

ЭНТРОПИЯ ШЕННОНА В ИЗУЧЕНИИ СТАЦИОНАРНЫХ РЕЖИМОВ COMPLEXITY

Д.В. ГОРБУНОВ, А.Е. БАЖЕНОВА, Г.А. ШАДРИН, Ю.В. ВОХМИНА

БУ ВО Ханты-Мансийского автономного округа – Югры, «Сургутский государственный университет»,
пр. Ленина, д. 1, г. Сургут, 628400, Россия

Аннотация. Остаются дискуссионными вопросы определения для систем третьего типа обобщенных сил и потоков, которые так эффективно используются в термодинамике неравновесных систем и в термодинамике живых систем. Создатели и основоположник термодинамики неравновесных систем И.Р. Пригожин активно пытались описывать реальные биосистемы – *complexity* в рамках понятий: энтропия E , скорость прироста энтропии $P=dE/dt$, устойчивость стационарных состояний и эволюция. Единственный аналитический вариант решения задач такого уровня – это прямой расчет энтропий E и их анализ в оценке стационарных состояний. В термодинамике неравновесных систем для термодинамически равновесного состояния всегда энтропия E должна быть максимальной, а её скорость производства ($P=dE/dt$), наоборот, минимизируется в таких стационарных состояниях. Для анализа уровня хаотичности во временной развертке треморограмм была рассчитана энтропия Шеннона E для всех серий выборок треморограмм (15 серий по 15 выборок). Согласно полученным результатам, выборки данных тремора в оценки их (треморограмм) энтропии Шеннона E можно отнести к одной генеральной совокупности. Энтропийный подход при анализе выборок треморограмм обладает низкой диагностической ценностью и не демонстрирует различий в отличие от статистики $f(x)$, $A(t)$ и амплитудно-частотных характеристик.

Ключевые слова: энтропия, квазиаттрактор, система третьего типа, термодинамика неравновесных систем.

THE SHANNON ENTROPY IN THE INVESTIGATION OF STATIONARY REGIMES OF THE COMPLEXITY

D.V. GORBUNOV, A.E. BAZHENOVA, G.A. SHADRIN, Y.V. VOKHMINA

Surgut state University, Lenin av., 1, Surgut, 628400, Russia

Abstract. The questions of definition for systems of the third type of generalized forces and flows, used so effectively in the thermodynamics of non-equilibrium systems and the thermodynamics of living systems, are under discussion. The creators of the thermodynamics of non-equilibrium systems and its founder I. R. Prigogin actively tried to describe real biological systems – the complexity in the framework of the definition: the entropy E , the rate of increase of entropy $P=dE/dt$, the stability of stationary position and evolution. The only version of the analytical solutions of this level task is to directly calculate the entropy E and its analysis in the evaluation of the stationary states. In the thermodynamics of non-equilibrium systems for thermodynamically equilibrium state is always the entropy E must be maximal, and its rate of production ($P=dE/dt$), on the contrary, is minimized in such stationary states. To analyze the level of randomness in the time sweep tremorogram the Shannon entropy has been calculated for all E Series tremorogram samples (15 series for 15 samples). According to the results, the sample data in the assessment of their tremor (tremorogram) Shannon entropy E can be attributed to one of the general complex. Entropy approach in analyzing the samples tremorogram has low diagnostic value and shows no difference in contrast statistic $f(x)$, $A(t)$ and the amplitude-frequency characteristics.

Key words: entropy, quasi-attractor, the system of the third type, the thermodynamics of non-equilibrium systems.

Введение. Создатели *термодинамики неравновесных систем* (ТНС) и её основоположник И.Р. Пригожин [17] активно пытались описывать реальные биосистемы – *complexity* в рамках понятий: энтропия E , скорость прироста энтропии $P=dE/dt$, устойчивость стационарных состояний и эволюция. Для многих систем (процессов) была доказана теорема (принцип) минимального производства энтропии ($dP/dt \leq 0$), т.е. для скорости P изменения энтропии (E) в виде $P=dE/dt$. Однако, для нелинейных процессов и особых *систем третьего типа* (СТТ), которые сейчас обозначают как *complexity*, такое неравенство может и не выполняться и тогда общий критерий эволюции термодинамических систем Пригожина – Гленсдорфа (в виде $d_x P/dt \leq 0$) может тоже не выполняться и возникает задача оценки эволюции (скорости эволюции и её направления) для нелинейных биосистем, которые мы сейчас определяем как СТТ.

Для количественного сравнения ТНС и реальных процессов динамики $x(t)$ для СТТ мы сейчас используем ряд новых методов, основанных на расчетах матриц парного сравнения выборок x_i и *квазиат-*

тракторов (КА). При этом особая проблема возникает с самим понятием – стационарный режим СТТ [2-8]. В рамках этих новых подходов [10-17] мы пошли путем сравнения значений энтропии [16] для биосистем – *complexity* в различных режимах их функционирования. Ожидалось, что в стационарных режимах СТТ энтропия E не будет изменяться, а при эволюции E должна изменяться [16, 17].

В ТНС для термодинамически равновесного состояния всегда энтропия E должна быть максимальной, а её скорость производства ($P=dE/dt$), наоборот, минимизируется в таких стационарных состояниях. Возникает вопрос: будет ли это наблюдаться для СТТ и справедлива ли термодинамика Пригожина для хаотических, самоорганизующихся СТТ? Если это не будет выполняться, то возникает вопрос о целесообразности использования E и функций распределения $f(x)$ для СТТ. Что тогда вообще использовать для оценки изменений (или стационарности) состояний СТТ во времени и пространстве? Как работать с СТТ, если стохастика и термодинамика к ним не применимы? Имеются ли вообще стационарные режимы для *функциональных систем организма* (ФСО), психического состояния человека, и что считать покоем, а что возмущением в оценке психического состояния человека? Может ли психика человека находиться в покое или в возмущенном состоянии и как эти переходы можно регулировать? Все эти вопросы сейчас составляют основу новой *теории хаоса-самоорганизации* (ТХС) в наших попытках применить ТХС для описания сложных биосистем – *complexity*. Ответы на эти все вопросы – основа нового понимания гомеостаза и эволюции [9, 10, 18-21].

1. Границы стохастики в анализе треморограмм.

Согласно фундаментальной теореме о производстве энтропий E в открытой системе и с не зависящими от времени краевыми условиями (теореме И.Р. Пригожина) для бесконечно малых вариаций производство P энтропии E у любой открытой системы при приближении к состоянию равновесия (когда $E \rightarrow \max$) должно удовлетворять условиям минимума ее скорости изменения:

$$P=dE/dt=\min \quad (1)$$

Более того, при равновесии системы (тогда должно выполняться условие максимального значения энтропии E и минимального изменения скорости производства энтропии и вариаций P) должно выполняться условие в виде второго условия по простоту P :

$$dP=0 \quad (2)$$

При этом возникает принципиальная проблема идентификации стационарных режимов, т.е. что считать стационарностью для x_i ? Сейчас в рамках *детерминистско-стохастического подхода* (ДСП) мы даже не можем говорить о стационарности СТТ для случаев, когда статистические функции распределения $f(x)$ изменяются при переходе от одной выборки (состояния СТТ) к другой (к другому состоянию СТТ). Мы не можем произвольно получить $f_i(x_i)$ для любой j -й выборки. Ситуация оказалась еще более сложной, т.к. во многих случаях для биосистем сохранение $f(x)$ не гарантирует даже у одного и того же человека при повторной (число повторов выборок $N=15$) регистрации параметров ($N=15$). Согласно расчетам матриц парного сравнения выборок *треморограмм* (ТМГ) или *теппинграмм* (ТПГ) для 15 серий исследований, по 15 выборок в каждой серии (например, для тремора) возможность «совпадений» выборок очень невелика. Практически все выборки разные, но всегда для тремора число пар совпадений выборок k не превышает в среднем 5-6%, что и является особенностью систем третьего типа для ТМГ [18].

Как типовой пример одной из таких матриц парного сравнения выборок треморограмм для одного и того же испытуемого (число серий – повторов $N=15$), полученную с помощью не параметрического критерия Вилкоксона представлена в табл. 1. Здесь число совпадений $k=4$ для выборок якобы одинаковых треморограмм, т.е. человек находится в одинаковом физиологическом состоянии (гомеостазе). Из всех возможных пар сравнения (всего 105 пар) только 3 пары можно отнести к одной генеральной совокупности, остальные 102 пары были разные. Более того, при многократных повторах проведенных исследований (у нас это было 15 раз по 15 выборок ТМГ), число совпадений k незначительно изменяется и всегда из всевозможных 105 пар имеем 3-7% совпадений для тремора. Это фактическая цена стохастического подхода в оценке *нервно-мышечной системы* (НМС).

На рис. 2 представлена сводную гистограмма всех 15-ти серий экспериментов (по 15 выборок ТМГ в каждой серии), из которой видно ограниченное число значений пар совпадений выборок k в каждой серии экспериментов (термин «совпадение» в статье мы употребляем в смысле отнесения этих 2-х выборок к одной генеральной совокупности). Действительно, рис. 2 демонстрирует общий вариационный размах по k для всех 15-ти серий в интервале $k \in (3,7)$. Это доказывает низкую эффективность применения стохастического подхода в оценке произвольных движений ($k \leq 7\%$). Все статистические функции $f(x)$ различные и их использование в оценке тремора весьма проблемно (точнее невозможно!).

Таблица 1

Матрица парного сравнения выборок треморограмм испытуемого ГДВ (число повторов $N=15$), использовался критерий Вилкоксона (уровень значимости $p<0.05$, число совпадений $k=4$)

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1		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
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
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
4	0.00	0.00	0.00		0.00	0.01	0.00	0.99	0.87	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
6	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00		0.00	0.00	0.00	0.09	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	0.00
8	0.00	0.00	0.00	0.99	0.00	0.00	0.00		0.67	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
9	0.00	0.00	0.00	0.87	0.00	0.00	0.00	0.67		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.09	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
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
13	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	0.00	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	

Анализ всех 15-ти серий экспериментов, в которых строились матрицы парных сравнений выборок для каждой серии (подобные табл. 1) для этого же испытуемого и для 12-ти других испытуемых дает итоговый результат: все $k<8$, среднее значение $\langle k \rangle = 4.9$ подобно и другим сериям.

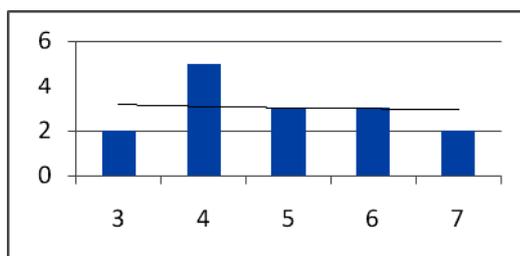


Рис. 1. Гистограмма распределений z числа пар совпадений выборок k для 15-ти серий измерений треморограмм у испытуемого ГДВ (по 15 выборок треморограмм в каждой из 15-ти серий), где z – число одинаковых k в матрицах

Иными словами, на фоне неустойчивости $f(x)$, их спектральных плотностей и автокорреляционных функций $A(t)$ матрицы парных сравнений выборок для одного гомеостаза дают статистическую устойчивость $\langle k \rangle$. Это подтверждается многократным повторением (расчетом) табл. 1 для каждого испытуемого (было всего 15 серий по 15 выборок ТМГ).

2. Расчет значений энтропии Шеннона для параметров тремора в условиях нагрузки.

Для анализа уровня хаотичности во временной развертке треморограмм была рассчитана энтропия Шеннона для всех серий выборок ТМГ, которые мы представили выше. Как оказалось, энтропийный подход при анализе выборок ТМГ не демонстрирует различий в отличие от статистики $f(x)$, $A(t)$ и амплитудно-частотных характеристик. Согласно этим результатам, выборки данных тремора в оценке энтропии Шеннона можно отнести к одной генеральной совокупности.

Для более углубленного изучения возможности применения расчета значений энтропии Шеннона было проведено исследование, в котором регистрировались показатели тремора без нагрузки и при статическом удержании груза (300 грамм) зафиксированном на пальце испытуемого [1]. В результате данного исследования была выявлена некоторая закономерность в изменении числа совпадений при построении матриц парного сравнения. Она проявлялась в некотором увеличении числа k пар совпадений (две выборки относятся к одной генеральной совокупности) при регистрации тремора с нагрузкой. Так же в рамках ТХС были рассчитаны площади КА выборок ТМГ и установлено закономерное увеличение значения площадей (табл. 2). Из этой таблицы видно, что выборка из 15-ти площадей КА для опыта с

нагрузкой существенно отличается ($p=0.00$) от выборки S без груза ($\langle S_1 \rangle = 2.25$ против $\langle S_2 \rangle = 6.78$ с грузом).

Таблица 2

Значения площадей S для КА выборок треморограмм от одного испытуемого ГДВ (число повторов $N=15$) в спокойном состоянии и с грузом 300 грамм (уровень значимости при парном сравнении критерия Вилкоксона $p=0.00$)

	Площадь КА $S_1 \times 10^{-8}$ для тремора без груза	Площадь КА $S_2 \times 10^{-8}$ для тремора с грузом (300 гр.)
1	2.78	8.39
2	3.84	6.02
3	1.03	3.13
4	0.58	4.12
5	1.12	9.40
6	2.22	6.90
7	0.94	4.20
8	2.34	3.76
9	1.88	8.79
10	2.25	9.46
11	2.36	9.79
12	1.93	3.91
13	2.60	5.48
14	5.12	8.60
15	2.80	5.77
$\langle S \rangle$	2.25	6.78
Критерий Вилкоксона, уровень значимости $p=0.00$		

Таблица 3

Значения энтропии Шеннона E для выборок треморограмм от одного испытуемого ГДВ (число повторов $N=15$) в спокойном состоянии и с грузом 300 грамм (уровень значимости при парном сравнении критерия Вилкоксона $p=0.53$)

	Значение E_1 для выборок треморограмм без груза	Значение E_2 для выборок треморограмм с грузом
1	3.1219	3.1219
2	3.1219	2.9219
3	3.3219	3.3219
4	3.3219	3.1219
5	3.3219	3.3219
6	2.9219	3.3219
7	3.1219	3.3219
8	3.3219	3.3219
9	3.3219	3.3219
10	3.3219	3.3219
11	3.3219	3.3219
12	3.1219	3.3219
13	3.1219	2.9219
14	2.9219	3.3219
15	3.3219	3.3219
$\langle E \rangle$	3.2019	3.2419
Критерий Вилкоксона, уровень значимости $p=0.61$		

Одновременно, результат расчета энтропии Шеннона никаких значительных изменений для E не продемонстрировал. Согласно этим результатам (табл. 3) расчета энтропии Шеннона, удержание груза никак не повлияло на состояние организма человека (параметры тремора). Получается, что человек находился в якобы стационарном состоянии без груза и при удержании груза. В табл. 3 представлены ре-

зультаты расчета энтропии Шеннона E , где критерий $p=0.61$). Очевидно, что с позиции физиологии и психологии человек испытывает ощущения нагрузки, задача по удержанию пальца существенно усложнилась, но энтропия E этого не показывает (стационарный режим психики или ФСО продолжается). Вместе с тем, с позиций ТХС, в изменении параметров КА (табл. 2) произошли существенные изменения, которые можно характеризовать как эволюцию. Это доказывается тем, что $\langle S_2 \rangle$ больше $\langle S_1 \rangle$ более чем в 2 раза, что по критериям эволюции [15] мы имеем существенные изменения в состоянии СТТ (речь идет о реакции психики и изменении параметров ФСО).

Таким образом, мы не наблюдаем изменений E при переходе из одного стационарного состояния в другое (неустойчивое, т.к. данный груз мы удерживать не можем физически). Однако при этом мы наблюдаем двукратное увеличение объема КА, что в ТХС характеризуется эволюционным (существенным) изменением СТТ. Отметим, что в спокойном состоянии энтропия E и площади КА в виде S существенно не изменялись, т.е. такой покой был покоем и с позиции термодинамики неравновесных систем, и с позиции ТХС. Возмущение психофизиологического состояния испытуемого (воздействие нагрузки) приводит к уходу из этого (исходного) стационарного состояния психики (и ФСО тоже).

Выводы:

1. Многократные повторы измерений треморограмм (15 серий по 15 выборок в каждой серии) показывают статистическую устойчивость числа пар совпадений выборок k для параметров НМС. Психофизиологический статус испытуемого это время находится в стационарном состоянии.

2. Изменение состояния НМС (и психики, т.к. возникают другие ощущения) приводит к изменению параметров квазиаттракторов ТМГ. Площадь увеличилась более чем в 2 раза. Эти изменения в рамках ТХС следует считать эволюционными (хотя они и действуют кратковременно, но такая ситуация могла бы быть постоянной при перемещении на другую планету, например, где условие $g_2 > g_1 = 9.81$ м/сек. для Земли).

3. Энтропия E при уходе из одного стационарного режима (покоя) в условно неустойчивое состояние не изменяется. Это ограничивает возможности применения термодинамики неравновесных систем И.Р. Пригожина в описании неравновесных биосистем (у нас это НМС и психофизиологический статус человека). Эффективным критерием таких изменений является расчет площади КА в виде S .

Литература

1. Балтикова А.А., Баженова А.Е., Башкатова Ю.В., Карпин В.А., Горленко Н.П. Многомерная хаотическая динамика тремора в оценке реакции нервно-мышечной системы человека на физическую нагрузку // Вестник новых медицинских технологий. Электронное издание. 2013. №1. Публикация 1-6. URL: <http://medtsu.tula.ru/VNMT/Bulletin/E2013-1/4341.pdf> (дата обращения 15.04.2013).
2. Баженова А.Е., Щипицин К.П., Пахомов А.А., Семез О.Б. Стохастическая и хаотическая оценка треморограмм испытуемого в условиях нагрузки // Сложность. Разум. Постнеклассика. 2016. № 1. С. 11–17.
3. Веракса А.Н., Горбунов Д.В., Шадрин Г.А., Стрельцова Т.В. Эффект Еськова-Зинченко в оценке параметров теппинга методами теории хаоса-самоорганизации и энтропии // Сложность. Разум. Постнеклассика. 2016. №1. С. 17–24.
4. Газя Г.В., Соколова А.А., Баженова А.Е., Ярмухаметова В.Н. Анализ и синтез параметров вектора состояния вегетативной нервной системы работников нефтегазовой отрасли // Системный анализ и управление в биомедицинских системах. 2012. Т. 11, № 4. С. 886–892.
5. Еськов В.М., Филатова О.Е. Проблема идентичности функциональных состояний нейросетевых систем // Биофизика. 2003. Т. 48, № 3. С. 526–534.
6. Еськов В.М., Живогляд Р.Н., Хадарцев А.А., Чантурия С.М., Шпилова Т.Н. Идентификация параметров порядка при женских патологиях в аспекте системного синтеза // Системный анализ и управление в биомедицинских системах. 2006. Т. 5, № 3. С. 630–633.
7. Еськов В.М., Еськов В.В., Хадарцев А.А., Филатов М.А., Филатова Д.Ю. Метод системного синтеза на основе расчета межаттракторных расстояний в гипотезе равномерного и неравномерного распределения при изучении эффективности кинезитерапии // Вестник новых медицинских технологий. 2010. Т. 17, № 3. С. 106–110.
8. Еськов В.В., Еськов В.М., Карпин В.А., Филатов М.А. Синергетика как третья парадигма, или понятие парадигмы в философии и науке // Философия науки. 2011. № 4(51). С. 126–128.
9. Еськов В.М., Брагинский М.Я., Козлова В.В. Биомеханическая система для изучения микродвижений конечностей человека: хаотические и стохастические подходы в оценке физиологического тремора // Вестник новых медицинских технологий. 2011. Т. 18, № 4. С. 44–48.
10. Еськов В.М., Гавриленко Т.В., Еськов В.В., Балтикова А.А. Динамика квазиаттракторов параметров произвольных микродвижений конечностей человека как реакция на локальные термические воздействия // Вестник новых медицинских технологий. 2012. Т.19, № 4. С. 26–29.

11. Еськов В.М., Зинченко Ю.П., Филатов М.А., Поскина Т.Ю. Эффект Н.А. Бернштейна в оценке параметров тремора при различных акустических воздействиях // Национальный психологический журнал. 2015. № 4(20). С. 66–73.
12. Еськов В.М., Зинченко Ю.П., Филатов М.А., Стрельцова Т.В. Стресс-реакция на холод: энтропийная и хаотическая оценка // Национальный психологический журнал. 2016. № 1(21). С. 45–52.
13. Еськов В.М., Хадарцев А.А., Еськов В.В., Вохмина Ю.В. Хаотическая динамика кардиоинтервалов трёх возрастных групп представителей коренного и пришлого населения Югры // Успехи генетологии. 2016. Т. 29, № 1. С. 44–51.
14. Еськов В.М., Газя Г.В., Майстренко Е.В., Болтаев А.В. Влияние промышленных электромагнитных полей на параметры сердечнососудистой системы работников нефтегазовой отрасли // Экология и промышленность России. 2016. № 1. С. 59–63.
15. Еськов В.М., Еськов В.В., Вохмина Ю.В., Гавриленко Т.В. Эволюция хаотической динамики коллективных мод как способ описания поведения живых систем // Вестник Московского университета. Серия 3: Физика. Астрономия. 2016. № 2.
16. Зинченко Ю.П., Еськов В.М., Еськов В.В. Понятие эволюции Гленсдорфа-Пригожина и проблема гомеостатического регулирования в психофизиологии // Вестник Московского университета. Серия 14: Психология. 2016. № 1. С. 3–24.
17. Пригожин И.Р. Конец определенности. Ижевск: РХД, 2001.
18. Филатов М.А., Веракса А.Н., Филатова Д.Ю., Поскина Т.Ю. Понятие произвольных движений с позиций эффекта Еськова-Зинченко в психофизиологии движений // Сложность. Разум. Постнеклассика. 2016. №1. С. 24–32.
19. Хадарцев А.А., Еськов В.М., Козырев К.М., Гонтарев С.Н. Медико-биологическая теория и практика: Монография / Под ред. Тыминского В.Г. Тула: Изд-во ТулГУ – Белгород: ЗАО «Белгородская областная типография», 2011. 231 с.
20. Хадарцев А.А., Еськов В.М., Хадарцев В.А., Иванов Д.В. Клеточные технологии с позиций синергетики // Вестник новых медицинских технологий. 2009. Т. 16, № 4. С. 7–9.
21. Хадарцев А.А., Несмеянов А.А., Еськов В.М., Кожемов А.А., Фудин Н.А. Принципы тренировки спортсменов на основе теории хаоса и самоорганизации // Теория и практика физической культуры. 2013. № 9. С. 87–93.

References

1. Baltikova AA, Bazhenova AE, Bashkatova YV, Karpin VA, Gorlenko NP. Mnogomernaya khaoticheskaya dinamika tremora v otsenke reaktsii nervno-myshechnoy sistemy cheloveka na fizicheskuyu nagruzku [Multidimensional Chaotic Dynamics tremor in the evaluation of the reaction of the neuromuscular system of a person to exercise]. Vestnik novykh meditsinskikh tekhnologiy. Elektronnoe izdanie. 2013 [cited 2013 Apr 15];1 [about 4 p.]. Russian. Available from: <http://medtsu.tula.ru/VNMT/Bulletin/E2013-1/4341.pdf>.
2. Bazhenova AE, Shchipitsin KP, Pakhomov AA, Semerez OB. Stokhasticheskaya i khaoticheskaya otsenka tremorogramm ispytuemogo v usloviyakh nagruzki [Stochastic and Chaotic evaluation test tremorogramm in loading conditions]. Slozhnost'. Razum. Postneklassika. 2016;1:11-7. Russian.
3. Veraksa AN, Gorbunov DV, Shadrin GA, Strel'tsova TV. Effekt Es'kova-Zinchenko v otsenke parametrov teppinga metodami teorii khaosa-samoorganizatsii i entropii [Effect Eskova Zinchenko-estimation of parameters in tapping methods of the theory of chaos and entropy, self-organization]. Slozhnost'. Razum. Postneklassika. 2016;1:17-24. Russian.
4. Gazya GV, Sokolova AA, Bazhenova AE, Yarmukhametova VN. Analiz i sintez parametrov vektora sostoyaniya vegetativnoy nervnoy sistemy rabotnikov neftegazovoy otrasli [Analysis and synthesis of the vector of parameters of the autonomic nervous system of the oil and gas industry workers]. Sistemnyy analiz i upravlenie v biomeditsinskikh sistemakh. 2012;11(4):886-92. Russian.
5. Es'kov VM, Filatova OE. Problema identichnosti funktsional'nykh sostoyaniy neyrosetevykh system [Identity problem of functional states of neural network systems]. Biofizika. 2003;48(3):526-34. Russian.
6. Es'kov VM, Zhivoglyad RN, Khadartsev AA, Chanturiya SM, Shipilova TN. Identifikatsiya parametrov poryadka pri zhenskikh patologiyakh v aspekte sistemnogo sinteza [Identification of the order parameters in female pathologies in systemic synthesis aspect]. Sistemnyy analiz i upravlenie v biomeditsinskikh sistemakh. 2006;5(3):630-3. Russian.
7. Es'kov VM, Es'kov VV, Khadartsev AA, Filatov MA, Filatova DYu. Metod sistemnogo sinteza na osnove rascheta mezhattraktornykh rasstoyaniy v gipoteze ravnomernogo i neravnomernogo raspredeleniya pri izuchenii effektivnosti kineziterapii [system synthesis method based on the calculation of distances mezhattraktornykh in the hypothesis of uniform and non-uniform distribution in the study of the effectiveness of kinesitherapy]. Vestnik novykh meditsinskikh tekhnologiy. 2010;17(3):106-10. Russian.

8. Es'kov VV, Es'kov VM, Karpin VA, Filatov MA. Sinergetika kak tret'ya paradigma, ili ponyatie paradigmy v filosofii i nauke [Synergetics as a third paradigm, or the concept of a paradigm shift in philosophy and science]. *Filosofiya nauki*. 2011;4(51):126-8. Russian.
9. Es'kov VM, Braginskiy MY, Kozlova VV. Biomekhanicheskaya sistema dlya izucheniya mikro-dvizheniy konechnostey cheloveka: khaoticheskie i stokhasticheskie podkhody v otsenke fiziologicheskogo tremora [Biomechanical system for the study of micro-movements of human limbs: chaotic and stochastic approaches in the evaluation of the physiological tremor]. *Vestnik novykh meditsinskikh tekhnologiy*. 2011;18(4):44-8. Russian.
10. Es'kov VM, Gavrilenko TV, Es'kov VV, Baltikova AA. Dinamika kvaziatraktorov parametrov neproizvol'nykh mikro-dvizheniy konechnostey cheloveka kak reaktsiya na lokal'nye termicheskie vozdeystviya [The dynamics of quasi-attractors parameters involuntary micro-movements of human limbs in response to local thermal effects]. *Vestnik novykh meditsinskikh tekhnologiy*. 2012;19(4):26-9. Russian.
11. Es'kov VM, Zinchenko YP, Filatov MA, Poskina TY. Effekt Bernshteyna NA. v otsenke parametrov tremora pri razlichnykh akusticheskikh vozdeystviyakh [The effect of NA Bernstein in the evaluation of tremor parameters for different acoustic effects]. *Natsional'nyy psikhologicheskii zhurnal*. 2015;4(20):66-73. Russian.
12. Es'kov VM, Zinchenko YP, Filatov MA, Strel'tsova TV. Stress-reaktsiya na kholod: entropiynaya i khaoticheskaya otsenka [Stress reaction to cold: entropy and chaotic rating]. *Natsional'nyy psikhologicheskii zhurnal*. 2016;1(21):45-52. Russian.
13. Es'kov VM, Khadartsev AA, Es'kov VV, Vokhmina YV. Khaoticheskaya dinamika kardiointervalov trekh vozrastnykh grupp predstaviteley koren'nogo i prishlogo naseleniya Yugry [Chaotic dynamics of cardio three age groups, the representatives of the radical and alien population of Ugra]. *Uspekhi gerontologii*. 2016;29(1):44-51. Russian.
14. Es'kov VM, Gazya GV, Maystrenko EV, Boltaev AV. Vliyanie promyshlennykh elektromagnitnykh poley na parametry serdechnosudistoy sistemy rabotnikov neftegazovoy otrasli [The impact of electromagnetic fields on the industrial parameters of the cardiovascular system of the oil and gas industry workers]. *Ekologiya i promyshlennost' Rossii*. 2016;1:59-63. Russian.
15. Es'kov VM, Es'kov VV, Vokhmina YV, Gavrilenko TV. Evolyutsiya khaoticheskoy dinamiki kolektivnykh mod kak sposob opisaniya povedeniya zhivykh system [The evolution of chaotic dynamics of collective modes as a way to describe the behavior of living systems]. *Vestnik Moskovskogo universiteta. Seriya 3: Fizika. Astronomiya*. 2016;2. Russian.
16. Zinchenko YP, Es'kov VM, Es'kov VV. Ponyatie evolyutsii Glensdorfa-Prigozhina i problema gomeostaticeskogo regulirovaniya v psikhofiziologii [The concept of evolution Glansdorff-Prigogine and the problem of homeostatic regulation in psychophysiology]. *Vestnik Moskovskogo universiteta. Seriya 14: Psikhologiya*. 2016;1:3-24. Russian.
17. Prigozhin IR. Konets opredelennosti [The end of certainty]. Izhevsk: RKhD; 2001. Russian.
18. Filatov MA, Veraksa AN, Filatova DY, Poskina TY. Ponyatie proizvol'nykh dvizheniy s pozitsiy effekta Es'kova-Zinchenko v psikhofiziologii dvizheniy [The concept of voluntary movements with positions Eskova-Zinchenko effect in psychophysiology of movements]. *Slozhnost'. Razum. Postne-klassika*. 2016;1:24-32. Russian.
19. Khadartsev AA, Es'kov VM, Kozyrev KM, Gontarev SN. Mediko-biologicheskaya teoriya i praktika: Monografiya [Biomedical Theory and Practice: Monograph]. Pod red. Tyminskogo VG. Tula: Izd-vo TulGU – Belgorod: ZAO «Belgorodskaya oblastnaya tipografiya»; 2011. Russian.
20. Khadartsev AA, Es'kov VM, Khadartsev VA, Ivanov DV. Kletochnye tekhnologii s pozitsiy sinergetiki [Cellular technology from the standpoint of synergy]. *Vestnik novykh meditsinskikh tekhnologiy*. 2009;16(4):7-9. Russian.
21. Khadartsev AA, Nesmeyanov AA, Es'kov VM, Kozhemov AA, Fudin NA. Printsipy trenirovki sportsmenov na osnove teorii khaosa i samoorganizatsii [Principles of training of athletes on the basis of self-organization and chaos theory]. *Teoriya i praktika fizicheskoy kul'tury*. 2013;9:87-93. Russian.

Библиографическая ссылка:

Горбунов Д.В., Баженова А.Е., Шадрин Г.А., Вохмина Ю.В. Энтропия шеннона в изучении стационарных режимов *complexity* // Вестник новых медицинских технологий. Электронное издание. 2016. №3. Публикация 1-11. URL: <http://www.medtsu.tula.ru/VNMT/Bulletin/E2016-3/1-11.pdf> (дата обращения: 22.09.2016). DOI: 12737/21673.