

III. МАТЕМАТИКА В ОПИСАНИИ ХАОСА И СИНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМ

DOI: 10.12737/2306-174X-2021-52-59

МОДЕЛИРОВАНИЕ НЕЙРОСЕТЕЙ МОЗГА С ПОЗИЦИЙ ГИПОТЕЗЫ W. WEAVER

В.В. КОЗЛОВА², В.А. ГАЛКИН¹, М.А. ФИЛАТОВ², В.М. ЕСЬКОВ¹

¹ФГУ «ФНЦ Научно-исследовательский институт системных исследований Российской академии наук». Обособленное подразделение «ФНЦ НИИСИ РАН» в г. Сургуте, ул. Базовая, 34, Сургут, Россия, 628400

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

Аннотация. Современные науки о мозге базируются на стохастическом изучении работы нейросетей мозга или отдельных нейронов. При этом в neuroscience господствует догма о статистическом повторении любых выборок параметров нейросетей. Однако, ещё в 1948 году W. Weaver вывел все живые системы за пределы стохастики. В настоящее время доказан эффект Еськова-Зинченко в биомеханике, который распространяется и на биоэлектрическую активность мозга. В итоге возникает большая проблема точной оценки электроэнцефалограмм, которые в том числе используются и в системе «человек-машина». Предлагается аналог принципа Гейзенберга в виде расчета параметров псевдоаттракторов.

Ключевые слова: стохастика, хаос, неопределенность, сложность, эффект Еськова-Зинченко.

NEURAL NETWORKS MODELING IN TERMS OF W. WEAVER HYPOTHESIS

V.V. KOZLOVA², V.A. GALKIN¹, M.A. FILATOV², V.M. ESKOV¹

¹Federal Science Center Scientific-research Institute for System Studies of the Russian Academy of Sciences, Bazovaya st, 34, Surgut, Russia, 628400

²Surgut state University, Lenin pr., 1, Surgut, Russia, 628400

Abstract. Modern sciences studying the brain are based on the stochastic study of the function of the brain's neural networks or individual neurons. At the same time, neuroscience is dominated by the dogma of statistical repetition of any neural network parameters samples. However, back in 1948 W. Weaver brought all living systems beyond stochastics. Currently, the Eskov-Zinchenko effect in biomechanics has been proven, which also applied to the bioelectric activity of the brain. As a result, a big problem arises in the accurate assessment of electroencephalograms, which are also used in the "man-machine" system. An analogue of the Heisenberg principle in the form of calculating the parameters of pseudo-attractors is proposed.

Key words: stochastics, chaos, uncertainty, complexity, Eskov-Zinchenko effect.

Введение. Современные Neuroscience активно используют различные методы стохастики. Начиная с расчёта статистических функций распределения $f(x)$, спектральных плотностей сигнала (СПС), автокорреляций АК и заканчивая методами теории фракталов, теории игр и других наук. Во всех этих случаях, фактически, используются статистические методы анализа электроэнцефалограмм (ЭЭГ).

Статистический анализ ЭЭГ активно используется в системах «человек-машина», в виртуальной реальности и во многих других новых направлениях биологических, медицинских и кибернетических наук. Однако, при этом остается без внимания один существенный вопрос: насколько будут статистически устойчивы получаемые выборки ЭЭГ, электронейрограмм (ЭНГ) и других параметров, которые широко используются в Neuroscience. Можно ли

вообще использовать методы стохастики в науках о мозге человека?

Напомним, что ещё в 1947 году один из основоположников теории информации W. Weaver выдвинул гипотезу об особых системах третьего типа - СТТ (живых системах), которые не являются объектом современной детерминистской и стохастической науки (ДСН) [34]. За последние 20 лет эта гипотеза была доказана в виде эффекта Еськова-Зинченко (ЭЗ), сначала в биомеханике, а затем в других разделах физиологии и медицины [3, 4, 8, 16, 23, 25, 26, 28, 30, 31, 33, 35, 36]. В этой связи возникают определённые перспективы в Neuroscience при анализе ЭЭГ [1, 2, 4, 7, 8, 10, 14, 23, 29].

1. Статистическая неустойчивость выборок биосистем.

Более 70 лет назад W. Weaver вывел все живые системы за пределы детерминистских и стохастических наук (ДСН). Он их определил как СТТ, которые должны описываться в рамках другой (новой) науки [34]. Однако, за эти 70 лет такая наука пока не возникла, а также работа W. Weaver [34] не получила всеобщего признания. В качестве такой науки мы сейчас предлагаем теорию хаоса-самоорганизации (ТХС), в которой доказано отсутствие статистической устойчивости выборок различных параметров биосистем [2-5, 7-11, 12-16, 21-23, 27].

В первую очередь это относится к биомеханическим системам, так как ЭЗ

исходно был доказан в биомеханике [2, 4, 5, 7-15, 20, 22, 23, 24, 27, 32]. ЭЗ доказывал в биомеханике гипотезу Н.А. Бернштейна о «повторении без повторений». Эта гипотеза потребовала проверки повторяемости выборок треморограмм (ТМГ) и теппинграмм (ТПГ) [2, 4, 5, 7-15, 20, 22, 23, 24, 27, 32]. Позже такой ЭЗ был доказан в анализе параметров работы сердца (на примере кардиоинтервалов - КИ) [3, 4, 8, 16, 23, 25, 26, 28, 30, 31, 33, 35, 36] и в работе мышц [2, 4-15, 20-23, 24, 27, 32].

В последние годы ЭЗ был доказан и в организации работы нейросетей мозга [1, 2, 4, 7, 8, 10, 14, 23, 29]. Такое доказательство можно выполнить в любой нейрофизиологической лаборатории, если подряд у одного и того же испытуемого зарегистрировать (с одной и той же поверхности мозга) ЭЭГ, и затем эти выборки попарно сравнить. Обычно это сравнение мы реализуем в виде матриц парных сравнений выборок параметров организма.

Для примера мы предлагаем типовую матрицу парных сравнений выборок 15-ти ЭЭГ для одного испытуемого (в спокойном состоянии, релаксация, сидя) в виде табл.1. Здесь элементы этой матрицы представляют вероятность P_{ij} статистического совпадения i -й и j -й выборок ЭЭГ. Всего таких пар сравнения в табл.1 мы имеем 105, но только небольшая часть из них имеет $P_{ij} \geq 0,05$. Например, в табл.1 число таких пар K (для них $P_{ij} \geq 0,05$) невелико: $K_I=33$.

Таблица 1

Матрица парных сравнений параметров ЭЭГ одного и того же здорового человека (15 выборок ЭЭГ подряд) без воздействий (канал Т6- Ref, число совпадений $k_I=33$)

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1		0.00	0.32	0.05	0.10	0.64	0.01	0.55	0.00	0.28	0.31	0.00	0.90	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	0.58
3	0.32	0.00		0.75	0.00	0.03	0.67	0.19	0.00	0.01	0.30	0.02	0.10	0.00	0.00
4	0.05	0.00	0.75		0.00	0.07	0.83	0.00	0.00	0.00	0.06	0.03	0.04	0.00	0.00
5	0.10	0.00	0.00	0.00		0.00	0.00	0.41	0.38	0.66	0.03	0.00	0.21	0.00	0.00
6	0.64	0.00	0.03	0.07	0.00		0.21	0.86	0.00	0.21	0.52	0.00	0.66	0.00	0.00
7	0.01	0.00	0.67	0.83	0.00	0.21		0.02	0.00	0.00	0.01	0.19	0.00	0.00	0.00
8	0.55	0.00	0.19	0.00	0.41	0.86	0.02		0.08	0.93	0.15	0.00	0.97	0.00	0.00
9	0.00	0.00	0.00	0.00	0.38	0.00	0.00	0.08		0.06	0.00	0.00	0.07	0.00	0.01
10	0.28	0.00	0.01	0.00	0.66	0.21	0.00	0.93	0.06		0.00	0.00	0.36	0.00	0.00
11	0.31	0.00	0.30	0.06	0.03	0.52	0.01	0.15	0.00	0.00		0.00	0.05	0.00	0.00
12	0.00	0.00	0.02	0.03	0.00	0.00	0.19	0.00	0.00	0.00	0.00		0.00	0.00	0.00
13	0.90	0.00	0.10	0.04	0.21	0.66	0.00	0.97	0.07	0.36	0.05	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	0.58	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	

Остальные пары ЭЭГ имеют $P_{ij} \leq 0,05$ и это означает, что эти две выборки не могут иметь одну (общую) генеральную совокупность. Они статистически различаются, в итоге мы имеем очень низкий процент статистических совпадений выборок ЭЭГ. Напомним, что в статистике оно составляет не менее 95% совпадений. Иначе статистика не работает, а у нас для ЭЭГ обычно число K пар, для которых $P_{ij} \geq 0,05$, не превышает 35%.

Все остальные выборки статистически не совпадают. Подчеркнем, что таких подобных табл. 1 нами было получено более ста и во всех матрицах парных сравнений выборок ЭЭГ (для данного испытуемого) мы имеем $K \leq 35\%$. Всё это доказывает крайне низкую эффективность использования статистических методов в анализе ЭЭГ и нейросетей [18-20].

2. Новые методы диагностики состояния биосистем.

Поскольку ЭЭЗ был доказан и для нейросетей мозга (НСМ) человека, который находится в одном, неизменном физиологическом состоянии (в данном случае речь идет о релаксации), то возникает глобальная проблема для всей Neuroscience: как измерять и диагностировать стационарные (неизменные) состояния мозга? Одновременно возникает и вторая глобальная проблема: как диагностировать изменение в НСМ [1, 2, 4, 7, 8, 10, 14, 23, 29]?

Подчеркнем, что табл.1 и сотни других подобных матриц парных сравнений выборок ЭЭГ демонстрируют непрерывный и хаотический калейдоскоп параметров ЭЭГ. Какую из выборок ЭЭГ (у нас их 15) брать за основу, какая из 15-ти выборок реально описывает релаксацию мозга человека? Очевидно, что низкие значения K в табл.1 доказывают потерю причинно-следственных связей в НСМ. Прошлая выборка ЭЭГ не может характеризовать будущее состояние НСМ.

Как вообще мы можем тогда диагностировать изменчивость состояния НСМ или зарегистрировать реальные изменения в НСМ (если они непрерывно и

хаотически изменяются)? Очевидно, что для ЭЭГ нет детерминистского понимания стационарного режима (в виде $dx_1/dt=0$ и $x_1=\text{const}$, где $x_1=x_1(t)$ - величина биопотенциалов мозга, его ЭЭГ). Нет и стохастического стационарного режима, т.к. все выборки непрерывно и хаотически изменяются. В рамках новой науки – теории хаоса-самоорганизации (ТХС) мы вводим и аналог принципа Гейзенберга [2, 4, 5, 7-15, 20, 22, 23, 24, 27, 32].

Для переменной $x_1(t)$, в виде ЭЭГ мы находим её производную $x_2=dx_1/dt$ и на фазовой плоскости вектора $x=(x_1, x_2)^T$ строим фазовые траектории этого вектора $x(t)$. В итоге мы получаем фазовый портрет для ЭЭГ, который как мы это доказывали в ТХС, является реальной характеристикой состояния НСМ. Оказалось, что при релаксации площадь прямоугольника $S=\Delta x_1 \Delta_2$, где Δx_1 - вариационный размах для x_1 , а Δ_2 – размах для x_2 , будет статистически неизменной величиной для данного испытуемого.

Подчеркнем, что в рамках расчета матриц парных сравнений выборок ЭЭГ, величина K тоже может характеризовать норму и патологию, например, у больного эпилепсией величина K_2 резко возрастает, достигая 80-99%. Это K четко показывает, чем больной эпилепсией отличается от здорового человека (оба в спокойном состоянии). Для примера дана табл.2, где $K_2=103$.

Однако, ещё более характерные изменения происходят со значениями площади псевдоаттрактора (ПА) S , внутри которой находится фазовый портрет данного испытуемого. Например, было установлено, что при внешней фотостимуляции зрительного анализатора (с частотой мельканий $\nu=10$ Гц) у здорового человека площадь S для ПА уменьшается, а для больного эпилепсией S резко нарастает. Иными словами, S позволяет регистрировать изменения функций НСМ.

Например, в табл. 3 мы представляем для сравнения выборки S для ПА здорового человека (S_1^N) и больного человека S_1^P в спокойном состоянии. Очевидно, что

среднее значение $\langle S_1^P \rangle = 4759$ у.е. и ($\langle S_1^P \rangle = 572470$ у.е.) резко отличаются. Это среднее значение S_1^P для больного демонстрируется в таблице 3.

Таблица 2

Матрица парных сравнений параметров ЭЭГ одного и того же больного эпилепсией человека (15 выборок ЭЭГ подряд) без воздействий (канал Т4-Т6, число совпадений $K_2=103$)

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1		0.02	0.03	0.82	0.90	0.43	0.48	0.53	0.5	0.55	0.55	0.59	0.54	0.51	0.51
2	0.02		0.60	0.33	0.30	0.89	0.91	0.91	0.96	0.95	0.92	0.88	0.91	0.94	0.93
3	0.03	0.60		0.09	0.06	0.42	0.48	0.49	0.6	0.63	0.65	0.67	0.67	0.66	0.62
4	0.82	0.33	0.09		0.86	0.45	0.55	0.68	0.63	0.67	0.7	0.74	0.74	0.72	0.75
5	0.90	0.30	0.06	0.86		0.03	0.19	0.36	0.37	0.47	0.52	0.6	0.61	0.61	0.59
6	0.43	0.89	0.42	0.45	0.03		0.98	1	0.81	0.91	0.93	0.99	0.95	0.93	0.96
7	0.48	0.91	0.48	0.55	0.19	0.98		0.85	0.82	0.92	0.93	0.98	0.95	0.92	0.97
8	0.53	0.91	0.49	0.68	0.36	1	0.85		0.57	0.78	0.82	0.89	0.87	0.88	0.95
9	0.50	0.96	0.60	0.63	0.37	0.81	0.82	0.57		0.91	1	0.93	1	1	0.95
10	0.55	0.95	0.63	0.67	0.47	0.91	0.92	0.78	0.91		0.9	0.95	0.98	1	0.93
11	0.55	0.92	0.65	0.70	0.52	0.93	0.93	0.82	1	0.9		0.81	0.96	1	0.96
12	0.59	0.88	0.67	0.74	0.60	0.99	0.98	0.89	0.93	0.95	0.81		0.91	0.92	0.97
13	0.54	0.91	0.67	0.74	0.61	0.95	0.95	0.87	1	0.98	0.96	0.91		0.93	0.99
14	0.51	0.94	0.66	0.72	0.61	0.93	0.92	0.88	1	1	1	0.92	0.93		0.86
15	0.51	0.93	0.62	0.75	0.59	0.96	0.97	0.95	0.95	0.93	0.96	0.97	0.99	0.86	

Таблица 3

Значение площадей псевдоаттракторов S выборок электроэнцефалограмм здорового человека и человека больного эпилепсией в период релаксации

	Здоровый человек	Человек больной эпилепсией
	S_1^N , в период релаксации	S_1^P , в период релаксации
1	6240	664058
2	3595	626364
3	3494	866433
4	3430	737606
5	2983	568073
6	3338	516819
7	6834	504262
8	7986	508445
9	4508	509555
10	2533	512527
11	4244	512692
12	4178	511651
13	4933	514056
14	4810	520925
15	8282	513591
$\langle S \rangle$	4759	572470

Эти величины чётко показывают различия в параметрах ЭЭГ (на фазовой плоскости вектора $x(t) = (x_1, x_2)^T$) между больным и здоровым человеком.

Фактически, на основе расчёта параметров ПА, мы имеем сейчас точные модели для диагностики состояний

человека (в норме, при заболевании, при переходе из одного психического состояния в другое). Аналог принципа Гейзенберга, когда на фазовую координату $x_1(t)$ и $x_2 = dx_1/dt$ накладываются ограничения в виде неравенств, позволяет нам идентифицировать стационарные

режимы НСМ (по параметрам ЭЭГ) или изменения в состоянии НСМ для одного и того же человека или для целой группы испытуемых.

Таблица 3 чётко показывает различие в параметрах ЭЭГ для здорового человека (S_1^N) и для больного эпилепсией. В рамках стохастики такие различия выполнить невозможно. Из-за ЭЭЗ мы наблюдаем непрерывные и хаотические изменения выборок ЭЭГ (см. табл.1). В итоге, мы сейчас приходим к новому пониманию стационарных режимов НСМ или их реальных изменений (см. табл.1 и табл.2).

Обсуждение. Более 70 лет назад один из основоположников теории информации W. Weaver представил общую классификацию всех систем природы. При этом все живые системы он вынес за пределы детерминистской и стохастической науки (ДСН). Фактически он декларировал бесполезность стохастики в описании любых биосистем. Через 50 лет научным школам г. Сургута, Москвы, Тулы и Самары удалось доказать, что гипотеза W. Weaver о системах третьего типа (СТТ) имеет реальное количественное обоснование. В режиме многократных повторений регистраций ТМГ, ТПГ был доказан ЭЭЗ. Позже этот ЭЭЗ был распространён на кардиоинтервалы (КИ), электромиограммы (ЭМГ) и другие параметры организма человека.

Работа мозга оставалась последней областью, где стохастика продолжала активно использоваться. Все *Neuroscience* сейчас базируются на стохастических методах исследований. Однако, доказательство статистической неустойчивости выборок ЭЭГ заканчивает дальнейшее применение стохастики во всех нейронауках. Если любая выборка уникальна, то мы не можем использовать стохастику в изучении НСМ.

Необходимо создание общих моделей и других теорий в описании мозга человека. Мозг демонстрирует статистический хаос и он требует новой теории в его изучении. Диагностика НСМ сейчас может базироваться на расчётах матриц парных сравнений выборок ЭЭГ (см. табл. 1 и

табл.2) или на расчёте параметров псевдоаттракторов, их S .

В итоге, мы получаем более точные динамические методы в оценке нормы и патологии в состоянии мозга человека.

Выводы. Основываясь на гипотезе W. Weaver о СТТ, которые не могут быть объектом ДСН, мы доказываем статистическую неустойчивость биоэлектрической активности мозга (в виде анализа ЭЭГ). Оказалось, что НСМ генерируют непрерывно изменяющиеся выборки ЭЭГ, которые даже в спокойном состоянии у здорового испытуемого (релаксация) не могут показывать статистическое совпадение выборок ЭЭГ. Это доказывает отсутствие статистической устойчивости ЭЭГ, т.е. ЭЭЗ.

Однако, расчёт матриц парных сравнений выборок ЭЭГ здорового и больного человека демонстрирует их существенное различие по значениям чисел K (пар выборок с критерием Вилкоксона $P_{ij} \geq 0,05$). Это означает, что числа K могут обеспечить диагностику НСМ. Из-за ЭЭЗ мы вводим понятие площади псевдоаттрактора S для ЭЭГ, которые в двумерном фазовом пространстве состояний вектора $x(t)=(x_1, x_2)^T$ могут количественно характеризовать состояние НСМ. В итоге мы приходим к новому пониманию специфики хаоса в НСМ и к новым методам идентификации (диагностики) состояний сложного динамического объекта – мозга человека. Предлагается новый метод анализа биоэлектрической активности мозга, как сложного физического объекта.

Литература

- 1 Галкин В.А., Еськов В.В., Пятин В.Ф., Кирасирова Л.А., Кульчицкий В.А. Существует ли стохастическая устойчивость выборок в нейронауках? // Новости медико-биологических наук. – 2020. – Т.20, №3. – С.126-132.
- 2 Еськов В.В. Математическое моделирование гомеостаза и эволюции *complexity*: монография. Тула: Издательство ТулГУ, 2016. 307 с.
- 3 Еськов В.В., Пятин В.Ф., Филатова Д.Ю., Башкатова Ю.В. Хаос параметров

- гомеостаза сердечно-сосудистой системы человека. / Самара: Изд-во ООО «Порто-Принт», 2018., 312 с.
- 4 Еськов В.В., Пятин В.Ф., Шакирова Л.С., Мельникова Е.Г. Роль хаоса в регуляции физиологических функций организма. / Под ред. А.А. Хадарцева. Самара: ООО «Порто-принт», 2020. - 248 с.
 - 5 Еськов В.В., Башкатова Ю.В., Шакирова Л.С., Веденева Т.С., Мордвинцева А.Ю. Проблема стандартов в медицине и физиологии. // Архив клинической медицины. – 2020. – Т.29, №3. – С. 211-216.
 - 6 Еськов В.М., Зинченко Ю.П., Филатов М.А., Еськов В.В. Эффект Еськова-Зинченко опровергает представления I.R. Prigogine, J.A. Wheeler и M. Gell-Mann о детерминированном хаосе биосистем – complexity // Вестник новых медицинских технологий. 2016. Т. 23. № 2. С. 34-43.
 - 7 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.
 - 8 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.
 - 9 Еськов В.М., Пятин В.Ф., Еськов В.В., Миллер А.В., Веденев В.В. Существуют ли отличия между произвольными и непроизвольными движениями? // Вестник новых медицинских технологий. – 2020. – Т. 27. – № 3. – С. 88-91.
 - 10 Еськов В.М., Галкин В.А., Пятин В.Ф., Филатов М.А. Организация движений: стохастика или хаос? / Под. ред. член-корр. РАН, д.биол.н., профессора Г.С. Розенберга. Самара: Издательство ООО «Порто-принт», 2020. - 144 с.
 - 11 Еськов В. М., Пятин В.Ф., Башкатова Ю.В. Медицинская и биологическая кибернетика: перспективы развития. // Успехи кибернетики. – 2020. – Т.1, №1 – С.64-72.
 - 12 Розенберг Г.С., Полухин В.В., Попов Ю.М., Сазонова Н.В., Салимова Ю.В. Представления W. Weaver и теории хаоса-самоорганизации о системах третьего типа // Сложность. Разум. Постнеклассика. – 2020. – № 3. – С. 14-23.
 - 13 Филатов М.А., Прохоров С.А., Ивахно Н.В., Головачева Е.А., Игнатенко А.П. Возможности моделирования статистической неустойчивости выборок в физиологии. // Вестник новых медицинских технологий. – 2020. – Т. 27. – № 2. – С.120-124.
 - 14 Хадарцев А.А., Зинченко Ю.П., Галкин В.А., Шакирова Л.С. Эргодичность систем третьего типа. // Сложность. Разум. Постнеклассика. – 2020. – № 1. – С.67-75.
 - 15 Хадарцев А.А., Пятин В.Ф., Еськов В.В., Веденева Т.С., Игнатенко А.П. Реализация гипотезы Н.А. Бернштейна о «повторении без повторений» // Сложность. Разум. Постнеклассика. – 2020. – № 3. – С. 24-30.
 - 16 Bashkatova Yu. V., Filatov M. A., Shakirova L. S. State of athletes' cardiovascular system under physical load in the Russian North. // Human Ecology. – 2020. – №6 – Pp. 41-45.
 - 17 Bernstein N.A. The coordination and regulation of movements // Oxford, New York, Pergamon Press. 1967. 196 p.
 - 18 Brown R., Macefield V.G. Skin sympathetic nerve activity in humans during exposure to emotionally-charged images: sex differences // Frontiers in Physiology. – 2014. – V. 5. – P. 111.
 - 19 Chan N., Choy C. Screening for atrial fibrillation in 13 122 Hong Kong citizens with smartphone electrocardiogram // Heart. – 2017. – Vol. 103. – Pp. 24-31.
 - 20 Eskov V.M., Eskov V.V., Vochmina Y.V., Gorbunov D.V., Pilyashenko L.K. Shannon entropy in the research on stationary regimes and the evolution of complexity // Moscow University Physics Bulletin. – 2017. – Vol. 72(3). – Pp. 309-317.

- 21 Eskov, V.M., Filatova, O.E., Eskov, V.V., Gavrilenko, T.V. The evolution of the idea of homeostasis: Determinism, stochastics, and chaos–self-organization // *Biophysics*. – 2017. – 62(5). – Pp. 809-820.
- 22 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 // *Ekologiya cheloveka [Human Ecology]*. – 2017. – No. 5. – Pp. 27-32.
- 23 Eskov V.V., Filatova D.Y., Ilyashenko L.K., Vochmina Y.V. Classification of uncertainties in modeling of complex biological systems // *Moscow university physics bulletin*. 2019. Vol. 74(1). Pp. 57-63.
- 24 Eskov, V.M. Gudkov, A.B., Filatov, M.A. Eskov, V.V. Principles of homeostatic regulation of functions in human ecology // *Ekologiya cheloveka [Human Ecology]*. – 2019. – №10 –Pp. 41-49.
- 25 Filatov M.A., Ilyashenko L.K., Kolosova A.I., Makeeva S.V. Stochastic and chaotic analysis of students' attention parameters of different ecological zones. // *Ekologiya cheloveka [Human Ecology]*. – 2019. – №7 –Pp. 11-16.
- 26 Filatova D.Yu., Bashkatova Yu.V., Melnikova E.G., Shakirova L.S. Homogeneity of the parameters of the cardiointervals in school children after north-south travel. // *Ekologiya cheloveka [Human Ecology]*. – 2020. – №1 – Pp. 6-10.
- 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 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 // *Ekologiya cheloveka [Human Ecology]*. – 2019. – №5. – Pp.43-48.
- 29 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* 1047 (2021) 012099 doi:10.1088/1757-899X/1047/1/012099
- 30 Filatova O.E., Pyatin V.F., Filatov M.A., Shakirova L.S. The low temperature influence on cardiointervals under physical training of man // *Ekologiya cheloveka [Human Ecology]*. – 2021. – №1 – Pp.17-21.
- 31 Khadartseva K. A., Filatov M. A., Melnikova E. G. The problem of homogenous sampling of cardiovascular system parameters among migrants in the Russian North. // *Ekologiya cheloveka [Human Ecology]*. – 2020. – №7 – Pp. 27-31.
- 32 Khadartsev A.A., Eskov V.V., Pyatin V.F., Filatov M.A. The Use of Tremorography for the assessment of motor functions // *Biomedical engineering*. – 2021. – Vol. 54, No. 6. – Pp. 388-392.
- 33 Leonov B. I., Grigorenko V. V., Eskov V. M., Khadartsev A. A., Ilyashenko L. K. Automation of the diagnosis of age-related changes in parameters of the cardiovascular system. // *Biomedical Engineering*. – 2018. – Vol. 52, No. 3. – Pp. 210-214
- 34 Weaver W. *Science and Complexity* // *American Scientist*. – 1948. – Vol. 36, №4. – Pp. 536-544.
- 35 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 (4). – Pp. 415–418.
- 36 Zilov V. G., Khadartsev A. A., Eskov V. M., Ilyashenko L. K. New effect in physiology of human nervous muscle system // *Bulletin of experimental biology and medicine*. – 2019. – Vol. 167 (4). – Pp. 419-423

References

- 1 Galkin V.A., Es`kov V.V., Pyatin V.F., Kirasirova L.A., Kul`chiczkiy V.A. Sushhestvuet li stoxasticheskaya

- ustojchivost` vy`borok v nejronaukax? [Is there a stochastic stability of samples in neuroscience?] // *Novosti mediko-biologicheskix nauk* [News of medical and biological sciences]. – 2020. – Vol.20, №3. – S.126-132.
- 2 Es'kov V.V. *Matematicheskoe modelirovanie gomeostaza i ehvolyucii complexity: monografiya*. Tula: izd-vo TulGU, 2016. – 307 s.
 - 3 Eskov V.V., Pyatin V.F., Filatova D.Yu. Bashkatova Yu.V. *Xaos parametrov gomeostaza serdechno-sosudistoj sistemy cheloveka* [Chaos of parameters of homeostasis of the human cardiovascular system]. / Samara: «Porto-print», 2018., 312 s.
 - 4 Eskov V.V., Pyatin V.F., Shakirova L.S., Melnikova E.G. *Rol' xaos v reguljacii fiziologicheskix funkcij organizma*. [The role of chaos in the regulation of physiological functions of the body]. / Samara: «Porto-print», 2020.
 - 5 Eskov V.V., Bashkatova Yu.V., Shakirova L.S., Vedeneva T.S., Mordvinceva A.Yu. *Problema standartov v medicine i fiziologii* [The problem of standards in medicine and physiology] // *Arxiv klinicheskoy mediciny* [Archive of clinical medicine]. – 2020. – Vol.29, No3. – S. 211-216.
 - 6 Es'kov V.M., Zinchenko Yu.P., Filatov M.A., Es'kov V.V. *E`ffekt Es'kova-Zinchenko oprovergaet predstavleniya I.R. Prigogine, J.A. Wheeler i M. Gell-Mann o determinirovannom xaoze biosistem – complexity* [The Eskov-Zinchenko effect refutes the ideas of I. R. Prigogine, J. A. Wheeler, and M. Gell-Mann about the deterministic chaos of biosystems-complexity] // *Vestnik novyx medicinskix texnologij* [Journal of new medical technologies]. 2016. Vol. 23. № 2. S. 34-43.
 - 7 Es'kov V.M., Galkin V.A., Filatova O.E. *Konec opredelennosti: haos gomeostaticheskix sistem: monografiya* / Pod red. A.A. Hadarceva, G. S. Rozenberga. Tula: izd-vo OOO «TPPO», 2017. – 596 s.
 - 8 Es'kov V.M., Galkin V.A., Filatova O.E. *Complexity: haos gomeostaticheskix sistem: monografiya* / Pod red. G.S. Rozenberga. Samara: izd-vo OOO «Porto-print», 2017. – 388 s.
 - 9 Eskov V.M., Pyatin V.F., Eskov V.V., Miller A.V., Vedeneev V.V. *Sushhestvuyut li otlichiya mezhdu proizvolnymi i neproizvolnymi dvizheniyami?* [Are the distinctions between voluntary and involuntary movement?] // *Vestnik novyx medicinskix texnologij* [Journal of new medical technologies]. – 2020. – Vol. 27. – No 3. – S. 88-91.
 - 10 Eskov V.M., Galkin V.A., Pyatin V.F., Filatov M.A. *Organizaciya dvizhenij: stoxastika ili kaos?* [Organization of movements: stochastics or chaos?] / Pod red. A.A. Hadarceva, G. S. Rozenberga. Samara: izd-vo OOO «Porto-print», 2020. - 144 S.
 - 11 Eskov V. M., Pyatin V.F., Bashkatova Yu.V. *Medicinskaya i biologicheskaya kibernetika: perspektivy razvitiya*. [Medical and biological cybernetics: perspectives of development]. // *Uspexi kibernetiki* [Russian journal of cybernetics]. – 2020. – Vol.1, No1 -. S.64-72.
 - 12 Rozenberg G.S., Poluxin V.V., Popov Yu.M., Sazonova N.V., Salimova Yu.V. *Predstavleniya W. Weaver i teorii xaos-samoorganizacii o sistemax tret`ego tipa* [Representations of W. Weaver and chaos-self-organization theory on systems of the third type] // *Slozhnost'. Razum. Postneklassika* [Complexity. Mind. Postnonclassic]. – 2020. – № 3. – S. 14-23.
 - 13 Filatov M.A., Proxorov S.A., Ivaxno N.V., Golovacheva E.A., Ignatenko A.P. *Vozmozhnosti modelirovaniya statisticheskoy neustojchivosti vy`borok v fiziologii* [Possibilities of modeling statistical instability of samples in physiology] // *Vestnik novyx medicinskix texnologij* [Journal of new medical technologies]. – 2020. – Vol. 27. – No 2. – S.120-124.
 - 14 Khadartsev A.A., Zinchenko Yu.P., Galkin V.A., Shakirova L.S. *Ergodichnost' sistem tret'ego tipa* [Ergodicity of systems of the third type] // *Slozhnost'. Razum. Postneklassika*

- [Complexity. Mind. Postnonclassic]. – 2020. – No. 1. – S. 67-75.
- 15 Khadartsev A.A., Pyatin V.F., Es'kov V.V., Vedeneeva T.S., Ignatenko A.P. Realizaciya gipotezy` N.A. Bernshtejna o «povtoreniy bez povtoreniy» [The N.A. Bernstein hypothesis about «repetition without repetition» was realized] // Slozhnost'. Razum. Postneklassika [Complexity. Mind. Postnonclassic]. – 2020. – № 3. – S. 24-30.
- 16 Bashkatova Yu. V., Filatov M. A., Shakirova L. S. State of athletes' cardiovascular system under physical load in the Russian North. // Human Ecology. – 2020. – №6 – Pp. 41-45.
- 17 Bernstein N.A. The coordination and regulation of movements // Oxford, New York, Pergamon Press. 1967. 196 p.
- 18 Brown R., Macefield V.G. Skin sympathetic nerve activity in humans during exposure to emotionally-charged images: sex differences // Frontiers in Physiology. 2014. V. 5. P. 111.
- 19 Chan N., Choy C. Screening for atrial fibrillation in 13 122 Hong Kong citizens with smartphone electrocardiogram // Heart. 2017. Vol. 103. Pp. 24-31.
- 20 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(3). Pp. 309-317.
- 21 Eskov, V.M., Filatova, O.E., Eskov, V.V., Gavrilenko, T.V. The evolution of the idea of homeostasis: Determinism, stochastics, and chaos–self-organization // Biophysics. 2017. 62(5), pp. 809-820.
- 22 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. – 2017. – No. 5. – Pp. 27-32.
- 23 Eskov V.V., Filatova D.Y., Ilyashenko L.K., Vochmina Y.V. Classification of uncertainties in modeling of complex biological systems // Moscow university physics bulletin. 2019. Vol. 74(1). Pp. 57-63.
- 24 Eskov, V.M. Gudkov, A.B., Filatov, M.A. Eskov, V.V. Principles of homeostatic regulation of functions in human ecology // Human Ecology. – 2019.– №10 –Pp. 41-49.
- 25 Filatov M.A., Ilyashenko L.K., Kolosova A.I., Makeeva S.V. Stochastic and chaotic analysis of students' attention parameters of different ecological zones. // Human Ecology. – 2019.– №7 –Pp. 11-16.
- 26 Filatova D.Yu., Bashkatova Yu.V., Melnikova E.G., Shakirova L.S. Homogeneity of the parameters of the cardiointervals in school children after north-south travel. // Human Ecology. – 2020. – №1 – Pp. 6-10.
- 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 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.
- 29 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 1047 (2021) 012099 doi:10.1088/1757-899X/1047/1/012099
- 30 Filatova O.E., Pyatin V.F., Filatov M.A., Shakirova L.S. The low temperature influence on cardiointervals under physical training of man // Ekologiya cheloveka [Human Ecology]. – 2021. – №1 – Pp.17-21.
- 31 Khadartseva K. A., Filatov M. A., Melnikova E. G. The problem of homogenous sampling of cardiovascular system parameters among migrants in the Russian North. // Human Ecology. – 2020. – №7 – Pp. 27-31.
- 32 Khadartsev A.A., Eskov V.V., Pyatin V.F., Filatov M.A. The Use of Tremorography for the assessment of motor functions // Biomedical engineering. – 2021. – Vol. 54, No. 6. – Pp. 388-392.

- 33 Leonov B. I., Grigorenko V. V., Eskov V. M., Khadartsev A. A., Ilyashenko L. K. Automation of the diagnosis of age-related changes in parameters of the cardiovascular system. // Biomedical Engineering. – 2018. – Vol. 52, No. 3. – Pp. 210-214
- 34 Weaver W. Science and Complexity // American Scientist. – 1948. – Vol. 36, №4. – Pp. 536-544.
- 35 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 (4). – Pp. 415–418.
- 36 Zilov V. G., Khadartsev A. A., Eskov V. M., Ilyashenko L. K. New effect in physiology of human nervous muscle system // Bulletin of experimental biology and medicine. – 2019. – Vol. 167 (4). – Pp. 419-423.