УДК 616-009.3:613.166.9

СТОХАСТИЧЕСКАЯ И ХАОТИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ НЕРВНО-МЫШЕЧНОЙ СИСТЕМЫ ЧЕЛОВЕКА В УСЛОВИЯХ ХОЛОДОВОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ

© 2017 г. **Д. Ю. Филатова, *А. Н. Веракса, Д. К. Берестин, Т. В. Стрельцова**

Сургутский государственный университет, г. Сургут
*Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова, г. Москва

Представлены результаты изучения показателей треморограмм (ТМГ) у юношей и девушек в возрасте от 20 до 28 лет, проживающих на Севере более 15 лет и имеющих различный опыт применения закаливающих процедур. Средний возраст обследуемых составил 22,8 года. Показания тремора снимались до и после локального холодового воздействия. Были рассчитаны традиционные статистические показатели, которые демонстрируют эффект Еськова – Зинченко для тремора, и площади квазиаттракторов (КА), матрицы парных сравнений треморограмм трёх групп испытуемых до и после холодового воздействия с позиций новой теории хаоса – самоорганизации. Квазиаттракторы продемонстрировали наибольшее различие в сравнении со стохастикой, а матрицы парных сравнений выборок ТМГ у тренированных почти не изменялись до и после холодового воздействия, что является показателем высокой адаптации к нему. Это говорит о существенных различиях в реакциях организма испытуемых трёх групп (нетренированные, слабо тренированные и сильно тренированные). Разработанные методы анализа изменения характеристик КА могут быть использованы как индивидуально (для каждого испытуемого) с целью оценки его личной степени тренированности (при повторах измерений), так и при групповых исследованиях.

Ключевые слова: треморограмма, холодовое воздействие, квазиаттракторы, вектор состояния биосистемы

STOCHASTIC AND CHAOTIC ASSESSMENT OF HUMAN'S NEUROMUSCULAR SYSTEM IN CONDITIONS OF COLD EXPOSURE

D. U. Filatova, * A. N. Veraksa, D. K. Berestin, T. V. Streltsova

Surgut State University, Surgut
*Lomonosov Moscow State University Lomonosov, Moscow

The paper presents the study results of thermometry indices in boys and girls aged 20 – 28 years old living in the North more than 15 years and having different background of conditioning. Average age of surveyed was 22,8 years. The thermometer readings were register before and after local cooling. Traditional statistical ratios were calculated. They demonstrated Eskov-Zinchenko effect for tremor and quasiattractors areas, thermogramm pairwise comparison matrixes of three groups of surveyed before and after cooling from the perspective of self-organization. Quasiattractors showed the most diversity in comparison with stochastics and the thermogramm pairwise comparison matrixes in trained persons scarcely changed before and after cooling which was high adaptation parameter to cooling. This points significant differences in organism reactions in all the surveyed groups (untrained, poorly trained and strongly trained). Worked out methods to assess changes in the characteristics of quasiattractors can be used individually (for each test person) to assess your personal training level (in the repetition of measurements), and for group studies.

Keywords: tremor, entropy, quasiattractors, biosystem state vector

Библиографическая ссылка:

Филатова Д. Ю., Веракса А. Н., Берестин Д. К., Стрельцова Т. В. Стохастическая и хаотическая оценка состояния нервно-мышечной системы человека в условиях холодового воздействия // Экология человека. 2017. № 8. С. 15–20.

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. *Ekologiya cheloveka* [Human Ecology]. 2017, 8, pp. 15-20.

Известно, что в производственных условиях Севера Российской Федерации довольно часто человек подвергается локальному холодовому воздействию, которое влияет на физическую работоспособность [5, 14]. В 1947 году впервые в истории развития физиологии и психологии Н. А. Бернштейн [15] попытался выделить эффект *«повторения без повторений»*. Однако количественного описания и изучения этого за прошедшие 70 лет выполнено не было. В рамках созданной и разрабатываемой новой теории хаоса – самоорганизации (ТХС) мы изучаем сейчас известный эффект Еськова – Зинченко, в котором было доказано, что любой интервал регистрируемых параметров тремора будет уникален, а его статистические характеристики не могут быть повторены дважды подряд произвольно для одного и того же человека [4]. Иными словами, любая треморограмма (ТМГ) фактически применима для исследования только в конкретный момент времени и является уникальным процессом. И. Р. Пригожин [18] отрицал познаваемость таких необыкновенных систем, но сейчас в рамках ТХС мы это сможем сделать [6, 7, 13].

Методы

Подобные изменения параметров тремора наблюдаются у каждого испытуемого, и тогда любые статистические характеристики тоже будут уникальны, то есть они реальны только в конкретный момент времени t_1. В следующий момент времени t_2 характеристики

будут другими, и, соответственно, стохастические характеристики всегда будут уникальными. Это и составляет основу эффекта Еськова – Зинченко в биомеханике и психофизиологии в целом. На этом основана вся ТХС и по данной причине мы всегда рассчитываем квазиаттракторы (КА) ТМГ в двухмерных (x_1 – координата, $x_2 = dx_1/dt$ – скорость движения пальца) или трёхмерных ($x_3 = dx_2/dt$ – ускорение для $x_1(t)$) фазовых пространствах состояний (ФПС).

Однако остается открытой проблема соотношения стохастического подхода (в частности энтропийного) и методов ТХС. На сегодня можно уверенно говорить о том, что если ограниченность стохастики в описании движений уже доказана, то о возможностях энтропийного подхода еще дискутируют [3]. Определению границ стохастики и возможности применения ТХС к тремору и посвящается настоящее сообщение на примере изучения эффектов адаптации организма молодого населения Югры к холоду. У трёх групп испытуемых можно сравнить адаптационные возможности к холодовому стрессу в рамках стохастики и ТХС. Подчеркнем, что теория неравновесных систем создавалась И. Р. Пригожиным именно для описания живых систем (по крайней мере, в первую очередь), так как именно они являются открытыми и неравновесными. Поэтому изучение возможностей традиционной стохастики, термодинамики и их сравнение с ТХС в рамках расчёта ТМГ (эффект Еськова – Зинченко) и определяет актуальность наших исследований [7–12, 17].

Треморограммы испытуемых регистрировались с помощью разработанного и запатентованного биоизмерительного комплекса (рис. 1). Производилось квантование ТМГ с периодом $\Delta\tau = 10$ мсек. Были получены некоторые выборки $x_1 = x_1(t)$, которые представляли положение пальца с металлической пластиной (2) в пространстве по отношению к токовихревому датчику (1). Координата x_i (положение пальца в пространстве) регистрировалась в виде отдельной выборки (длительностью $\tau = 5$ сек.), далее сигнал $x_1(t)$ дифференцировался и получался вектор $x(t) = (x_1, x_2)^T$. Вся установка включала в себя токовихревой датчик (1), усилители сигнала, АЦП (3) и ЭВМ (4), которая кодировала и сохраняла информацию в виде отдельных файлов [10].

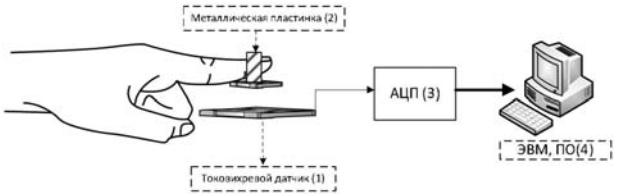

Рис. 1. Схема биоизмерительного комплекса регистрации тремора

Исследования проводились на трёх группах испытуемых: 1-я группа – 15 человек не закаливающихся; 2-я группа – 15 человек, закаливающихся менее года; 3-я группа – 15 человек, закаливающихся более двух лет. Треморограммы измерялись до охлаждения и после 2 минут охлаждения в воде $t \approx 4$ °С. Выполнялась проверка на соответствие закону нормального распределения параметров ТМГ до и после локального холодового воздействия во всех группах. Использование критерия Шапиро – Уилка показало следующий результат: для 1-й группы иногда имелись выборки с нормальным распределением, а остальные выборки описывались непараметрическим распределениями.

Таблица 1

Уровни значимости p для парных сравнений выборок параметров треморограмм 1-й группы испытуемых до и после локального холодового воздействия с помощью непараметрического критерия Вилкоксона (число пар совпадений k = 5)

		Параметры треморограмм после локального холодового воздействия														
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Параметры треморограмм до локального холодового воздействия	1	,00	**,29**	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00
	2	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00
	3	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00
	4	,00	,00	,00	,00	,00	**,13**	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00
	5	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00
	6	,0	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00
	7	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00
	8	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00
	9	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	**,60**	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00
	10	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00
	11	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00
	12	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	**,08**
	13	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00
	14	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	**,06**	,00	,00	,00	,00
	15	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00

Примечания: p – достигнутый уровень значимости (критическим уровнем принят $p < 0,05$); жирным шрифтом выделены пары совпадений треморограмм, у которых уровень значимости $p \geq 0,05$. Согласно данным таблицы, для 1-й группы испытуемых были получены пары сравнения до и после локального холодового воздействия, у которых уровень значимости p выше критического, а это значит, что статистически значимых различий в параметрах тремора у этих испытуемых нет и холодовое воздействие делает их схожими по параметрам тремора.

В целом результаты статистической проверки на нормальность распределения ТМГ испытуемых по критерию Шапиро – Уилка демонстрируют непараметрический тип распределения. Поэтому для выявления различий показателей ТМГ обследованных в дальнейшем использовались методы непараметрической статистики. Для изучения функционального состояния (тремор до холодового воздействия и после) испытуемых использовались матрицы парных сравнений выборок [1, 16]. Для всех ТМГ получены небольшие значения чисел k, число пар совпадений выборок ТМГ, которые можно отнести к одной генеральной совокупности. Очевидно, что традиционная статистика малоэффективна в оценке тремора [4, 6–10] из-за непрерывного и хаотического изменения статистических функций распределения f(x) (табл. 1).

Результаты

Еще раз отметим, что регистрация ТМГ всегда показывает хаотическую динамику при парном сравнении как до, так и после охлаждения, что составляет основу эффекта Еськова – Зинченко. Об этом пытался сказать 70 лет назад Н. А. Бернштейн [15]. Расчёт уровней значимости p парных сравнений выборок параметров ТМГ 1-й группы испытуемых до и после локального холодового воздействия с помощью непараметрического критерия Вилкоксона показал число пар совпадений выборок $k_1 = 5$ (см. табл. 1). Очевидно, что возможность «совпадения» выборок очень невелика, практически все выборки разные и это является особенностью систем третьего типа. Такое «несовпадение» (эти две выборки невозможно отнести к одной генеральной совокупности) представляют эффект Еськова – Зинченко, который распространяется не только на сами ТМГ, но и на их спектральные плотности сигнала или амплитудно-частотные характеристики, а также на автокорреляционные функции A(t) и другие статистические характеристики. Для демонстрации этого высказывания представлена характерная матрица парных сравнений выборок (см. табл. 1) в режиме «до» и «после» холодового воздействия в 1-й нетренированной группе.

В результате попарного сравнения параметров ТМГ до и после холодового воздействия у испытуемых 1-й группы видно, что локальное холодовое воздействие слабо влияет на параметры ТМГ. Обычно при больших выборках для одного человека тоже получаем $k \approx 5$. За исключением пяти пар сравнения ($k_1 = 5$), где значения уровня значимости выше критического ($p > 0{,}05$), в табл. 1 видим, что все другие пары отличаются. Величины уровней значимости парного сравнения параметров ТМГ 2-й группы испытуемых до и после локального холодового воздействия с использованием критерия Вилкоксона показали число пар совпадения выборок $k_2 = 3$. У хорошо тренированных $k_3 = 2$. Таким образом, снижается число пар совпадений выборок по мере усиления закаливания. Это в определенном смысле некоторый критерий эффекта закаливания при сравнении ТМГ в рамках «до и после» для каждой группы. Число одинаковых пар сравнения k убывает при адаптации к холодовому воздействию, если сравнивать выборки ТМГ у одной и той же группы до воздействия и после. На рис. 2 представлена диаграмма зависимостей числа k от эффектов адаптации к холодовому воздействию.

Очевидно, что у испытуемых, которые закаливаются более двух лет, количество совпадений выборок до и после локального холодового воздействия почти в 2 раза меньше, чем у тех, кто не закаливается вообще, и в 1,5 раза меньше, чем у закаливающихся менее одного года. Уменьшение количества совпадений выборок в результате парного сравнения у закаливающихся говорит об адаптации организма. В результате тренировок испытуемые легче переносят холодовое воздействие.

Для идентификации сложных биосистем с хаотической структурой поведения, которые демонстрируют эффект Еськова – Зинченко, использовать методы стохастики недостаточно. Как показано выше, только матрицы парного сравнения повторных ТМГ могут дать еще какую-то информацию. Тогда для ТМГ и

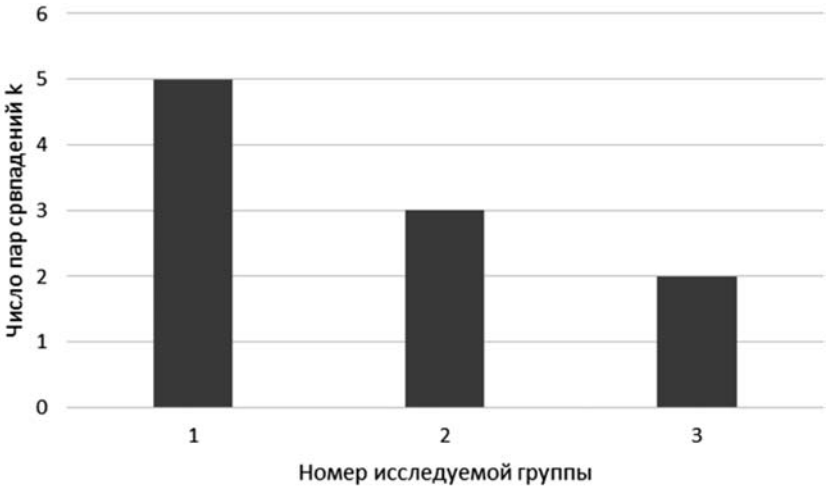

Рис. 2. Диаграмма зависимостей числа совпадений k от эффекта адаптации к холодовому воздействию (для трёх исследуемых групп)

других видов движения целесообразно применить методы ТХС. При расчете КА можно наблюдать более выраженную динамику изменения вектора состояния системы [1–4]. Поэтому рассчитывались площади КА трёх групп испытуемых в условиях холодового стресса. Первоначально производилась проверка данных на соответствие закону нормального распределения, которая оценивалась на основе вычисления критерия Шапиро – Уилка. Выявлено, что параметры площадей КА треморограмм испытуемых до и после локального холодового воздействия не описываются законом нормального распределения. Поэтому в дальнейшем зависимости исследовались методами непараметрической статистики.

Так как значения площадей КА отличаются от нормального распределения (за исключением 3-й группы после холодового воздействия), то данные представлялись в виде медианы и интерквантильного размаха. После этого в двухмерном ФПС с координатами x_1 – положение пальца по отношению к датчику и $x_2 = dx_1/dt$ – скорость изменения $x_1(t)$ мы рассчитывали площади КА треморограмм. Итог расчетов представлен в табл. 2. Площадь КА = Z *10^{-6} (у. е.), где величины Z представлены в колонках. Все группы имеют разные значения средних площадей <S> и медиан Me как до (3 колонки: 1, 3, 5), так и после (2, 4, 6 колонки) воздействия.

Таблица 2

Значения площадей параметров квазиаттракторов треморограмм всех групп испытуемых до и после локального холодового воздействия (Z × 10^{-6} у. е.)

	1-я группа		2-я группа		3-я группа	
	До	После	До	После	До	После
1	0,81	2,76	1,53	1,76	1,79	0,82
2	0,80	1,58	1,48	4,80	0,70	0,73
3	1,12	1,46	0,67	0,80	0,38	1,49
4	1,01	1,72	0,71	1,52	1,17	0,43
5	1,20	1,62	0,62	0,84	0,36	0,83
6	0,79	1,51	1,46	2,88	1,05	0,98
7	0,77	1,33	1,45	8,59	1,21	1,04
8	0,33	0,88	0,69	0,99	1,07	0,94
9	0,49	1,21	0,91	0,98	0,68	0,67
10	1,07	0,87	0,86	0,82	0,93	1,50
11	0,73	2,06	2,68	2,22	0,53	1,43
12	1,27	2,19	1,32	2,22	3,77	1,47
13	1,08	5,56	3,57	3,45	2,45	1,63
14	0,60	1,13	1,25	2,29	3,53	1,07
15	2,31	5,64	2,36	3,03	0,69	0,60
Me	1,32	2,22	0,81	1,58	1,05	0,98
5 %	0,62	0,8	0,33	0,87	0,36	0,43
95 %	3,57	8,59	2,31	5,64	3,77	1,63

Из табл. 2 также следует, что реакция групп испытуемых на холодовый стресс будет различной. Это демонстрирует одновременно и степень адаптации к холодовому воздействию. В частности, у 1-й и 2-й групп наблюдается увеличение значений медиан выборок при расчёте площадей КА треморограмм после локального холодового воздействия. Одновременно можно наблюдать разницу значений медиан площадей КА у 1-й и 2-й групп испытуемых. В то же время в 3-й группе обследованных выявлена несущественная разница между значениями медиан до и после локального холодового воздействия. В 3-й группе даже произошло небольшое уменьшение значения медианы площадей КА.

Такие результаты можно объяснить эффектом закаливания организма, который за два года закаливания дает выраженный адаптационный результат. После локального холодового воздействия во 2-й группе значение медианы для площадей КА увеличивается в 1,68 раза, тогда как в 1-й группе – в 1,95 раза. Однако 3-я группа дает инверсивное направление изменения площадей КА до и после холодового воздействия: в спокойном состоянии мы имеем Me_5 = 1,05 у. е., а после стрессового воздействия Me_6 = 0,98 у. е.

Обсуждение результатов

Таким образом, в 1-й группе отмечено минимальное различие по числу совпадений пар выборок треморограмм k в режиме «до – после». Это доказывает целесообразность применения метода парных сравнений выборок ТМГ в оценке степени адаптации организма к холоду. Минимальные различия между k_1 – до и k_2 – после холодового стресса выявлены в 3-й, наиболее тренированной группе. Здесь $\Delta k = k_2 - k_1 = 1$, что в сравнении с 1-й группой ($\Delta k = 6$) в 6 раз меньше. Очевидно, что столь малое различие по k в режиме «до – после» в 3-й группе выражает степень эволюции самого адаптационного процесса. Эти данные согласуются с динамикой КА, которая для 3-й группы также показывает минимальные различия. Размеры КА тремора при сравнении групп до холодового воздействия демонстрируют существенные различия в реакциях организма испытуемых всех групп (нетренированные, слабо тренированные и сильно тренированные). Существенно, что любая серия (набор выборок) не показывает число пар k больше 10. Это характерно для тремора в целом в виде эффекта Еськова – Зинченко. Расчёт матриц парных сравнений выборок ТМГ целесообразно использовать для оценки реакции системы регуляции тремора в условиях локального охлаждения как при сравнении самих групп до и после локального холодового воздействия, так и при попарном сравнении выборок ТМГ до и после локального холодового воздействия в каждой адаптивной группе. У тренированных различия в значениях k минимальные и это служит идентификацией степени тренированности, т. е. адаптации к холодовому стрессу. Методами как стохастики (но только в режиме матриц парных сравнений выборок, так как статистика в оценке ТМГ дает меньше 90 % повторяемости), так и ТХС у испытуемых в условиях

локального холодового воздействия выявляются изменения параметров треморограмм. С позиций ТХС разница существеннее, чем с позиции стохастики, и это ограничивает в целом возможности традиционных статистических методов расчёта не только в биомеханике (эффект Еськова – Зинченко), но и при исследовании параметров сердечно-сосудистой системы [2–4, 8, 13], электромиограмм и электроэнцефалограмм и других параметров организма.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ р_урал_а 15-41-00034.

Список литературы

1. *Вохмина Ю. В., Еськов В. М., Гавриленко Т. В., Филатова О. Е.* Измерение параметров порядка на основе нейросетевых технологий // Измерительная техника. 2015. № 4. С. 65–68.

2. *Гавриленко Т. В., Еськов В. М., Хадарцев А. А., Химикова О. И., Соколова А. А.* Новые методы для геронтологии в прогнозах долгожительства коренного населения Югры // Успехи геронтологии. 2014. Т. 27, № 1. С. 30–36.

3. *Гараева Г. Р., Еськов В. М., Еськов В. В., Гудков А. Б., Филатова О. Е., Химикова О. И.* Хаотическая динамика кардиоинтервалов трех возрастных групп представителей коренного населения Югры // Экология человека. 2015. № 9. С. 50–55.

4. *Еськов В. В., Филатова О. Е., Гавриленко Т. В., Химикова О. И.* Прогнозирование долгожительства у российской народности ханты по хаотической динамике параметров сердечно-сосудистой системы // Экология человека. 2014. № 11. С. 3–8.

5. *Гудков А. Б., Шаньгина А. А, Федотов Д. М., Грибанов А. В.* Особенности реакции системы внешнего дыхания на локальное охлаждение кожи, кисти и стопы у молодых лиц трудоспособного возраста // Экология человека. 2015. № 8. С. 32–37.

6. *Еськов В. М., Филатова О. Е.* Проблема идентичности функциональных состояний нейросетевых систем // Биофизика. 2003. Т. 48, № 3. С. 526–534.

7. *Еськов В. М., Еськов В. В., Филатова О. Е.* Особенности измерений и моделирования биосистем в фазовых пространствах состояний // Измерительная техника. 2010. № 12. С. 53–57.

8. *Еськов В. М., Еськов В. В., Брагинский М. А., Пашнин А. С.* Определение степени синергизма кардиореспираторной системы человека в условиях физических воздействий // Измерительная техника. 2011. № 7. С. 61–65.

9. *Еськов В. М., Гавриленко Т. В., Козлова В. В., Филатов М. А.* Измерение параметров динамики микрохаоса в поведении реальных биосистем // Метрология. 2012. № 7. С. 39–48.

10. *Еськов В. М., Гавриленко Т. В., Вохмина Ю. В., Зимин М. И., Филатов М. А.* Измерение хаотической динамики двух видов теппинга как произвольных движений // Метрология. 2014. № 6. С. 28–35.

11. *Еськов В. М., Еськов В. В., Гавриленко Т. В., Зимин М. И.* Неопределенность в квантовой механике и биофизике сложных систем // Вестник Московского университета. Серия 3: Физика. Астрономия. 2014. № 5. С. 41–46.

12. *Еськов В. М., Еськов В. В., Гавриленко Т. В., Вохмина Ю. В.* Кинематика биосистем как эволюция: стационарные режимы и скорость движения сложных систем – complexity // Вестник Московского университета. Серия 3: Физика. Астрономия. 2015. № 2. С. 62–73.

13. *Еськов В. М., Еськов В. В., Филатова О. Е., Хадарцев А. А., Синенко Д. В.* Нейрокомпьютерная идентификация параметров порядка в геронтологии // Успехи геронтологии. 2015. Т. 28, № 3. С. 435–440.

14. *Чащин В. П., Сюрин С. А., Гудков А. Б., Попова О. Н., Воронин А. Ю.* Воздействие промышленных загрязнений атмосферного воздуха на организм работников, выполняющих трудовые операции на открытом воздухе в условиях холода // Медицина труда и промышленная экология. 2014. № 9. С. 20–26.

15. *Bernstein N. A.* The coordination and regulation of movements. London: Pergamon Press, Oxford, 1967, 196 p.

16. *Es'kov V. M., Filatova O. E.* A Compartmental approach in modeling a neuronal network. Role of inhibitory and excitatory processes // Biophysics. 1999. Vol. 44, N 3. P. 518–525.

17. *Eskov V. M., Kulaev S. V., Popov Yu. M., Filatova O. E.* Computer technology for measurement of unstability origin in stationary regimes of biological dynamic system // Measurement Techniques. 2006. N 1. P. 40–45.

18. *Prigogine I.* The Die Is Not Cast // Futures. Bulletin of the World Futures Studies Federation. 2000. Vol. 25, N 4. P. 17–19.

References

1. Vokhmina Yu. V., Eskov V. M., Gavrilenko T. V., Filatova O. E. Medical and biological measurements: Measuring order parameters based on neural network technologies. *Izmeritel'naya tekhnika* [Measurement Techniques]. 2015, 58 (4), A018, pp. 65-68. [in Russian]

2. Gavrilenko T. V., Eskov V. M., Khadartsev A. A., Khimikova O. I., Sokolova A. A. New methods for gerontology in the longevity projections of the indigenous population of Ugra. *Uspekhi gerontologii* [Successes of Gerontology]. 2014, 27 (1), pp. 30-36. [in Russian]

3. Garaeva G. R., Eskov V. M., Eskov V. V., Gudkov A. B., Filatova O. E., Khimikova O. I. Chaotic dynamics of cardiointervals in three age groups of indigenous people of Ugra. *Ekologiya cheloveka* [Human Ecology]. 2015, 9, pp. 50-55. [in Russian]

4. Eskov V. V., Filatova O. E., Gavrilenko T. V., Khimikova O. I. Prediction of Khanty people life expectancy according to chaotic dynamics of their cardiovascular system parameters. *Ekologiya cheloveka* [Human Ecology]. 2014, 11, pp. 3-8. [in Russian]

5. Gudkov A. B., Shangina A. A, Fedotov D. M., Gribanov A. V. Features of external breath system reaction (response) to local cooling of hand and foot skin in young able-bodied persons. *Ekologiya cheloveka* [Human Ecology]. 2015, 8, pp. 32-37. [in Russian]

6. Eskov V. M., Filatova O. E. Problem of identity of functional states in neuronal networks. *Biofizika* [Biophysics]. 2003, 48 (3), pp. 526-534. [in Russian]

7. Eskov V. M., Eskov V. V., Filatova O. E. Medical and biological measurements: characteristic features of measurements and modeling for biosystems in phase spaces of states. *Izmeritel'naya tekhnika* [Measurement Techniques]. 2010, 12, pp. 53-57. [in Russian]

8. Eskov V. M., Eskov V. V., Braginskii M. A., Pashnin A. S. Determination of the degree of synergism of the human cardiorespiratory system under conditions of physical effort. *Izmeritel'naya tekhnika* [Measurement Techniques]. 2011, 7, pp. 61-65. [in Russian]

9. Eskov V. M., Gavrilenko T. V., Kozlova V. V., Filatov M. A.

Measurement of the dynamic parameters of microchaos in the behavior of living biosystems. *Metrologiya* [Metrology]. 2012, 7, pp. 39-48. [in Russian]

10. Eskov V. M., Gavrilenko T. V., Vokhmina Yu. V., Zimin M. I., Filatov M. A. Measurement of chaotic dynamics for two types of tapping as voluntary movements. *Metrologiya* [Metrology]. 2014, 6, pp. 28-35. [in Russian]

11. Eskov V. M., Eskov V. V., Gavrilenko T. V., Zimin M. I. Uncertainty in the quantum mechanics and biophysics of complex systems. *Vestnik Moskovskogo universiteta. Seriya 3: Fizika. Astronomiya* [Moscow University Physics Bulletin. Series 3: Physics. Astronomy]. 2014, 5, pp. 41-46. [in Russian]

12. Eskov V. M., Eskov V. V., Gavrilenko T. V., Vokhmina Yu. V. Biosystem kinematics as evolution: stationary modes and movement speed of complex systems: complexity. *Vestnik Moskovskogo universiteta. Seriya 3: Fizika. Astronomiya* [Moscow University Physics Bulletin. Series 3: Physics. Astronomy]. 2015, 2, pp. 62-73. [in Russian]

13. Eskov V. M., Eskov V. V., Filatova O. E., Khadartsev A. A., Sinenko D. V. Neurocomputing identification of the order parameter in gerontology. *Uspekhi gerontologii* [Successes of Gerontology]. 2015, 28 (3), pp. 435-440. [in Russian]

14. Chashchin V. P., Syurin S. A., Gudkov A. B., Popova O. N., Voronin A. Yu. Influence of industrial pollution of ambient air on health of workers engaged into open air activities in cold conditions. *Meditsina truda i promyshlennaya ekologiya* [Occupational Medicine and Industrial Ecology]. 2014, 9, pp. 20-26. [in Russian]

15. Bernstein N. A. *The coordination and regulation of movements*. London: Pergamon Press, Oxford, 1967, 196 p.

16. Eskov V. M., Filatova O. E. A Compartmental approach in modeling a neuronal network. Role of inhibitory and excitatory processes. *Biofizika*. 1999, 44 (3), pp. 518-525.

17. Eskov V. M., Kulaev S. V., Popov Yu. M., Filatova O. E. Computer technologies in stability measurements on stationary states in dynamic biological systems. *Measurement Techniques*. 2006, 1, pp. 59-65.

18. Prigogine I. The Die Is Not Cast Futures. *Bulletin of the World Futures Studies Federation*. 2000, 25 (4), pp. 17-19.

Контактная информация:

Берестин Дмитрий Константинович – кандидат физико-математических наук старший научный сотрудник лаборатории функциональных систем организма человека на Севере института естественных и технических наук БУ ВО «Сургутский государственный университет Ханты-Мансийского автономного округа – Югры»

Адрес: 628412, Тюменская область, г. Сургут, пр. Энергетиков, д. 22

E-mail: bdk0720@gmail.com