовыми координатами являются: $x_1(t)$ – положение конечности испытуемого по отношению к датчику перемещения, и $x_2(t)=dx_1/dt$ – скорость изменения $x_1(t)$. Довольно часто мы используем и третью координату $x_3(t)=dx_2/dt$ – ускорение для $x_1(t)$ и тогда мы от двумерного фазового пространства состояний (ФПС) вектора $x^2=(x_1, x_2)^T$ переходим к трехмерному ФПС вектора $x^3=(x_1, x_2, x_3)^T$. При этом траектория движения x^2 и x^3 в ФПС ограничена некоторым предельным объемом $Vg=\prod_{i=1}^3 \Delta x_i$, где Δx_i – вариационные размахи вектора x^3 в ФПС по i -й координате.

Имеются и минимальные объемы $Vg_{min}=Z_{min}$ внутри которых непрерывно и хаотически движется вектор состояния x^3 (или x^2). При этом фазовые траектории могут пересекаться в этих ограниченных объемах ФПС, что полностью уводит гомеостатические системы из области динамического хаоса Лоренца. Более того, как мы показали в табл. 1, 2, мы не имеем и свойства перемешивания (нет инвариантности мер), что характерно для хаоса Лоренца. У нас на каждом интервале измерения параметров ГС возникает своя статистическая функция распределения $f(x)$, свои СПС и $A(t)$, при этом $A(t)$ не стремится к нулю. Хаос ГС – это не динамический хаос Лоренца, а энтропия Шеннона может и не показывать существенных различий в организации движений.

Литература

1. Баженова А.Е., Повторейко В.В., Басова К.А., Картополенко Р.О. Эффект Еськова-Зинченко в описании хаотической динамики параметров нервно-мышечной системы // Сложность. Разум. Постнеклассика. – 2017. - № 1. – С.50-56
2. Гавриленко Т.В., Горбунов Д.В., Горбунова Д.С., Булатов И.Б. Возможность использования энтропийного подхода в оценке параметров движений // Сложность. Разум. Постнеклассика. – 2018. – № 2. – С. 68-75.
3. Горбунов Д.В. Однородность и неоднородность параметров движений человека. // Сложность. Разум. Постнеклассика. – 2018. – № 4. – С.68-75.
4. Еськов В.В., Дронова Е.В., Митюшкина О.А., Светлова С.Ю. Сложные динамические биомедицинские системы. Возможности их анализа с помощью инструментов теории хаоса и самоорганизации систем // Сложность. Разум. Постнеклассика. – 2017 – №4. – С. 112-136.
5. Еськов В.В., Еськов В.М., Вохмина Ю.В. Гипотеза Н. А. Бернштейна и статистическая неустойчивость выборок параметров треморограмм // Вестник кибернетики. – 2018. – Т. 29. – № 1. – С. 33-38.
6. Еськов В.М., Еськов В.В., Филатов М.А. Философия complexity: гомеостаз и эволюция. / Под ред. В.М. Еськова, А.А. Хадарцева. Тула: ТРО МОО «Академия медико – технических наук», 2016 г., 370 с.
7. Еськов В.М., Гавриленко Т.В., Зимин М.И., Зимица С.А. Нейросетевые принципы в идентификации и изучении систем с хаотической динамикой. / Под ред. А.А. Хадарцева, В.М. Еськова. Тула: Изд-во ТулГУ, 2016., – 398 с.
8. Еськов В.М., Еськов В.В., Филатов М.А. Третья глобальная парадигма. Современное естествознание в контексте неопределенности. Том II. / Под редакцией А.А. Хадарцева, В.М. Еськова. Тула: ТРО МОО «Академия медико-технических наук», 2016, 388 с.
9. Еськов В.М., Галкин В.А., Филатова О. Е. Конец определенности: хаос гомеостатических систем / Под ред. Хадарцева А.А., Розенберга Г.С. Тула: изд-во Тульское производственное полиграфическое объединение, 2017. – 596 с.
10. Еськов В.М., Галкин В.А., Филатова О.Е. Complexity: хаос гомеостатических систем. / Под ред. Г.С. Розенберга. Самара: Изд-во ООО «Порто-принт», 2017. – 388 с.

11. Еськов В.М., Галкин В.А., Гавриленко Т.В., Афаневич К.А. Математическая проблема выбора однородной группы в биомеханике // Сложность. Разум. Постнеклассика. – 2018. – № 3. – С. 94-101.
12. Еськов В.М., Галкин В.А., Хвостов Д.Ю., Ерега И.Р. Проблема компартментно-кластерного моделирования биосистем. // Сложность. Разум. Постнеклассика. – 2019. – № 2. – С.61-70.
13. Еськов В.М., Мирошниченко И.В., Мнацаканян Ю.В., Журавлева А.Н. Проблема устойчивости гомеостатического регулирования функциональных систем организма. // Сложность. Разум. Постнеклассика. – 2019. – № 1. – С.73-87.
14. Зиллов В.Г., Хадарцев А.А., Еськов В.М., Иляшенко Л.К. Новый эффект в физиологии нервно-мышечной системы человека. // Бюллетень экспериментально биологии и медицины. – 2019. – Т.167, №4 – С. 400-404.
15. Зинченко Ю.П., Еськов В.М., Филатов М.А., Григорьева С.В. Квантово-механический подход в изучении сознания. // Вестник новых медицинских технологий – 2019 – Т. 26, № 2 – С. 111–117.
16. Зинченко Ю.П., Еськов В.М., Филатов М.А., Григорьева С.В. Стохастика и хаос в организации движений // Вестник новых медицинских технологий – 2019 – Т. 26, № 2 – С. 101–106.
17. Козупица Г.С., Хадарцева К.А., Шелим Л.И. Теория хаоса-самоорганизации – фундамент развития общей теории систем // Сложность. Разум. Постнеклассика. – 2018. – № 1. – С. 63-70.
18. Мирошниченко И.В., Белощенко Д.В., Монастырецкая О.А., Снигирев А.С. Гомеостатические системы порождают проблему однородности выборок в биофизике // Сложность. Разум. Постнеклассика. – 2018. – № 3. – С. 15-25.
19. Попов Ю.М., Иванова Н.В., Белощенко Д.В., Поросинин О.И., Игнатенко А.П. Иерархия хаоса в системах управления движением. // Сложность. Разум. Постнеклассика. – 2018. – № 4. – С.24-33
20. Прохоров С.А., Гумарова О.А., Монастырецкая О.А., Хвостов Д.Ю., Афаневич И.А. Нестабильные системы: проблема однородности групп. // Сложность. Разум. Постнеклассика. – 2019. – № 1. – С.62-72.
21. Пятин В.Ф., Еськов В.В., Воробьева Л.А., Куропаткина М.Г., Сазонова Н.Н. Стохастический парадокс Еськова-Филатовой в теории *complexity* // Сложность. Разум. Постнеклассика. – 2018. – № 2. – С. 76-84.
22. Хромушин В.А., Пятин В.Ф., Еськов В.В., Иляшенко Л.К., Вохмина Ю.В. Новые принципы работы нейроэмуляторов в медицинской диагностике. // Медицинская техника. – 2019. – 2 (314). – С. 29-31.
23. Филатова О.Е., Филатова Д.Ю., Берестин Д.К., Живаева Н.В. Системный анализ, управление и обработка информации в биологии и медицине. Состояние психофизиологических параметров человека на Севере РФ. Том Часть XIII. / Под ред. В.М. Еськова, В.А. Хромушина. Тула: Изд-во ТулГУ, 2016, 326 с.
24. Филатова О.Е., Хадарцева К.А., Алиев Н.Ш., Глазова О.А. Философия науки на пути трансформации и нового понимания гомеостатических систем // Сложность. Разум. Постнеклассика. – 2017 – №4. – С. 85-95.
25. Филатова О.Е., Мельникова Е.Г., Горбунов С.В., Нувальцева Я.Н. Особенности гомеостатических систем (третьего типа). // Сложность. Разум. Постнеклассика. – 2019. – № 2. – С.28-39.
26. Филатов М.А., Григорьева С.В., Горбунов Д.В., Белощенко Д.В., Фадюшина С.И. Неоднородность разовых выборок параметров функциональных систем организма человека. // Сложность. Разум. Постнеклассика. – 2019. – № 2. – С.71-79.

27. Eskov V.V., Filatova D.Yu., Ilyashenko L.K., Vochmina Yu.V. Classification of Uncertainties in Modeling of Complex Biological Systems. // Moscow University Physics Bulletin. – 2019. – 74, No. 1. – Pp. 57–63.
28. Eskov V.V., Gavrilenko T.V., Eskov V.M., Vochmina Yu.V. Static Instability Phenomenon in Type-Three Secretion Systems: Complexity // Technical Physics. – 2017. – Vol. 62. – No. 11. – Pp.1611-1616.
29. Eskov, V.M., Zinchenko, Y.P., Filatov, M.A., Ilyashenko, L.K. Glansdorff-prigogine theorem in the description of tremor chaotic dynamics in cold stress // Human Ecology (Russian Federation). – 2017. – No. 5. – Pp. 27-32.
30. Filatova O.E., Bazhenova A.E., Ilyashenko L.K., Grigorieva S.V. Estimation of the Parameters for Tremograms According to the Eskov–Zinchenko Effect Biophysics // Biophysics. – 2018. – Vol. 63. – No. 2. – Pp. 125–130.
31. Filatova O. E., Berestin D. K., Ilyashenko L. K., Bashkatova Yu. V. The influence of hypothermia on the parameters of the electromyogram at low muscle tone state// Human Ecology. – 2019.-№5. – Pp.43-48.
32. Ilyashenko L.K., Bazhenova A.E., Berestin D.K., Grigorieva S.V. Chaotic dynamics parameters of the tremograms at the stress exposure // Russian Journal of Biomechanics. – 2018. – Vol. 22. – No. 1. – Pp. 62-71.
33. Zilov V.G., Eskov V.M., Khadartsev A.A., Eskov V.V. Experimental confirmation of the effect of "Repetition without repetition" N.A. Bernstein // Bulletin of experimental biology and medicine. – 2017. – Vol. 1. – Pp. 4-8.
34. Zilov V.G., Khadartsev A.A., Ilyashenko L.K., Eskov V.V., Minenko I.A. Experimental analysis of the chaotic dynamics of muscle biopotentials under various static loads // Bulletin of experimental biology and medicine. – 2018. – Vol. 165, No. 4. – P. 415-418.
1. Bazhenova A.E., Povtoreiko V.V., Basova K.A., Kartopolenko R.O. Effekt Es'kova-Zinchenko v opisani khaoticheskoi dinamiki parametrov nervno-myshechnoi sistemy [The Eskov-Zinchenko effect in the description of the chaotic dynamics of the parameters of the neuromuscular system] // Slozhnost'. Razum. Postneklassika [Complexity. Mind. Postnonclassic].– 2017. – № 1. – S.50-56
2. Gavrilenko T.V., Gorbunov D.V., Gorbunova D.S., Bulatov I.B. Vozmozhnost' isspol'zovaniya entropiinogo podkhoda v otsenke parametrov dvizhenii [The possibility of using the entropy approach in the estimation of motion parameters] // Slozhnost'. Razum. Postneklassika [Complexity. Mind. Postnonclassic]. – 2018. – № 2. – S. 68-75.
3. Gorbunov D.V. Odnorodnost' i neodnorodnost' parametrov dvizhenii cheloveka [Homogeneity and heterogeneity of parameters of human movements] // Slozhnost'. Razum. Postneklassika [Complexity. Mind. Postnonclassic]. – 2018. – № 4. – S.68-75.
4. Es'kov V.V., Dronova E.V., Mityushkina O.A., Svetlova S.Yu. Slozhnye dinamicheskie biomeditsinskie sistemy. Vozmozhnosti ikh analiza s pomoshch'yu instrumentov teorii khaosa i samoorganizatsii system [Complex dynamic biomedical systems. The possibilities of their analysis using tools of chaos theory and self-organization of systems] // Slozhnost'. Razum. Postneklassika [Complexity. Mind. Postnonclassic]. – 2017 – №4. – S. 112-136.
5. Es'kov V.V., Es'kov V.M., Vochmina Yu.V. Gipoteza N.A. Bernshteina i statisticheskaya neustoichivost' vyborok parametrov tremorogram [Hypothesis of N.A. Bernshtein and statistical instability of samples of tremorogram parameters] // Vestnik kibernetiki [Bulletin of cybernetics]. – 2018. – T. 29. – № 1. – S. 33-38.
6. Es'kov V.M., Es'kov V.V., Filatov M.A. Filosofiya complexity: gomeostaz i evolyutsiya [Philosophy of complexity: homeostasis and evolution] / Pod red. V.M.

Reference

- Es'kova, A.A. Khadartseva. Tula: TRO MOO «Akademiya mediko – tekhnicheskikh nauk», 2016. – 370 s.
7. Es'kov V.M., Gavrilenko T.V., Zimin M.I., Zimina S.A. Neurosetevye printsipy v identifikatsii i izuchenii sistem s khaoticheskoi dinamikoi [Neural network principles in the identification and study of systems with chaotic dynamics] / Pod red. A.A. Khadartseva, V.M. Es'kova. Tula: Izd-vo TulGU, 2016. – 398 s.
 8. Es'kov V.M., Es'kov V.V., Filatov M.A. Tret'ya global'naya paradigma. Sovremennoe estestvoznaniye v kontekste neopredelennosti. Tom II [Third global paradigm. Modern science in the context of uncertainty. Volume II] / Pod redaktsiei A.A. Khadartseva, V.M. Es'kova. Tula: TRO MOO «Akademiya mediko-tekhnicheskikh nauk», 2016. – 388 s.
 9. Es'kov V.M., Galkin V.A., Filatova O.E. Konets opredelennosti: khaos gomeostaticeskikh sistem [The end of certainty: the chaos of homeostatic systems] / Pod red. Khadartseva A.A., Rozenberga G.S. Tula: izd-vo Tul'skoe proizvodstvennoe poligraficheskoe ob"edinenie, 2017. – 596 s.
 10. Es'kov V.M., Galkin V.A., Filatova O.E. Complexity: khaos gomeostaticeskikh sistem [Complexity: chaos of homeostatic systems] / Pod red. G.S. Rozenberga. Samara: Izd-vo OOO «Porto-print», 2017. – 388 s.
 11. Es'kov V.M., Galkin V.A., Gavrilenko T.V., Afanevich K.A. Matematicheskaya problema vybora odnorodnoi gruppy v biomekhanike [The mathematical problem of choosing a homogeneous group in biomechanics] // Slozhnost'. Razum. Postneklassika [Complexity. Mind. Postnonclassic]. – 2018. – № 3. – S. 94-101.
 12. Es'kov V.M., Galkin V.A., Khvostov D.Yu., Erega I.R. Problema kompartmentno-klasternogo modelirovaniya biosistem [The problem of compartment-cluster modeling of biosystems] // Slozhnost'. Razum. Postneklassika [Complexity. Mind. Postnonclassic]. – 2019. – № 2. – S.61-70.
 13. Es'kov V.M., Miroshnichenko I.V., Mnatsakanyan Yu.V., Zhuravleva A.N. Problema ustoychivosti gomeostaticeskogo regulirovaniya funktsional'nykh sistem organizma [The problem of stability of homeostatic regulation of the functional systems of the body] // Slozhnost'. Razum. Postneklassika [Complexity. Mind. Postnonclassic]. – 2019. – № 1. – S.73-87.
 14. Zilov V.G., Khadartsev A.A., Es'kov V.M., Ilyashenko L.K. Novyi effekt v fiziologii nervno-myshechnoi sistemy cheloveka [A new effect in the physiology of the human neuromuscular system] // Byulleten' eksperimental'no biologii i meditsiny [Bulletin of experimental biology and medicine]. – 2019. – T.167, №4. – S. 400-404.
 15. Zinchenko Yu.P., Es'kov V.M., Filatov M.A., Grigor'eva S.V. Kvantovomekhanicheskii podkhod v izuchenii soznaniya [Quantum-mechanical approach to the study of consciousness] // Vestnik novykh meditsinskikh tekhnologii [Bulletin of new medical technologies]. – 2019. – T. 26, № 2. – S. 111-117.
 16. Zinchenko Yu.P., Es'kov V.M., Filatov M.A., Grigor'eva S.V. Stokhastika i khaos v organizatsii dvizhenii [Stochastics and chaos in the organization of movements] // Vestnik novykh meditsinskikh tekhnologii [Bulletin of new medical technologies]. – 2019. – T. 26, № 2. – S. 101-106.
 17. Kozupitsa G.S., Khadartseva K.A., Shelim L.I. Teoriya khaosa-samoorganizatsii – fundament razvitiya obshchei teorii sistem [The theory of chaos-self-organization - the foundation for the development of a general theory of systems] // Slozhnost'. Razum. Postneklassika [Complexity. Mind. Postnonclassic]. – 2018. – № 1. – S. 63-70.
 18. Miroshnichenko I.V., Beloshchenko D.V., Monastyretskaya O.A., Snigirev A.S. Gomeostaticheskie sistemy porozhdayut problemu odnorodnosti vyborok v biofizike [Homeostatic systems pose the problem of sample uniformity in biophysics] // Slozhnost'. Razum. Postneklassika [Complexity. Mind. Postnonclassic]. – 2018. – № 3. – S. 15-25.
 19. Popov Yu.M., Ivanova N.V., Beloshchenko D.V., Porosinin O.I., Ignatenko A.P.

- Ierarkhiya khaosa v sistemakh upravleniya dvizheniem [The hierarchy of chaos in motion control systems] // Slozhnost'. Razum. Postneklassika [Complexity. Mind. Postnonclassic]. – 2018. – № 4. – S.24-33/
20. Prokhorov S.A., Gumarova O.A., Monastyretskaya O.A., Khvostov D.Yu., Afanovich I.A. Nestabil'nye sistemy: problema odnorodnosti grupp [Unstable systems: the problem of group homogeneity] // Slozhnost'. Razum. Postneklassika [Complexity. Mind. Postnonclassic]. – 2019. – № 1. – S.62-72.
 21. Pyatin V.F., Es'kov V.V., Vorob'eva L.A., Kuropatkina M.G., Sazonova N.N. Stokhasticheski paradoks Es'kova-Filatovoi v teorii complexity [The stochastic paradox of Eskov-Filatova in complexity theory] // Slozhnost'. Razum. Postneklassika [Complexity. Mind. Postnonclassic]. – 2018. – № 2. – S. 76-84.
 22. Khromushin V.A., Pyatin V.F., Es'kov V.V., Ilyashenko L.K., Vokhmina Yu.V. Novye printsipy raboty neuroemulyatorov v meditsinskoj diagnostike [New principles of neuroemulator operation in medical diagnostics] // Meditsinskaya tekhnika [Biomedical Engineering]. – 2019. – 2 (314). – S. 29-31.
 23. Filatova O.E., Filatova D.Yu., Berestin D.K., Zhivaeva N.V. Sistemnyi analiz, upravlenie i obrabotka informatsii v biologii i meditsine. Sostoyanie psikhofiziologicheskikh parametrov cheloveka na Severe RF. Tom Chast' XIII [System analysis, management and information processing in biology and medicine. The state of psychophysiological parameters of a person in the North of the Russian Federation. Volume Part XIII] / Pod red. V.M. Es'kova, V.A. Khromushina. Tula: Izd-vo TulGU, 2016. – 326 s.
 24. Filatova O.E., Khadartseva K.A., Aliev N.Sh., Glazova O.A. Filosofiya nauki na puti transformatsii i novogo ponimaniya gomeosticheskikh sistem [The philosophy of science on the path of transformation and a new understanding of homeostatic systems] // Slozhnost'. Razum. Postneklassika [Complexity. Mind. Postnonclassic]. – 2017 – №4. – S. 85-95.
 25. Filatova O.E., Mel'nikova E.G., Gorbunov S.V., Nuval'tseva Ya.N. Osobennosti gomeosticheskikh sistem (tret'ego tipa) [Features of homeostatic systems (third type)] // Slozhnost'. Razum. Postneklassika [Complexity. Mind. Postnonclassic]. – 2019. – № 2. – S.28-39.
 26. Filatov M.A., Grigor'eva S.V., Gorbunov D.V., Beloshchenko D.V., Fadyushina S.I. Neodnorodnost' razovykh vyborok parametrov funktsional'nykh sistem organizma cheloveka [Inhomogeneity of single samples of the parameters of the functional systems of the human body] // Slozhnost'. Razum. Postneklassika [Complexity. Mind. Postnonclassic]. – 2019. – № 2. – S.71-79.
 27. Eskov V.V., Filatova D.Yu., Ilyashenko L.K., Vochmina Yu.V. Classification of uncertainties in modeling of complex biological systems // Moscow University Physics Bulletin. – 2019. – 74, No. 1. – Pp. 57–63.
 28. Eskov V.V., Gavrilenko T.V., Eskov V.M., Vochmina Yu.V. Static instability phenomenon in type-three secretion systems: complexity // Technical Physics. – 2017. – Vol. 62. – No. 11. – Pp.1611-1616.
 29. Eskov, V.M., Zinchenko, Y.P., Filatov, M.A., Ilyashenko, L.K. Glansdorff-Prigogine theorem in the description of tremor chaotic dynamics in cold stress // Human Ecology [In Russian]. – 2017. – No. 5. – Pp. 27-32.
 30. Filatova O.E., Bazhenova A.E., Ilyashenko L.K., Grigorieva S.V. Estimation of the parameters for tremograms according to the Eskov-Zinchenko effect biophysics // Biophysics. – 2018. – Vol. 63. – No. 2. – Pp. 125–130.
 31. Filatova O. E., Berestin D. K., Ilyashenko L. K., Bashkatova Yu. V. The influence of hypothermia on the parameters of the electromyogram at low muscle tone state// Human Ecology [In Russian]. – 2019.-№5. – Pp.43-48.
 32. Ilyashenko L.K., Bazhenova A.E., Berestin D.K., Grigorieva S.V. Chaotic dynamics parameters of the tremograms at the stress exposure // Russian Journal of

Biomechanics. – 2018. – Vol. 22. – No. 1. – Pp. 62-71.

33. Zilov V.G., Eskov V.M., Khadartsev A.A., Eskov V.V. Experimental confirmation of the effect of "Repetition without repetition" N.A. Bernstein // Bulletin of experimental biology and medicine. – 2017. – Vol. 1. – Pp. 4-8.
34. Zilov V.G., Khadartsev A.A., Ilyashenko L.K., Eskov V.V., Minenko I.A. Experimental analysis of the chaotic dynamics of muscle biopotentials under various static loads // Bulletin of experimental biology and medicine. – 2018. – Vol. 165, No. 4. – Pp. 415-418.