

DOI: 10.51790/2712-9942-2024-5-1-04

**ВОЗМОЖНОСТИ ЭНТРОПИЙНОГО ПОДХОДА В ОЦЕНКЕ БИОМЕХАНИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ЧЕЛОВЕКА****Д. В. Горбунов<sup>a</sup>, А. В. Гавриленко<sup>b</sup>, А. Ю. Кухарева<sup>c</sup>, Е. А. Манина<sup>d</sup>***Сургутский государственный университет, г. Сургут, Российская Федерация*<sup>a</sup> *gorbunov.dv@mail.ru*<sup>b</sup> *ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-1837-5698>,  [gavrilenko.anna.v@gmail.com](mailto:gavrilenko.anna.v@gmail.com)*<sup>c</sup> *alja.87@mail.ru*, <sup>d</sup> *maninaea@mail.ru*

*Аннотация:* использование физических методов и моделей в оценке биомеханических параметров организма человека вызывает много объективных трудностей. Мы регистрируем потерю эргодичности для любых выборок. Возникает проблема дальнейшего применения всей статистики, в частности, не изучена проблема расчета энтропии Шеннона  $H$  для оценки тремора и теппинга. В настоящем сообщении представлены данные по расчету энтропии Шеннона для тремора испытуемого, находящегося в разных физиологических состояниях (без нагрузки и при дозированной статической нагрузке). Доказано, что в этом случае возникает неопределенность 1-го типа (статистика не дает различий).

*Ключевые слова:* энтропия, хаос, неопределенность, эффект Еськова–Зинченко.

*Для цитирования:* Горбунов Д. В., Гавриленко А. В., Кухарева А. Ю., Манина Е. А. Возможности энтропийного подхода в оценке биомеханических параметров человека. *Успехи кибернетики*. 2024;5(1):34–39. DOI: 10.51790/2712-9942-2024-5-1-04.

*Поступила в редакцию:* 26.01.2024.

*В окончательном варианте:* 03.03.2024.

**ENTROPY-BASED APPROACH TO ASSESSING HUMAN BIOMECHANICAL PARAMETERS****D. V. Gorbunov<sup>a</sup>, A. V. Gavrilenko<sup>b</sup>, A. Yu. Kukhareva<sup>c</sup>, E. A. Manina<sup>d</sup>***Surgut State University, Surgut, Russian Federation*<sup>a</sup> *gorbunov.dv@mail.ru*<sup>b</sup> *ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-1837-5698>,  [gavrilenko.anna.v@gmail.com](mailto:gavrilenko.anna.v@gmail.com)*<sup>c</sup> *alja.87@mail.ru*, <sup>d</sup> *maninaea@mail.ru*

*Abstract:* the application of physical methods and models in the assessment of human biomechanical parameters is challenging. It means the loss of ergodicity for any samples. This questions any further application of all statistics, In particular, the estimation of the Shannon entropy ( $H$ ) for tremor and tapping samples is not well studied. This study presents the Shannon entropy estimation results for tremor samples of a person in different physiological states (without load and under dosed static load). It is shown that type 1 uncertainty arises (statistical values are identical).

*Keywords:* entropy, chaos, uncertainty, Eskov-Zinchenko effect.

*Cite this article:* Gorbunov D. V., Gavrilenko A. V., Kukhareva A. Yu., Manina E. A. Entropy-Based Approach To Assessing Human Biomechanical Parameters. *Russian Journal of Cybernetics*. 2024;5(1):34–39. DOI: 10.51790/2712-9942-2024-5-1-04.

*Original article submitted:* 26.01.2024.

*Revision submitted:* 03.03.2024.

**Введение**

Более 20 лет назад было положено начало доказательству эффекта Еськова–Зинченко (ЭЗ) сначала в биомеханике, а затем для других параметров функций организма человека, находящегося в различных физических, психических и физиологических состояниях [1–9]. При регистрации треморограмм (ТМГ) и теппингграмм (ТПГ) в покое и при физических нагрузках у испытуемых наблюдалась потеря эргодичности любых выборок как ТМГ, так и ТПГ [1–9]. Во всех случаях эти выборки были статистически неустойчивы. Это означает, что их статистическое повторение (по разным критериям) невозможно [1–9].

В итоге был доказан ЭЗ, т. е. потеря эргодичности, что было обозначено как неопределенность 2-го типа (НВТ). В этом случае каждая выборка уникальна, и ее невозможно использовать для описания биомеханических систем и тем более для прогноза состояний организма человека.

Этот ЭЭЗ имеет универсальный характер, и он касается не только статистических функций  $f(x)$  выборок ТМГ и ТПГ, но и их спектральных плотностей сигнала (СПС), автокорреляций (АК) и других характеристик биосистем – систем 3-го типа (СТТ), по W. Weaver [10].

Все это было обозначено как неопределенность 2-го типа, и вопрос о динамике поведения параметров энтропии остается открытым. В частности, как себя ведет энтропия Шеннона  $H$  для одного и того же испытуемого, находящегося в разных физических состояниях.

### Расчет энтропии Шеннона $H$ для одного испытуемого

Указанная выше проблема имеет два принципиальных аспекта. Во-первых, нет количественных данных о поведении энтропии  $H$  для неизменного физического, психического или физиологического состояния одного и того же испытуемого, находящегося в покое. Для решения этого аспекта проблемы мы провели большое количество повторных регистраций выборок ТМГ для одного и того же испытуемого. Регистрацию постурального тремора мы производили с помощью запатентованного тремографа на базе токовихревых датчиков.

В этом случае мы регистрировали положение пальца по вертикали  $x(t)$  с точностью до 0,1 мм. Подчеркнем, что обычно амплитуда тремора бывает в пределах 0–5 мм, и указанная точность обеспечивает получение достаточно качественных результатов по ТМГ.

Далее аналоговый сигнал дискретизировался с частотой дискретизации  $F=100$  Гц. Такая частота вполне достаточна, т. к. сам биомеханический сигнал имеет частотный диапазон  $F \in (0,10)$ . По теореме Котельникова, мы тем самым обеспечили довольно качественную регистрацию ТМГ.

Поскольку общее время регистрации  $T$  для ТМГ было 5 секунд, то в итоге каждая выборка ТМГ содержала не менее 500 точек (значений ТМГ). Такая выборка была вполне репрезентативна, и далее такие измерения для одного испытуемого повторились 15 раз.

В итоге за одну серию измерений (у одного испытуемого) мы получили 15 выборок ТМГ, которые можно сравнить статистически, например, по критерию Вилкоксона. Для этого строилась матрица парных сравнений выборок ТМГ, куда заносили критерий Вилкоксона  $P_{ij}$  для  $i$ -ой и  $j$ -ой выборок.

Если критерий Вилкоксона  $P_{ij} \geq 0,05$ , то такая пара выборок имеет одну общую генеральную совокупность. В этом случае мы говорим о статистическом совпадении для  $i$ -ой и  $j$ -ой выборок. При  $P_{ij} < 0,05$  мы имеем разные генеральные совокупности, т. е. выборки не совпадали [1–9].

В таких матрицах парных сравнений 15-ти выборок мы находили число  $K$  пар ТМГ, для которых  $P_{ij} \geq 0,05$ . Во всех случаях (несколько сотен таких матриц) мы имеем весьма наибольшие значения  $K$ . Обычно  $K \leq 5\%$  от всех 105-ти разных пар сравнения [1–9].

Это доказывает потерю статистической устойчивости выборок ТМГ, что и подтверждает эффект Еськова–Зинченко (ЭЭЗ). Потеря эргодичности выборок ТМГ сейчас обозначается нами как неопределенность 2-го типа. Вероятность такого повтора во всех наших экспериментах составляла менее 5% (из всех 105-ти разных пар сравнения в таких матрицах).

Для примера мы представляем такую типичную матрицу парных сравнений выборок ТМГ для одного и того же человека (в его неизменном состоянии покоя). В таблице 1 число пар  $K$  весьма невелико ( $K=3$ ), и обычно выборки не совпадают с частотой  $P^* \geq 0,95$ . Это доказывает невозможность использования статистического метода даже при расчетах в биомеханике [3, 4].

Подчеркнем, что ЭЭЗ доказан для многих других параметров функций организма человека (в работе сердца, мышц, работе мозга и т. д.) [11–17]. Все выборки этих параметров уникальны.

Все это имеет глобальный характер, и сейчас мы говорим о биосистемах, которые являются неэргодичными системами природы. В науке нет теории неэргодичных систем. Усилия многих ученых (включая наших выдающихся математиков В. И. Арнольда, Я. Г. Синая) не привели к ее появлению. Поэтому возникает проблема создания такой теории для всех биосистем, которая должна выйти за пределы современной науки [11–17].

Очевидно, что потеря эргодичности для биосистем означает завершение использования методов статистики в биомеханике. Она не дает прогноз будущего из-за хаотически изменяющихся статистических функций распределения  $f(x)$ , СПС, автокорреляций  $A(t)$  и других статистических характеристик. Отдельная проблема в этой связи возникает относительно значений энтропии. Как себя ведет энтропия Шеннона  $H$ ?

Таблица 1

Матрица парного сравнения выборок треморограмм одного испытуемого (число повторов  $N=15$ ), использовался критерий Вилкоксона (уровень значимости  $p<0,05$ , число совпадений  $k=3$ ) [3, 4]

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	
1		0.00	0.00	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	<b>0.96</b>	0.00	0.00
2	0.00		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
3	0.00	0.00		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
4	0.02	0.00	0.00		0.00	0.00	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	0.00		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
6	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
7	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	<b>0.15</b>	0.00
8	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		<b>0.42</b>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
9	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.42		0.00	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	0.00	0.00		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		0.00	0.00	0.00	0.00
12	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		0.00	0.00	0.00
13	0.96	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		0.00	0.00
14	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.15	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		0.00
15	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	

Подчеркнем, что при неопределенности 2-го типа все статистические характеристики ( $f(x)$ , СПС,  $A(t)$  и т. д.) непрерывно и хаотично изменяются для одного и того же испытуемого без изменений его физических, психологических или физиологических состояний.

Таблица 2

Результаты статистической обработки динамики поведения  $H$  – энтропии Шеннона для тремора одного и того же человека (число повторов  $N = 15 \times 15$ )

	$H_1$	$H_2$	$H_3$	$H_4$	$H_5$	$H_6$	$H_7$	$H_8$	$H_9$	$H_{10}$	$H_{11}$	$H_{12}$	$H_{13}$	$H_{14}$	$H_{15}$
1	3.322	3.322	3.122	3.122	3.322	3.322	3.122	2.646	3.322	3.122	3.322	3.322	3.322	3.122	2.922
2	3.322	3.322	3.122	3.122	2.922	2.846	3.122	3.322	3.322	2.722	3.322	3.322	2.922	3.122	3.322
3	3.122	3.122	3.122	3.322	3.122	3.122	3.122	3.322	3.122	2.846	3.122	3.122	3.122	3.122	3.122
4	3.122	2.922	3.122	3.122	3.322	3.122	3.122	3.122	3.122	2.722	3.322	3.322	3.122	3.322	2.922
5	3.322	2.922	3.122	2.922	3.122	3.122	2.646	3.122	3.322	2.922	2.922	3.122	3.322	3.122	3.322
6	2.922	3.322	3.322	3.122	3.322	2.922	3.122	3.122	3.122	3.122	3.122	3.322	3.122	3.122	3.122
7	3.322	2.922	3.322	3.322	3.122	3.122	3.322	2.922	3.322	3.122	3.122	3.122	3.122	3.122	3.322
8	3.122	3.322	3.322	2.522	3.322	3.122	2.846	3.122	3.322	2.846	3.122	3.122	3.122	2.922	3.122
9	3.322	3.122	3.122	3.322	3.322	3.322	2.922	3.122	3.322	3.322	3.122	3.322	3.122	2.846	3.322
10	2.922	2.922	3.322	2.846	3.122	3.122	3.322	3.122	3.322	3.322	2.922	3.322	2.922	3.322	3.322
11	3.322	3.322	3.322	3.322	3.322	3.122	3.122	3.322	2.846	3.322	3.322	2.922	3.322	3.322	3.322
12	2.922	3.322	3.122	3.322	3.322	3.122	3.322	3.322	2.922	3.122	3.322	3.122	3.122	2.922	3.322
13	2.846	3.322	3.122	3.322	3.122	2.922	3.322	3.322	2.846	2.922	2.846	3.322	3.122	3.122	3.322
14	3.322	3.322	3.122	3.322	3.322	3.322	3.122	2.922	3.122	3.322	3.322	2.922	3.122	3.322	2.922
15	2.922	2.846	3.122	3.122	3.322	3.322	3.122	3.122	3.322	3.122	3.122	3.322	3.322	2.922	3.322
<H>	3.143	3.157	3.189	3.143	3.228	3.130	3.112	3.130	3.178	3.058	3.157	3.202	3.149	3.117	3.202

В таблице 2 мы представляем расчет энтропии Шеннона  $H$  для 15-ти повторных регистраций выборок ТМГ. Нами было установлено, что существенных изменений  $H$  в этом случае не наблюдается. Иными словами, энтропия Шеннона  $H$  существенно не изменяется, и поэтому для нее нет неопределенности 2-го типа. Статистическая устойчивость выборок  $H$  как бы дает надежду на ее дальнейшее использование. Этого нет для  $f(x)$ , СПС,  $A(t)$  и т. д.

Однако вся физика доказывает, что изменения физиологических состояний объекта должно приводить и к изменению энтропии  $H$ . Имеет ли это место для СТТ – биосистем?

Возникает существенный вопрос: если энтропия  $H$  не изменяется для одного испытуемого (в его неизменном состоянии), то как себя ведет  $H$  при изменении физического состояния испытуемого? Можно ли рассматривать любого человека как физическую систему?

Напомним, что вся современная биофизика базируется на этом: законы физики применимы для биосистем. Тело человека, его биомеханика, могут описываться с позиции физики. Все оказалось гораздо сложнее и непрогнозируемо. Биосистемы – это СТТ, которые могут и не выполнять законы физики.

**Специфика всех биосистем – СТТ**

Напомним, что еще в 1948 году W. Weaver [10] предлагал вывести все биосистемы за пределы детерминистской и стохастической науки (ДСН). Weaver предлагал создать новую, особую науку, для описания СТТ – биосистем [10]. Почему это надо сделать, Weaver не объяснил. Он не доказал особые свойства СТТ, и поэтому его игнорировали 50 лет [1–9].

После доказательства потери эргодичности для СТТ (ЭЗ) и потери однородности выборок групп возникает острая необходимость в разработке новой, третьей (после ДСН) науки для особых биосистем. Эта новая наука – теория хаоса-самоорганизации (ТХС) [1–9, 11–19].

Для изучения роли энтропии Шеннона в поведении биосистем мы провели серии опытов с одним и тем же испытуемым сначала в покое, а затем при статической нагрузке. Очевидно, что статическая нагрузка требует больших усилий (затраты работы А, на удержание) в данном положении (с грузом).

Многочисленные повторы регистрации выборок ТМГ без груза и с нагрузкой позволили рассчитать значение энтропии Н для всех таких выборок. Такие опыты были повторены для нескольких испытуемых, и их результаты привели нас к необычному значению.

Оказалось, что выборки значений энтропии Шеннона Н без нагрузки статистически существенно не отличались от выборок Н для одного и того же испытуемого при статической нагрузке. С физической точки зрения это невозможная ситуация.

*Таблица 3*

*Матрица парных сравнений выборок энтропии Шеннона Н треморограмм (N=300), использовался критерий Вилкоксона (уровень значимости  $p < 0,05$ , число совпадений  $k=102$ )*

	E <sub>1</sub>	E <sub>2</sub>	E <sub>3</sub>	E <sub>4</sub>	E <sub>5</sub>	E <sub>6</sub>	E <sub>7</sub>	E <sub>8</sub>	E <sub>9</sub>	E <sub>10</sub>	E <sub>11</sub>	E <sub>12</sub>	E <sub>13</sub>	E <sub>14</sub>	E <sub>15</sub>
E <sub>1</sub>		0.81	0.17	0.76	0.15	0.89	0.94	0.86	0.53	0.31	0.55	0.33	0.53	0.92	0.36
E <sub>2</sub>	0.81		0.20	0.65	0.16	0.94	0.81	0.86	0.82	0.31	0.75	0.39	0.68	0.75	0.44
E <sub>3</sub>	0.17	0.20		0.55	0.59	0.18	0.13	0.24	0.55	<b>0.02</b>	0.35	0.96	0.29	0.07	0.59
E <sub>4</sub>	0.76	0.65	0.55		0.27	0.81	0.74	0.83	0.82	0.29	0.91	0.44	0.75	0.8	0.55
E <sub>5</sub>	0.15	0.16	0.59	0.27		<b>0.02</b>	0.15	0.17	0.39	<b>0.01</b>	0.16	0.61	0.05	0.09	0.61
E <sub>6</sub>	0.89	0.94	0.18	0.81	0.02		0.84	0.93	0.54	0.15	0.8	0.31	0.58	0.76	0.45
E <sub>7</sub>	0.94	0.81	0.13	0.74	0.15	0.84		0.84	0.51	0.39	0.45	0.27	0.66	0.92	0.37
E <sub>8</sub>	0.86	0.86	0.24	0.83	0.17	0.93	0.84		0.64	0.37	0.83	0.28	0.8	0.78	0.21
E <sub>9</sub>	0.53	0.82	0.55	0.82	0.39	0.54	0.51	0.64		0.16	0.8	0.72	0.89	0.45	0.55
E <sub>10</sub>	0.31	0.31	0.02	0.29	0.01	0.15	0.39	0.37	0.16		0.17	0.13	0.13	0.37	0.09
E <sub>11</sub>	0.55	0.75	0.35	0.91	0.16	0.8	0.45	0.83	0.8	0.17		0.48	1.00	0.68	0.59
E <sub>12</sub>	0.33	0.39	0.96	0.44	0.61	0.31	0.27	0.28	0.72	0.13	0.48		0.51	0.24	0.93
E <sub>13</sub>	0.53	0.68	0.29	0.75	0.05	0.58	0.66	0.8	0.89	0.13	1.00	0.51		0.48	0.68
E <sub>14</sub>	0.92	0.75	0.07	0.8	0.09	0.76	0.92	0.78	0.45	0.37	0.68	0.24	0.48		0.35
E <sub>15</sub>	0.36	0.44	0.59	0.55	0.61	0.45	0.37	0.21	0.55	0.09	0.59	0.93	0.68	0.35	

В таблице 3 представляем один из таких результатов сравнения без нагрузки: мы имеем почти точное статистическое совпадение выборок Н без нагрузки. Физически это невозможно, но в рамках ТХС это имеет вполне определенное описание. В ТХС это обозначается как неопределенность 1-го типа для СТТ.

**Обсуждение**

За последние 20 лет научной школой профессора В. М. Еськова был доказан ЭЗ. Это означало завершение дальнейшего применения теории динамических систем (ТДС) и всей стохастики при изучении СТТ, биосистем [11–17]. Фактически для таких утверждений было достаточно двух научных фактов: потеря эргодичности для любых параметров СТТ и потеря однородности выборок любых экспериментальных групп. Современная наука не создала теорию неэргодичных систем.

Попытки выдающихся математиков XX века В. И. Арнольда и Я. Г. Синая создать такую теорию не увенчались успехом. В итоге мы должны были отойти от изучения биосистем в рамках современной науки. Как нельзя одной точкой описывать стохастическую систему (нужна выборка), так и выборка не описывает СТТ [10–19].

Однако вся биомедицина, психология, экология и другие науки о жизни продолжают описывать системы в рамках ТДС (по точкам и фазовым траекториям в фазовом пространстве состояний (ФПС)). Это уже невозможно в принципе, нужна новая (третья) наука, и именно об этом говорил W. Weaver в 1948 году [10].

Двадцать лет назад мы начали доказывать потерю эргодичности СТТ и потерю однородности любой группы испытуемых. Очевидно, что ЭЭЗ завершает дальнейшее активное использование моделей ТДС и статистики для изучения СТТ. Возникает неопределенность 2-го типа для биосистем, и требуются новые модели и теория [1–9].

В новой науке о СТТ возникает не только неопределенность 2-го типа, но и появляется неопределенность 1-го типа. В этом случае статистика не дает различий, а новая наука (ТХС) может показать такие различия.

В настоящей статье показана именно неопределенность 1-го типа для энтропии Шеннона  $H$ . При увеличении нагрузки энтропия выборок ТМГ должна изменяться, но это не наблюдается в наших исследованиях. При этом энтропия  $H$  для ТМГ одного испытуемого в покое почти не изменяется. Возникает неопределенность 1-го типа.

### Вывод

За последние 30 лет доказан ЭЭЗ, который для СТТ доказывает потерю эргодичности, т. е. для ТМГ и ТПГ. В этом случае мы говорили о неопределенности 2-го типа (статистика уже не работает для ТМГ).

Расчет энтропии Шеннона  $H$  показал, что энтропия существенно отличается (для ТМГ) от поведения статистических функций распределения  $f(x)$ , СПС и автокорреляций  $A(t)$ . Их числовые характеристики показывают неопределенность 2-го типа (потерю эргодичности, не совпадают выборки любых параметров функций организма  $x_i(t)$ ). Однако энтропия  $H$  показывает неопределенность 1-го типа. В этом случае статистика не дает различий для разных состояний СТТ (на примере ТМГ).

### ЛИТЕРАТУРА

1. Пятин В. Ф., Еськов В. В. Может ли быть статичным гомеостаз? *Успехи кибернетики*. 2021;2(1):41–49. DOI: 10.51790/2712-9942-2021-2-1-3.
2. Eskov V. M., Galkin V. A., Filatova O. E. The Connectedness between Past and Future States of Biosystems? *AIP Conference Proceedings*. 2022;2467:080027. DOI: 10.1063/5.0095266.
3. Еськов В. М., Галкин В. А., Филатова О. Е. *Конец определенности: хаос гомеостатических систем* / под ред. А. А. Хадарцева, Г. С. Розенберга. Тула: Изд-во Тульское производственное полиграфическое объединение; 2017. 596 с.
4. Еськов В. М., Галкин В. А., Пятин В. Ф., Филатов М. А. *Организация движений: стохастика или хаос?* / под ред. Г. С. Розенберга. Самара: Издательство ООО «Порто-принт»; 2020. 144 с.
5. Filatova O. E., Bashkatova Yu. V., Shakirova L. S., Filatov M. A. Neural Network Technologies in System Synthesis. *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering*. 2021;1047:012099. DOI: 10.1088/1757-899X/1047/1/012099.
6. Grigorenko V. V., Nazina N. B., Filatov M. A., Chempalova L. S., Tretyakov S. A. New Information Technologies in the Estimation of the Third Type Systems. *Journal of Physics: Conference Series*. 2021;1889:032003. DOI: 10.1088/1742-6596/1889/3/032003.
7. Kozlova V. V., Galkin V. A., Filatov M. A. Diagnostics of Brain Neural Network States from the Perspective of Chaos. *Journal of Physics: Conference Series*. 2021;1889(5):2–6. DOI: 10.1088/1742-6596/1889/5/052016.
8. Gazyu G. V., Eskov V. M. Uncertainty of the First Type in Industrial Ecology. *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science*. 2021;839(042072). DOI: 10.1088/1755-1315/839/4/042072.

9. Еськов В. М., Григоренко В. В., Назина Н. Б. Отсутствие динамического хаоса Лоренца у кардиоинтервалов. *Сложность. Разум. Постнеклассика*. 2022;2:55–64. DOI: 10.12737/2306-174X-2022-55-66.
10. Weaver W. Science and Complexity. *American Scientist*. 1948;36:536–544.
11. Газя Г. В., Филатов М. А., Шакирова Л. С. Математические доказательства гипотезы Н. А. Бернштейна о «повторении без повторений». *Сложность. Разум. Постнеклассика*. 2023;1:89–100. DOI: 10.12737/2306-174X-2023-1-81-89.
12. Еськов В. М., Галкин В. А., Филатова О. Е. Великие проблемы Гинзбурга и биомедицинские науки. *Вестник новых медицинских технологий*. 2021;28(2):115–120. DOI: 10.24412/1609-2163-2021-2-115-120.
13. Розенберг Г. С. Еще раз о редукционизме и холизме в системологии. *Сложность. Разум. Постнеклассика*. 2022;4:57–72. DOI: 10.12737/2306-174X-2023-11-4-38-53.
14. Еськов В. М. Два подхода в познании природы человека. *Сложность. Разум. Постнеклассика*. 2023;1:64–74. DOI: 10.12737/2306-174X-2023-1-64-71.
15. Еськов В. М., Пятин В. Ф., Башкатова Ю. В. Медицинская и биологическая кибернетика: перспективы развития. *Успехи кибернетики*. 2020;1(1):54–62. DOI: 10.51790/2712-9942-2020-1-1-8.
16. Зимин М. И., Пятин В. Ф., Филатов М. А., Шакирова Л. С. Что общего между «Fuzziness» L. A. Zadeh и «Complexity» W. Weaver в кибернетике. *Успехи кибернетики*. 2022;3(3):102–112. DOI: 10.51790/2712-9942-2022-3-3-11.
17. Филатова О. Е., Филатов М. А., Воронюк Т. В., Музиева М. И. Квантовомеханический подход в электрофизиологии. *Успехи кибернетики*. 2023;4(2):68–77. DOI: 10.51790/2712-9942-2023-4-2-10.
18. Шакирова Л. С., Кухарева А. Ю., Еськов В. М. Неопределенность первого типа параметров сердечно-сосудистой системы девочек Югры. *Вестник новых медицинских технологий*. 2023;30(2):111–114. DOI: 10.24412/1609-2163-2023-2-111-114.
19. Коннов П. Е., Топазова О. В., Трофимов В. Н., Еськов В. В., Самойленко И. С. Нейросети в идентификации главных клинических признаков при актиническом дерматите. *Вестник новых медицинских технологий*. 2023;30(2):115–118. DOI: 10.24412/1609-2163-2023-2-115-118.