

### III. МАТЕМАТИКА В ОПИСАНИИ ХАОСА И СИНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМ

DOI:10.12737/article\_5aaa71fb4ef8f9.94011446

#### ТЕРМОДИНАМИКА НЕРАВНОВЕСНЫХ СИСТЕМ И.Р. ПРИГОЖИНА В ОЦЕНКЕ ПАРАМЕТРОВ ЭЛЕКТРОМИОГРАММ

В.Г. ЯХНО<sup>1</sup>, Д.В. ГОРБУНОВ<sup>2</sup>, И.Б. БУЛАТОВ<sup>2</sup>, С.В. ГОРБУНОВ<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Институт прикладной физики РАН, ул. Ульянова, 46, Нижний Новгород, 603600, Россия

<sup>2</sup>БУ ВО «Сургутский государственный университет», ул. Ленина, 1, Сургут, 628400, Россия, e-mail: gorbunov.dv@mail.ru

**Аннотация.** Рассматриваются фундаментальные законы поведения живых систем с позиций классической термодинамики Р. Клаузиуса и Л. Больцмана, и термодинамики неравновесных систем I.R. Prigogine. Показывается с позиций новой теории хаоса-самоорганизации, что законы термодинамики невозможно применять к живым гомеостатическим системам на уровне организации этих систем (т.е. на системном уровне), хотя на молекулярном уровне все работает. Для гомеостатических (живых) систем не применима теорема Гленсдорфа-Пригожина о минимуме прироста энтропии  $P=dE/dt$  в области (окрестности), где энтропия  $E$  имеет максимум (в точках равновесия). Это доказывает, что термодинамика неравновесных систем И.Р. Пригожина имеет слабое отношение к сложным живым системам (*complexity*). Хаос таких систем третьего типа имеет другую природу и другие механизмы, чем динамичный хаос Лоренца.

**Ключевые слова:** энтропия Шеннона, термодинамика неравновесных систем, теория хаоса-самоорганизации, живые системы.

#### THERMODYNAMICS OF NONEQUILIBRIUM SYSTEMS I.R. PRIGOGINE IN ESTIMATION OF ELECTROMYOGRAM PARAMETERS

V.G. YAKHNO<sup>1</sup>, D.V. GORBUNOV<sup>2</sup>, I.B. BULATOV<sup>2</sup>, S.V. GORBUNOV<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Institute of applied physics of Russian Sciences Academy, Ulyanova Str., 46, Nizny Novgorod, 603600, Russia

<sup>2</sup>Surgut State University, Lenina pr., 1, Surgut, 628400, Russia, e-mail: gorbunov.dv@mail.ru

**Abstract.** We consider the behavior of the fundamental laws of living systems from the standpoint of classical thermodynamics, R. Clausius and Boltzmann, and thermodynamics of nonequilibrium systems I.R. Prigogine. It is shown from the standpoint of the new theory of chaos, self-organization, that the laws of thermodynamics can not be applied to living homeostatic systems at the level of organization of these systems (at the system level), while on a molecular level, all works. For homeostatic (living) systems do not apply Theorem Glansdorff-Prigogine on the minimum gain of the entropy  $P = dE / dt$  in the area (neighborhood) where the entropy  $E$  is maximum (equilibrium points). It was proved that I.R. Prigogine thermodynamics of non equilibrium systems has not strong connectedness with real complexity systems. Chaos of such systems (of the third type) has other mechanisms and other foundation as dynamical chaos of Lorentz.

**Key words:** Shannon entropy, thermodynamics of nonequilibrium systems, chaos theory, self-organization of living systems.

**Введение.** Завершая свой творческий путь *I.R. Prigogine* выпустил монографию (1997), над которой он и его коллеги трудились несколько десятилетий. Речь идет о книге «*The End of Certainty: Time, Chaos, and the New Laws of Nature*» [28]. Сразу отметим, что особых новых законов в этом издании мы не смогли найти, но нашли ряд высказываний о том, какими эти новые законы могли бы быть. В целом, речь может идти о предчувствии создания для живых систем некоторых новых законов, которые должны были бы вывести биосистемы (*complexity*) за пределы всей современной науки (что привело А. Пуанкаре и автора указанной книги к заключению о том, что: «... я деградирую и дошел до точки, за которой могу покинуть области математики и физики»). Однако сам *I.R. Prigogine* не вышел за пределы современной науки в ее детерминированном и стохастическом виде [28]. И сейчас мы подошли к новому пониманию проблемы гомеостаза и эволюции живых систем (*complexity*) [1-9].

В первую очередь речь идет о вопросах дальнейшего развития термодинамики в целом и *термодинамики неравновесных систем* (ТНС) в частности, которые можно (или нельзя?) применять для описания живых систем. Эти живые системы другой наш предшественник *W. Weaver* в 1948 г. стал относить к особым *системам третьего типа* (СТТ), которые по мнению *W. Weaver* нельзя было изучать в рамках традиционной (современной) *детерминистской и стохастической науки* (ДСН). Насколько были правы (или неправы) *I.R. Prigogine*, Р. Клаузиус, Л. Больцман, *W. Weaver* в своих попытках изучения живых систем с позиций термодинамики и ТНС? Ответ на этот принципиальный вопрос составил основу написания не только настоящего сообщения, но и создания новой *теории хаоса-самоорганизации* (ТХС) и всей третьей глобальной парадигмы естествознания, которая нас уводит из области детерминизма и стохастики в новую область самоорганизующегося хаоса *ССТ-complexity* [3-7, 20-28].

**Энтропия живых систем в представлениях *I.R. Prigogine*.** Согласно второго начала термодинамики, необратимые про-

цессы должны производить энтропию  $E$ , а обратимые процессы (внутри себя) должны оставлять энтропию постоянной. Рост энтропии для необратимых процессов связан с их эволюцией, т.е. непрерывным изменением параметров систем (без повторений). Этот процесс сопровождается поглощением энергии, на что обращал внимание еще Больцман и Клаузиус в 19-м веке. Напомним, что само понятие «энтропия» в переводе с греческого означает «эволюция» и любая эволюция (как необратимый процесс) должна сопровождаться возрастанием энтропии и потреблением энергии. Может ли возрастать энтропия живых систем, находящихся в условиях непрерывного потребления энергии и применима ли ТНС *Prigogine* к особым *СТТ-complexity*? [1-4,7-12]

Согласно фундаментальной теореме о производстве энтропий  $E$  в открытой системе и с не зависящими от времени крайними условиями (согласно теореме Пригожина [28]) для бесконечно малых вариаций скорость производства ( $P$ ) энтропии  $E$  должна удовлетворять условиям минимума ее (скорости) изменения при приближении состояния системы к равновесному:

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

Более того, при равновесии системы, когда энтропия  $E$  достигает максимума ( $E \rightarrow \max$ ), должно выполняться условие изменения скорости производства энтропии и вариаций  $P$  в виде второго условия по приросту  $P$ :

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

Для нелинейных систем (согласно теории Пригожина – ТНС) в стационарном состоянии производство  $E$  не обязательно должно быть минимальным. Более того, в теории Пригожина (ТНС) устойчивые стационарные состояния определяются как «текущее равновесие» и приводится характерный график для его описания (рис. 1).

**Неустойчивость выборок электромиограмм в неизменном гомеостазе.** Сразу отметим, что для описания хаоса СТТ мы используем фазовые плоскости вектора  $x = x(t) = (x_1, x_2)^T$ , где  $x_1 = x_i(t)$  является любой переменной  $x_i$  всего вектора  $x(t) = (x_1, x_2, \dots, x_m)^T$ , описывающего гомеостаз, а  $x_2 = dx_1/dt$  представляет скорость изменения  $x_1(t)$ .

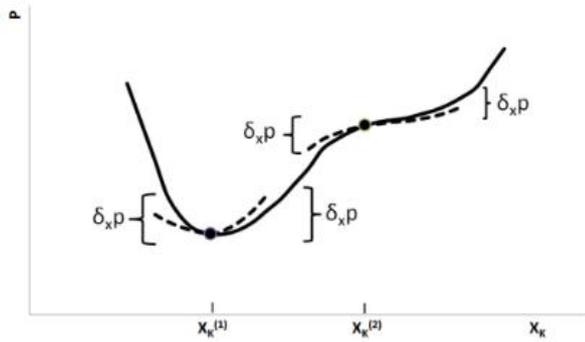


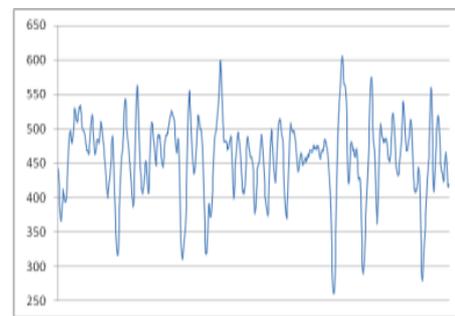
Рис. 1. Стационарные состояния нелинейной системы.  $x_k(1)$  – текущее равновесие;  $x_k(2)$  – неустойчивое стационарное состояние (в представлениях И.Р. Пригожина)

Эти две координаты  $x_1$  и  $x_2$  в биомеханике имеют прямой физический смысл (координата и скорость), а для других  $x_i$  мы имеем некоторый аналог принципа неопределенности Гейзенберга [6-12,19-29]. Такая неустойчивость впервые в начале XXI-го века была описана В.М. Еськовым, а в рамках *компартиментно-кластерной теории биосистем* (ККТБ) [12-19].

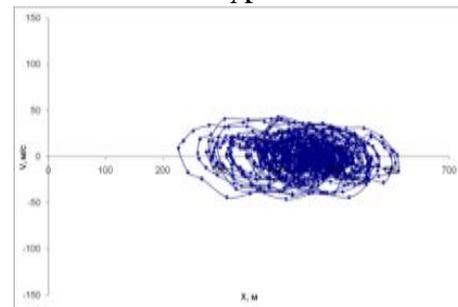
Очевидно, что если мы имеем хаотическую динамику биопотенциалов мозга в виде *электроэнцефалограмм* (ЭЭГ), как центрального регулятора всех двигательных функций человека, то логично рассмотреть динамику эффекторного органа, т.е. динамику *электромиограмм* (работы мышц, которые управляются *центральной нервной системой* – ЦНС). Вполне закономерно ожидать, что и *электромиограммы* (ЭМГ) должны демонстрировать хаос и самоорганизацию. Для визуализации данных, полученных с электромиографа, нами строилась временная развертка сигнала  $x_1(t)$  – величина биопотенциала мышц (рис. 2-А), которая преобразовывалась в некоторые числовые ряды (выборки ЭМГ). При анализе полученных временных разверток по данным ЭМГ видно, что получаемые сигналы уникальны для каждого испытуемого, но при этом сохраняется некоторая закономерность, которая связана с площадью  $S_m$  *квазиаттракторов* (КА) в фазовом пространстве  $x_1$  и  $x_2$  (см. рис. 2-В).

Каждый вектор  $x=(x_1, x_2)^T$ , где  $x_2=dx_1/dt$  – скорость изменения биопотенциалов мышц (ЭМГ), образует фазовую

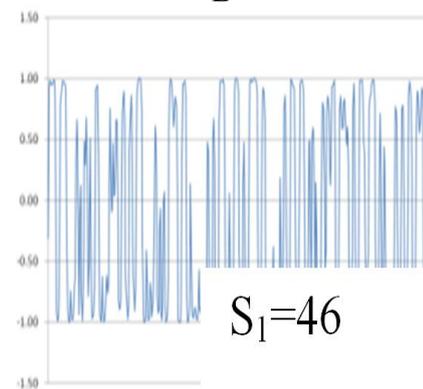
плоскость, описывающую динамику поведения двумерного  $x=(x_1, x_2)^T$ , которая представлена на рис. 2-В. Из этого рисунка видно, что ЭМГ имеет некоторое подобие с  $A(t)$  (рис. 2-С). Это подобие проявляется в том, что при многократных повторах измерений ЭМГ мы не можем получить совпадения статистических функций  $f(x_i)$  произвольно (для двух подряд измеряемых выборок), это мы имеем и для спектральных характеристик ЭМГ и их *автокорреляций*  $A(t)$  (при построении матриц для *спектральных плотностей сигнала* (СПС) и  $A(t)$ ).



А



В



С

Рис. 2. Результат обработки данных (ЭМГ), полученных при слабом напряжении мышцы ( $F_1=50Н$ ); испытуемый КАЕ как типичный пример всей группы: А – временная развертка сигнала ЭМГ; В – фазовые траектории *квазиаттрактора* (КА)

с площадью  $S_1=46188$  у.е.;  $S$  – автокорреляционная функция сигнала  $A(t)$ .

Таблица 1

**Значение площадей КА  $S$  выборок ЭМГ одной и той же девушки при слабом ( $F_1=50Н$ ) и сильном ( $F_2=100Н$ ) напряжении мышцы (в режиме 15-ти повторений)**

Так как во многих своих публикациях [1-12,20-27] мы уже показывали, что для многих параметров гомеостаза функции распределения  $f(x)$ , СПС,  $A(t)$  и др. статистические характеристики не могут продемонстрировать устойчивость ( $f(x)$  непрерывно изменяются), то возникает вопрос о целесообразности использования функций распределения  $f(x)$  для выборок ТМГ, ЭЭГ, ЭМГ, как с позиций ТХС, так и с позиций термодинамики неравновесных систем. Наблюдается их непрерывное изменение при сравнении выборок ЭМГ (ЭЭГ, ТМГ, КИ) и любая ЭМГ имеет свой особый закон распределения  $f(x)$  для каждого интервала.

В рамках стохастического подхода были построены матрицы парных сравнений выборок ЭМГ для 15-ти испытуемых при 2-х силах сжатия  $F_1$  и  $F_2$  динамометра ( $F_2=2F_1$ ) и установлена закономерность изменения числа «совпадений» пар выборок  $k$ , получаемых параметров ЭМГ. Оказалось, что в первом случае (для  $F_1$ ) матрица  $15 \times 15$  (105 разных пар сравнений) при усилии  $F_1=50Н$  показывает  $k_1=5$ . При увеличении напряжения до  $F_2=100Н$  наблюдается и увеличение числа совпадений до  $k_2=20$ . Аналогичные расчеты производились и для 15-ти выборок ЭМГ от одной испытуемой (число повторов  $N=15$ ). Здесь получилось, что число пар совпадений  $k_1=11$  при слабой статической нагрузке, а при двукратном увеличении прилагаемого усилия число пар увеличилось до  $k_2=22$ . В целом, статистика имеет крайне низкую эффективность в описании ЭЭГ, ТМГ, ЭМГ, КИ и других  $x_i$  всего гомеостаза человека [1-11,29].

Наиболее существенные различия были установлены именно для площадей КА  $S_1$  и  $S_2$ , которые представлены в табл. 1. Сравнение площадей квазиаттракторов  $S$  для КА 15-ти выборок от одной испытуемой показали существенные различие выборок  $S$ .

Из этой таблицы видно, что в обоих случаях четко выражено различие в этих двух состояниях при слабом напряжении и сильном напряжении мышцы ( $MADM$ ).

	Один испытуемый (повторения)	
	$S_1 \times 10^4, 50Н$	$S_2 \times 10^4, 100Н$
1	2,65	10,73
2	2,43	11,49
3	3,58	13,97
4	2,76	11,17
5	3,22	11,97
6	1,88	10,11
7	2,98	15,26
8	2,43	19,13
9	1,69	10,00
10	1,69	6,89
11	2,12	11,69
12	1,52	10,14
13	1,89	10,47
14	2,03	11,36
15	3,09	8,60
< $S$ >	2,39	11,53
Т-критерий значимости функций $f(x)$ $p=0,00$		

Таблица 2

**Значения энтропии Шеннона  $E$  для ЭМГ группы девушек и одной и той же девушки**

	Один испытуемый (повторения)	
	$E$ , при $F=50Н$	$E$ , при $F=100Н$
1	3.441	3.584
2	3.822	3.441
3	3.522	3.384
4	3.584	3.584
5	3.546	3.684
6	3.822	3.209
7	3.641	3.722
8	3.641	3.484
9	3.641	3.484
10	3.784	3.584
11	3.784	3.784
12	3.541	3.441
13	4.122	3.784
14	3.441	3.722
15	3.546	3.922
< $E$ >	3.659	3.588
Т-критерий, значимость функций $f(x)$ $p=0.24$		

Здесь средние значения отличаются в 2-4 раза. Среднее значения  $S$  для одного испытуемого демонстрирует увеличение  $S$ , здесь  $\langle S_1 \rangle = 23992$  у.е. и  $\langle S_2 \rangle = 115333$  у.е. при многократных повторениях одного и того же эксперимента. Подчеркнем, что

именно площади  $S$  для квазиаттракторов весьма индивидуальны и поэтому статистическое усреднение по группе (это мы и выполнили) весьма дискуссионно.

**Энтропия Шеннона в оценке движений.** Для этих же испытаний был выполнен расчет энтропии Шеннона  $E$ , который нам демонстрирует другие данные. Для анализа уровня хаотичности во временной развертке ЭМГ были рассчитаны энтропии Шеннона, которые представлены в табл. 2. Из этой таблицы следует, что энтропийный подход при анализе ЭМГ не демонстрирует различий. Согласно этим результатам, выборки данных ЭМГ по параметрам  $E$  для одной и той же девушки можно отнести к одной генеральной совокупности. Нет существенных статистических различий в значениях  $E$  для одной девушки при повторях с двумя разными усилиями ( $F_2=2F_1$ ), здесь  $p=0,24$  соответственно, при критическом уровне значимости  $p<0,05$ .

Иными словами, эти выборки для  $E_1$  и  $E_2$  статистически не различаются. При переходе из одного гомеостаза в другой гомеостаз, что сопровождается дополнительным расходом энергии в мышцах и активной работой ЦНС и НМС, мы не наблюдаем различий по энтропии  $E$ . Использование термодинамики неравновесных систем для изучения живых, гомеостатических систем весьма проблематично. В рамках анализа ЭМГ при разных гомеостазах мы имеем крайне низкую эффективность методов ТНС и И.Р. Пригожина.

#### **Заключение:**

1. Любые параметры  $x_i$  гомеостатичной системы (СТТ-*complexity*) демонстрируют отсутствие стационарных режимов ( $dx/dt \neq 0$ ) и отсутствие статистической устойчивости статических функций распределения получаемых подряд (в общем гомеостазе) выборок  $x_i$ .

2. При переходе из одного гомеостаза (функционального состояния) в другой гомеостаз значения энтропии Шеннона  $E$  могут быть неизменными (или изменения не существенные). При этом биосистема затрачивает энергию и реально изменяет свое функциональное состояния. Энтропия Шеннона – слабый маркер гомеостаза (его

изменения) как для ТМГ, так и для ЭМГ. Как следствие этому нет повторений в движениях, например, в треморе, возникает эффект Еськова-Зинченко, когда все статистические функции непрерывно изменяются, а параметры КА (в одном гомеостазе) остаются неизменными. Физика живых (гомеостатических) систем имеет другие законы поведения вектора состояния  $x(t)$  в ФПС. Их динамика описывается параметрами КА.

#### **Литература**

1. Белощенко Д.В., Баженова А.Е., Щипицин К.П., Королев Ю.Ю. Эффект Еськова-Зинченко в организации произвольных движений человека в режиме повторения // Вестник новых медицинских технологий. – 2017. – Т. 24, № 1. – С. 29-35.
2. Белощенко Д.В., Башкатова Ю.В., Мирошниченко И.В., Воробьева Л.А. Проблема статистической неустойчивости кардиоинтервалов в получаемых подряд выборках неизменного гомеостаза в условиях Севера РФ // Вестник новых медицинских технологий. – 2017. – Т. 24, № 1. – С. 36-42.
3. Бодин О.Н., Нифонтова О.Л., Карбаинова Ю.В., Конькова К.С., Живаева Н.В. Сравнительный анализ показателей функциональной системы организма школьников Севера РФ // Вестник новых медицинских технологий. – 2017. – Т. 24, № 3. – С. 27-32.
4. Гавриленко Т.В., Якунин Е.В., Горбунов Д.В., Гимадиев Б.Р., Самсонов И.Н. Эффект Еськова-Зинченко в оценке параметров теппинга // Вестник новых медицинских технологий. – 2017. Т. 24, № 1. – С. 9-14.
5. Еськов В.М., Зинченко Ю.П., Филатов М.А., Иляшенко Л.К. Теорема Гленсдорфа - Пригожина в описании хаотической динамики тремора при холодовом стрессе // Экология человека. – 2017. – № 5. – С. 27-32.
6. Еськов В.М., Зинченко Ю.П., Филатова О.Е. Признаки парадигмы и обоснование третьей парадигмы в психологии // Вестник Московского университета.

Серия 14: Психология. – 2017. – № 1. – С. 3-17.

7. Еськов В.М., Филатова О.Е., Полухин В.В. Проблема выбора абстракций при применении биофизики в медицине // Вестник новых медицинских технологий. – 2017. – Т. 24, № 1. – С. 158-167.

8. Майстренко В.И., Майстренко Е.В. Динамика параметров квазиаттракторов вектора состояния организма педагогов при формировании симптомов фазы «резистенции» синдрома профессионального выгорания // Вестник новых медицинских технологий. – 2017. – Т. 24, № 1. – С. 21-28.

9. Филатова О.Е., Майстренко Е.В., Болтаев А.В., Газя Г.В. Влияние промышленных электромагнитных полей на динамику сердечно-сосудистых систем работников нефтегазового комплекса // Экология и промышленность России. – 2017. – Т. 21, № 7. – С. 46-51.

10. Шакирова Л.С., Филатова Д.Ю., Ворошилова О.М., Камалтдинова К.Р. Стохастический и хаотический анализ параметров сердечно-сосудистой системы школьников в условиях широтных перемещений // Вестник новых медицинских технологий. – 2017. – Т. 24, № 1. – С. 15-20.

11. Яхно В.Г., Белошенко Д.В., Баженова А.Е., Башкатова Ю.В. Парадокс Еськова-Филатовой в оценке параметров биосистем // Вестник новых медицинских технологий. – 2017. – Т. 24, № 3. – С. 20-26.

12. Eskov Valery M. Cyclic respiratory neuron network with subcycles // Neural Network World. – 1994. – Vol. 4 (4). – Pp. 403-416.

13. Eskov V.M., Filatova O.E., Ivashenko V.P. Computer identification of compartmental neuron circuits // Measurement Techniques. – 1994. – Vol. 37 (8). – Pp. 967-971.

14. Eskov, V.M. Hierarchical respiratory neuron networks // Modelling, Measurement and Control C. – 1995. – Vol. 48 (1-2). – Pp. 47-63.

15. Eskov V.M., Filatova O.E. Respiratory rhythm generation in rats: The importance of inhibition // Neurophysiology. – 1995. – Vol. 25 (6). – Pp. 348-353.

16. Eskov V.M., Filatova O.E., Popov Y.M. Computer identification of the optimum stimulus parameters in neurophysiology // International RNNs/IEEE Symposium on Neuroinformatics and Neurocomputers. – 1995. – Pp. 166-172.

17. Eskov V.M. Models of hierarchical respiratory neuron networks // Neurocomputing. – 1996. – Vol. 11 (2-4). – Pp. 203-226.

18. Eskov V.M., Filatova O.E. A compartmental approach in modeling a neuronal network. Role of inhibitory and excitatory processes // Biofizika. – 1999. – Vol. 44 (3). – Pp. 518-525.

19. Eskov V.M., Filatova O.E. Problem of identity of functional states of neuronal systems // Biofizika. – 2003. – Vol. 48 (3). – Pp. 526-534.

20. Eskov V.M., Eskov V.V., Gavrilenko T.V. and Vochmina Yu.V. Formalization of the Effect of “Repetition without Repetition” Discovered by N.A. Bernshtein // Biophysics. – 2017. – Vol. 62. – No. 1. – Pp. 143-150.

21. Eskov V.M., Eskov V.V., Vochmina Y.V., Gorbunov D.V., Ilyashenko L.K. Shannon entropy in the research on stationary regimes and the evolution of complexity // Moscow University Physics Bulletin. – 2017. – Vol. 72. – No. 3. – Pp. 309-317.

22. Eskov V.M., Filatova O.E., Eskov V.V. and Gavrilenko T.V. The Evolution of the Idea of Homeostasis: Determinism, Stochastics and Chaos–Self-Organization // Biophysics. – 2017. – Vol. 62. – No. 5. – Pp. 809-820.

23. Eskov V.M., Gudkov A.B., Bazhenova A.E., Kozupitsa G.S. The tremor parameters of female with different physical training in the Russian North // Human Ecology. – 2017. – No. 3. – Pp. 38-42.

24. Eskov V.V., Filatova O.E., Gavrilenko T.V. and Gorbunov D.V. Chaotic Dynamics of Neuromuscular System Parameters and the Problems of the Evolution of Complexity // Biophysics. – 2017. – Vol. 62. – No. 6. – Pp. 961-966.

25. 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.

26. Filatova D.U., Veraksa A.N., Berestin D.K., Streltsova T.V. Stochastic and chaotic assessment of human's neuromuscular system in conditions of cold exposure // *Human Ecology*. – 2017. – No. 8. – Pp. 15-20.

27. Filatova O.E., Eskov V.V., Filatov M.A., Ilyashenko L.K. Statistical instability phenomenon and evaluation of voluntary and involuntary movements // *Russian Journal of Biomechanics*. – 2017. – Vol. 21. – No. 3. – Pp. 224-232.

28. Prigogine I.R. *The End of Certainty: Time, Chaos, and the New Laws of Nature*; Free Press, 1997.

29. Zilov V.G., Khadartsev A.A., Eskov V.V. and Eskov V.M. Experimental Study of Statistical Stability of Cardiointerval Samples // *Bulletin of experimental biology and medicine*. – 2017. – Vol. 164. – No. 2. – Pp. 115-117.

### Reference

1. Beloshchenko D.V., Bazhenova A.E., Shchipitsin K.P., Korolev Yu.Yu. Effekt Es'kova-Zinchenko v organizatsii neproizvol'nykh dvizhenii cheloveka v rezhime povtoreniya [Eskov-Zinchenko effect: human involuntary movements organization during repetitions] // *Vestnik novykh meditsinskikh tekhnologii* [Journal of new medical technologies]. – 2017. – T. 24, № 1. – S. 29-35.

2. Beloshchenko D.V., Bashkatova Yu.V., Mirosnichenko I.V., Vorob'eva L.A. Problema statisticheskoi neustoichivosti kardiointervalov v poluchaemykh podryad vyborkakh neizmennogo gomeostaza v usloviyakh Severa RF [Problem of statistical instability in samples of rr intervals recorded consecutively during constant homeostasis in conditions of the Russian North] // *Vestnik novykh meditsinskikh tekhnologii* [Journal of new medical technologies]. – 2017. – T. 24, № 1. – S. 36-42.

3. Bodin O.N., Nifontova O.L., Karbainova Yu.V., Kon'kova K.S., Zhivaeva N.V. Sravnitel'nyi analiz pokazatelei funktsional'noi sistemy organizma shkol'nikov Severa RF [Comparative analysis of the indicators of the functional system of the organism of schoolboys of the north of the russian federation] // *Vestnik novykh med-*

*itsinskikh tekhnologii* [Journal of new medical technologies]. – 2017. – T. 24. № 3. – S. 27-32.

4. Gavrilenko T.V., Yakunin E.V., Gorbunov D.V., Gimadiev B.R., Samsonov I.N. Effekt Es'kova-Zinchenko v otsenke parametrov teppinga [Eskov-Zinchenko effect in the estimation of tapping parameters] // *Vestnik novykh meditsinskikh tekhnologii* [Journal of new medical technologies]. – 2017. T. 24, № 1. – S. 9-14.

5. Es'kov V.M., Zinchenko Yu.P., Filatov M.A., Ilyashenko L.K. Teorema Glensdorfa - Prigozhina v opisani khaoticheskoi dinamiki tremora pri kholodovom stresse [Theorem Glansdorff-Prigogine in the description of chaotic dynamics tremor in cold stress] // *Ekologiya cheloveka* [Human ecology]. – 2017. – № 5. – S. 27-32.

6. Es'kov V.M., Zinchenko Yu.P., Filatova O.E. Priznaki paradigmy i obosnovanie tret'ei paradigmy v psikhologii [Indications of paradigm and justification of the third paradigm in psychology] // *Vestnik Moskovskogo universiteta. Seriya 14: Psikhologiya* [Moscow University Psychology Bulletin]. – 2017. – № 1. – S. 3-17.

7. Es'kov V.M., Filatova O.E., Polukhin V.V. Problema vybora abstraktsii pri primeneni biofiziki v meditsine [Problem of a choice of abstractions: application the biophysics in medicine] // *Vestnik novykh meditsinskikh tekhnologii* [Journal of new medical technologies]. – 2017. – T. 24, № 1. – S. 158-167.

8. Maistrenko V.I., Maistrenko E.V. Dinamika parametrov kvaziattraktorov vektora sostoyaniya organizma pedagogov pri formirovani simptomov fazy «rezistentsii» sindroma professional'nogo vygoraniya [1-11,29] // *Vestnik novykh meditsinskikh tekhnologii* [Journal of new medical technologies]. – 2017. – T. 24, № 1. – S. 21-28.

9. Filatova O.E., Maistrenko E.V., Boltaev A.V., Gazya G.V. Vliyanie promyshlennykh elektromagnitnykh polei na dinamiku serdechno-sosudistykh sistem rabotnits neftegazovogo kompleksa [The influence of industrial electromagnetic fields on cardiorespiratory systems dynamics of oil-gas industry complex female workers] // *Ekologiya i promyshlennost' Rossii* [Ecology and Indus-

try of Russia]. – 2017. – Т. 21, № 7. – С. 46-51.

10. Shakirova L.S., Filatova D.Yu., Voroshilova O.M., Kamaltdinova K.R. Stokhasticheskiy i khaoticheskiy analiz parametrov serdechno-sosudistoi sistemy shkol'nikov v usloviyakh shirotnykh peremeshchenii [Stochastic and chaotic analysis of parameters of cardiovascular system in the students in terms of latitudinal displacement] // Vestnik novykh meditsinskikh tekhnologii [Journal of new medical technologies]. – 2017. – Т. 24, № 1. – С. 15-20.

11. Yakhno V.G., Beloshchenko D.V., Bazhenova A.E., Bashkatova Yu.V. Paradoks Es'kova-Filatovoi v otsenke parametrov biosistem [Chaotic dynamics of electroencefalogramm] // Vestnik novykh meditsinskikh tekhnologii [Journal of new medical technologies]. – 2017. – Т. 24, № 3. – С. 20-26.

12. Eskov Valery M. Cyclic respiratory neuron network with subcycles // Neural Network World. – 1994. – Vol. 4 (4). – Pp. 403-416.

13. Eskov V.M., Filatova O.E., Ivashenko V.P. Computer identification of compartmental neuron circuits // Measurement Techniques. – 1994. – Vol. 37 (8). – Pp. 967-971.

14. Eskov V.M. Hierarchical respiratory neuron networks // Modelling, Measurement and Control C. – 1995. – Vol. 48 (1-2). – Pp. 47-63.

15. Eskov V.M., Filatova O.E. Respiratory rhythm generation in rats: The importance of inhibition // Neurophysiology. – 1995. – Vol. 25 (6). – Pp. 348-353.

16. Eskov V.M., Filatova O.E., Popov Y.M. Computer identification of the optimum stimulus parameters in neurophysiology // International RNNS/IEEE Symposium on Neuroinformatics and Neurocomputers. – 1995. – Pp. 166-172.

17. Eskov V.M. Models of hierarchical respiratory neuron networks // Neurocomputing. – 1996. – Vol. 11 (2-4). – Pp. 203-226.

18. Eskov V.M., Filatova O.E. A compartmental approach in modeling a neuronal network. Role of inhibitory and excitatory processes // Biofizika. – 1999. – Vol. 44 (3). – Pp. 518-525.

19. Eskov V.M., Filatova O.E. Problem of identity of functional states of neuronal systems // Biofizika. – 2003. – Vol. 48 (3). – Pp. 526-534.

20. Eskov V.M., Eskov V.V., Gavrilenko T.V. and Vochmina Yu.V. Formalization of the Effect of “Repetition without Repetition” Discovered by N.A. Bernshtein // Biophysics. – 2017. – Vol. 62. – No. 1. – Pp. 143-150.

21. Eskov V.M., Eskov V.V., Vochmina Y.V., Gorbunov D.V., Ilyashenko L.K. Shannon entropy in the research on stationary regimes and the evolution of complexity // Moscow University Physics Bulletin. – 2017. – Vol. 72. – No. 3. – Pp. 309-317.

22. Eskov V.M., Filatova O.E., Eskov V.V. and Gavrilenko T.V. The Evolution of the Idea of Homeostasis: Determinism, Stochastics and Chaos–Self-Organization // Biophysics. – 2017. – Vol. 62. – No. 5. – Pp. 809-820.

23. Eskov V.M., Gudkov A.B., Bazhenova A.E., Kozupitsa G.S. The tremor parameters of female with different physical training in the Russian North // Human Ecology. – 2017. – No. 3. – Pp. 38-42.

24. Eskov V.V., Filatova O.E., Gavrilenko T.V. and Gorbunov D.V. Chaotic Dynamics of Neuromuscular System Parameters and the Problems of the Evolution of Complexity // Biophysics. – 2017. – Vol. 62. – No. 6. – Pp. 961-966.

25. 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.

26. Filatova D.U., Veraksa A.N., Berestin D.K., Streltsova T.V. Stochastic and chaotic assessment of human's neuromuscular system in conditions of cold exposure // Human Ecology. – 2017. – No. 8. – Pp. 15-20.

27. Filatova O.E., Eskov V.V., Filatov M.A., Ilyashenko L.K. Statistical instability phenomenon and evaluation of voluntary and involuntary movements // Russian Journal of Biomechanics. – 2017. – Vol. 21. – No. 3. – Pp. 224-232.

28. Prigogine I.R. The End of Certainty: Time, Chaos, and the New Laws of Nature; Free Press, 1997.

29. Zilov V.G., Khadartsev A.A., Eskov V.V. and Eskov V.M. Experimental Study of Statistical Stability of Cardiointerval Samples // Bulletin of experimental biology and medicine. – 2017. – Vol. 164. – No. 2. – Pp. 115-117.

30.