

DOI: 10.12737/13561

ЭНТРОПИЙНЫЙ ПОДХОД В ОЦЕНКЕ ПАРАМЕТРОВ ТРЕМОРА ПРИ РАЗЛИЧНЫХ АКУСТИЧЕСКИХ ВОЗДЕЙСТВИЯХ

Д.К. БЕРЕСТИН, Д.В. ГОРБУНОВ, Т.Ю. ПОСКИНА, Д.А. СИДОРЕНКО

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

Аннотация. С использованием стохастических методов (расчет энтропии Шеннона) и методов традиционной статистики изучалась реакция нервно-мышечной системы (НМС) человека на различные акустические воздействия (белый шум, ритмическая музыка, классическая музыка, хард-рок). В случае акустического воздействия на слуховой анализатор использовался подход, основанный на анализе энтропии Шеннона параметров нервно-мышечной системы (постуральный тремор) при одновременной регистрации треморограмм левой и правой рук испытуемых (в условиях звукового воздействия). Это воздействие играло роль возмущающего фактора для системы регуляции мышечных движений (и мышечной активности) через изменение психофизиологического состояния испытуемого. Разработанный метод матричного анализа обеспечивает идентификацию систем с хаотической организацией, которая была продемонстрирована в настоящей работе на примере анализа треморограмм левой и правой рук испытуемых при различных акустических воздействиях.

Ключевые слова: энтропия Шеннона, нервно-мышечная система человека, психофизиологическое состояние, акустическое воздействие.

ENTROPIC APPROACH IN ESTIMATION OF PARAMETERS OF TREMOR IN VARIOUS ACOUSTIC EFFECTS

D.K. BERESTIN, D.V. GORBUNOV, T.Y. POSKINA, D.A. SIDORENKO

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

Abstract. Using stochastic methods (calculation of Shannon's entropy) and methods of traditional statistics studied the reaction of the neuromuscular system man on various acoustic effects (white noise, rhythmic music, classical music, hard rock). In case of acoustic impact on the auditory analyzer an approach based on the analysis of the Shannon entropy parameters of the neuromuscular system (postural tremor), while registration of tremorograms of left and right hands of the subjects (in terms of the sound effects) was used. This influence played a role of disturbing factor for the regulation of muscle movements (and muscle activity) through a change in psychophysiological state of the subject. The developed method of matrix analysis provides identification of systems with chaotic organization that has been demonstrated in this paper on the example of tremorogram of left and right hands of the subjects at various acoustic effects.

Key words: Shannon's entropy, neuro-muscular system, psychophysiological state, acoustic impact.

Введение. Любые сложные биологические динамические системы (БДС) в виде организма человека, популяции или биосферы Земли являются уникальными и неповторимыми точно системами. Для исследования таких сложных систем уже недостаточны традиционные методы, применяемые в *детерминистском и стохастическом подходах* (ДСП), где мы имеем полную определенность начального состояния системы и необязательно полную (в частности, в стохастике) для конечного состояния [1-6]. Обязательным условием ДСП является неоднократное воспроизведение начального состояния системы x в момент времени t_0 , наличие возможности стационарных режимов и точек покоя.

С точки зрения ДСП многократное повторение процесса обеспечивает идентификацию модели БДС в *фазовом пространстве состояний* (ФПС), а в стохастике – статистической функции распределения $f(x)$. Стохастика всегда требует повторения процесса, в котором его конечный результат будет флуктуировать около среднего значения. В этом случае мы всегда имеем неравномерное распределение случайной величины в отличие от *теории хаоса и самоорганизации* (ТХС), где обычно имеется равномерное распределение значений параметров для *вектора состояния системы* (ВСС), как любой сложной БДС, в *фазовом пространстве состояний* (ФПС) [5-10].

Одним из наиболее распространенных неблагоприятных физических факторов является шумовое воздействие. Любые звуковые воздействия способны существенно повлиять на параметры ФСО человека. В этой связи рассматриваются изменения параметров нервно-мышечной системы человека (тремора) левой и правой руки при 5 различных видах звукового воздействия [9-16], с использованием энтропийной оценки полученных данных.

Для всех живых организмов, в том числе и человека, акустическое воздействие является одним из воздействий окружающей среды. Согласно современным представлениям, музыка разных направлений, благодаря ритму и звуку, способна оказывать неоднозначное влияние на все живые

организмы, в том числе и на человека.

Так, например классическая музыка оказывает благотворное влияние на человека (успокаивает, снимает мышечное напряжение, тонизирует, способствует снижению тревожности). Во второй половине XX века – начале XXI века, в 60-70 гг. зародилось и активно развивалось такое музыкальное направление как рок-музыка, которая может оказывать негативное влияние на человека. В частности, может вызывать агрессию и агрессивные действия, способствует возникновению депрессивного состояния, ослабляет самоконтроль, формирует социальную отчужденность. Классическая музыка, согласно современным исследованиям, оказывает благоприятное влияние на развитие творческих способностей, концентрирует внимание, снимает мышечное напряжение, способствует повышению активности коры головного мозга, нормализует эмоциональное состояние [15-20].

Управление основными движениями тела человека и его сенсорными функциями равномерно распределено между двумя полушариями мозга. Однако, физическая симметрия мозга не означает, что правая и левая стороны равноценны во всех отношениях. В этой связи изучение функциональной асимметрии мозга – важная проблема физиологии человека.

Объекты и методы исследования. Объектом для наблюдения стали 15 студентов и аспирантов (девушек и юношей), обучающихся на 3-4 курсах ГБОУ ВПО «Сургутский государственный университет ХМАО-Югры». Обследование студентов производилось неинвазивными методами и соответствовало этическим нормам Хельсинской декларации (2000 г.). Критерии включения: возраст студентов 20-27 лет; отсутствие жалоб на состояние здоровья в период проведения обследований; наличие информированного согласия на участие в исследовании. Критерии исключения: болезнь студента в период обследования.

Эксперимент включал в себя 5 этапов исследования. На первом этапе у испытуемых регистрировались параметры постурального тремора в виде координаты пальца по отношению к датчику $x_i = x_i(t)$ в спо-

койном состоянии (при отсутствии активного акустического воздействия). На втором этапе испытуемому было предложено прослушать запись «белого» шума с одновременной регистрацией параметров НМС. На третьем этапе к прослушиванию предлагалась ритмичная музыка, на четвертом – классическая музыка, на пятом агрессивная музыка – *Hard Rock*.

Обследования производились повторно и одновременно для правой и левой рук испытуемых. Между каждым этапом испытуемым предоставлялось время T на восстановление $T \geq 15$ мин. Также необходимо отметить, что акустическое воздействие осуществлялось на среднем уровне громкости при котором испытуемые не испытывали дискомфорта, связанного с высокой интенсивностью звукового потока.

Использовались датчики токовихревого типа в *биофизическом измерительном комплексе* (БИК), разработанном в лаборатории биокибернетики и биофизики сложных систем при СурГУ. Они обеспечивали высокую точность измерений и широкий диапазон частот регистрируемого тремора, а также обработку полученной информации. Принцип работы БИК заключается в использовании сигналов от двух токовихревых датчиков, между которыми помещается исследуемый объект для измерения его микроперемещений.

Статистическая обработка данных осуществлялась при помощи следующих программных пакетов – «*Excel MS Office-2003*» и «*Statistica 6.1*». Исследования зависимостей производились методами непараметрической статистики. Выявление различий между конкретными группами (парное сравнение групп) выполнялись при помощи непараметрического критерия Вилкоксона с поправкой Бонферрони (для оценки справедливости нулевой гипотезы).

Энтропийный подход в оценке параметров треморограмм. Сразу отметим, что при квантовании треморограмм мы получали некоторые выборки $x_i = x_i(t)$, которые представляли положение пальца в пространстве по отношению к датчику регистрации координаты x_i (положение пальца в пространстве) в виде выборок треморо-

грамм x_i . Далее $x_i(t)$ дифференцировался и получался вектор $x(t) = (x_1, x_2)^T$. Вся установка включала в себя токовихревой датчик, усилители сигнала, АЦП и ЭВМ, которая кодировала и сохраняла информацию.

Использовался один из методов стохастики в виде расчета значения энтропии Шеннона. Энтропия Шеннона – мера неопределенности, которая связана со случайной величиной и позволяет получить оценку уровня детерминированности/неопределенности в сигнале. Энтропия Шеннона связана с распределением вероятностей амплитуд колебаний движения. Фактически, это мера упорядоченности выборок x_i – компонент ВСС $x(t)$ в ФПС. Формальное определение энтропии для независимых случайных событий x с n возможными состояниями (от 1 до n , p – функция вероятности) рассчитывалась по формуле:

$$H(x) = - \sum_{i=1}^n p(i) \log_2 p(i).$$

Эта процедура нами сейчас выполнялась только для одной координаты $x_1(t)$, а вторая координата (скорость) $x_2 = dx_1/dt$ входила в вектор $x = (x_1, x_2)^T$. Этот *вектор состояния системы* (ВСС) $x(t)$ совершал непрерывные хаотические движения в таком двумерном ФПС. Само это движение у нас оценивалось в рамках расчета энтропией H (для трех групп) и параметров *квазиаттракторов* (КА). Причем для H мы имеем нормальное распределение (табл. 1), при обычном непараметрическом распределении для тремора [3-12].

Для выявления различий между показателями энтропии Шеннона треморограмм левой и правой рук (парное сравнение групп) использовался непараметрический критерий Вилкоксона с поправкой Бонферрони (для оценки справедливости нулевой гипотезы). Были изучены возможности статистически значимых различий при сравнении энтропии Шеннона треморограмм левой и правой руки в условиях различных акустических воздействий, которые представлены в табл. 2. Из которой видно, что критерий Вилкоксона не показал различий между группами выборок энтропии Шеннона (при критическом уровне значимости $p < 0,05$), как

для левой, так и для правой рук при различных акустических воздействиях.

Таким образом, установлено, что различные акустические воздействия, оказывают статистически незначимые изменения в параметрах энтропии Шеннона, хотя отмечается отдельное увеличение или уменьшение энтропии Шеннона при этих условиях. На рис. представлена динамика средних значений энтропии Шеннона параметров НМС (тремограмм) без акустического воздействия и с различными видами акустических воздействий для левой и правой рук испытуемых.

Таблица 1

Значения энтропии Шеннона выборок тремограмм левой и правой руки без воздействия и при различных видах звукового воздействия (возмущениях)

	Левая рука					Правая рука				
	Б.В.	Б.Ш.	Р.М.	К.М.	А.М.	Б.В.	Б.Ш.	Р.М.	К.М.	А.М.
1	3,70	3,78	3,86	3,73	3,84	3,81	3,89	3,67	3,59	4,13
2	3,64	3,94	3,91	3,62	3,78	3,86	3,48	3,65	3,81	3,54
3	3,70	3,70	3,62	3,75	3,34	3,73	3,59	3,75	3,59	3,97
4	3,57	3,83	4,02	3,64	3,46	3,62	3,73	3,51	3,75	3,46
5	3,83	4,02	3,62	3,51	3,67	3,57	3,73	3,75	3,70	3,57
6	3,89	4,13	3,59	3,89	4,02	3,70	3,67	3,73	3,97	3,78
7	3,70	3,56	3,78	3,54	3,70	3,38	3,73	4,02	3,70	3,32
8	3,65	3,56	3,78	3,78	3,97	3,81	3,51	3,53	3,57	3,75
9	3,29	3,59	3,84	3,73	3,67	3,13	3,89	3,70	3,67	3,61
10	3,64	3,86	3,83	3,62	3,70	3,51	3,54	3,38	3,49	3,94
11	3,75	3,89	3,70	3,67	3,91	3,97	3,81	3,83	3,62	3,70
12	3,75	3,54	3,46	3,97	3,92	3,62	3,70	3,78	3,73	4,10
13	3,72	3,72	3,68	3,75	3,59	3,76	3,67	3,49	3,75	3,91
14	3,99	3,78	3,70	3,89	3,89	3,86	3,78	4,05	3,83	3,67
15	3,81	3,51	3,73	3,59	3,94	3,89	3,94	3,89	3,23	3,73
Ср. знач.	3,71	3,76	3,74	3,71	3,76	3,68	3,71	3,72	3,67	3,75

Примечание: Б. В. – без воздействия, Б.Ш. – белый шум, Р.М. – ритмичная музыка, К. М. – классическая музыка, А.М. – агрессивная музыка

Из табл. 1 и рис. можно видеть результаты моторной асимметрии по значениям энтропии Шеннона. Для левой руки при различных видах звукового воздействия происходит увеличение энтропии Шеннона ($E_{\text{без возд}}=3,71$; $E_{\text{агр}}=3,76$; $E_{\text{бел шум}}=3,76$; $E_{\text{ритм}}=3,74$). И только при прослушивании классической музыки энтропия Шеннона не изменилась ($E_{\text{клас}}=3,71$). Однако реакция правой руки на акустические воздействия несколько иная. Для правой руки происходит увеличения энтропии Шеннона ($E_{\text{без возд}}=3,68$; $E_{\text{агр}}=3,75$; $E_{\text{бел шум}}=3,71$; $E_{\text{ритм}}=3,72$) и только при прослушивании классической музыки произошло уменьшение энтропии ($E_{\text{клас}}=3,67$).

Из табл. 1 и рис. можно видеть результаты моторной асимметрии по значениям энтропии Шеннона. Для левой руки при различных видах звукового воздействия происходит увеличение энтропии Шеннона ($E_{\text{без возд}}=3,71$; $E_{\text{агр}}=3,76$; $E_{\text{бел шум}}=3,76$; $E_{\text{ритм}}=3,74$). И только при прослушивании классической музыки энтропия Шеннона не изменилась ($E_{\text{клас}}=3,71$).

Таблица 2

Матрица парных сравнений выборок энтропии Шеннона тремограмм 15-ти испытуемых для их левой и правой руки без воздействия и при различных звуковых воздействиях (по критерию Вилкоксона (значимое $p \leq 0,05$))

		Левая рука					Правая рука				
		Б.В.	Б.Ш.	Р.М.	К.М.	А.М.	Б.В.	Б.Ш.	Р.М.	К.М.	А.М.
Левая рука	Б. В.		0,33	0,82	0,97	0,23	0,53	0,57	0,89	0,47	0,63
	Б.Ш.	0,33		0,98	0,44	0,95	0,41	0,51	0,50	0,07	0,75
	Р. М.	0,82	0,98		0,47	0,69	0,86	0,89	0,61	0,21	0,97
	К. М.	0,97	0,44	0,47		0,26	0,75	0,95	0,88	0,38	0,61
	А. М.	0,23	0,95	0,69	0,26		0,26	0,43	0,33	0,20	0,83
Правая рука	Б. В.	0,53	0,41	0,86	0,75	0,26		0,95	0,92	0,78	0,47
	Б.Ш.	0,57	0,51	0,89	0,95	0,43	0,95		0,89	0,80	0,67
	Р. М.	0,89	0,50	0,61	0,88	0,33	0,92	0,89		0,61	0,65
	К. М.	0,47	0,07	0,21	0,38	0,20	0,78	0,80	0,61		0,36
	А. М.	0,63	0,75	0,97	0,61	0,83	0,47	0,67	0,65	0,36	

Примечание: Б. В. – без воздействия, Б.Ш. – белый шум, Р. М. – ритмичная музыка, К. М. – классическая музыка, А.М. – агрессивная музыка

Однако реакция правой руки на акустические воздействия несколько иная. Для правой руки происходит увеличения энтропии Шеннона ($E_{\text{без возд}}=3,68$; $E_{\text{агр}}=3,75$; $E_{\text{бел шум}}=3,71$; $E_{\text{ритм}}=3,72$) и только при прослушивании классической музыки произошло уменьшение энтропии ($E_{\text{клас}}=3,67$).

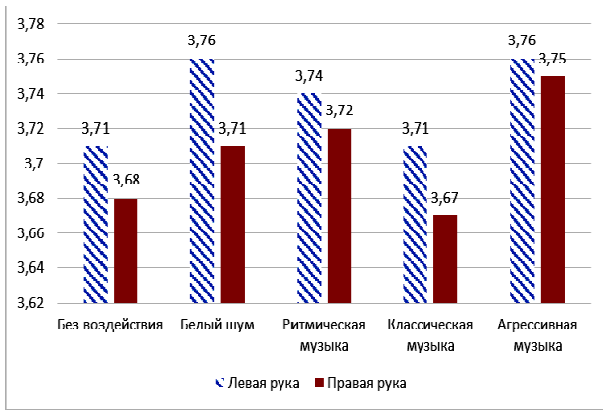


Рис. Динамика средних значений энтропии Шеннона параметров НМС (треморограмм) без акустического воздействия и с различными видами акустических воздействий с координатами $x_1, x_2 = dx_1/dt$, для вектора НМС $x = (x_1, x_2)$ для левой и правой рук испытуемых

Заключение. Любое направленное акустическое воздействие вызывает изменение в состоянии НМС, об этом свидетельствуют изменения энтропии Шеннона. При воздействии «белого» шума или агрессивной музыки реакция НМС у части испытуемых напоминает реакцию на физические нагрузки. Это говорит о некотором стрессе испытуемых. Реакции левой руки при акустическом воздействии испытуемых несколько отличается по энтропии от реакции на звуковое воздействие для правой руки испытуемых.

Литература

1. Арнольд В.И. Теория катастроф.– М.: УРСС, 2004.– 128 с.
2. 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://vnmt.ru/Bulletin/E2013-1/4341.pdf>. (Дата обращения: 15.04.2013).
3. Бурькин Ю.Г., Брагинский М.Я., Майстренко Е.В., Козлова В.В. Состояние показателей произвольных движений учащихся в условиях физической нагрузки в разные сезоны года // Вестник новых ме-

дицинских технологий.– 2007.– Т. 14, № 1.– С. 61–63.

4. Вохмина Ю.В., Гавриленко Т.В., Зимин М.И. Модели сложных систем с позиций физики и теории хаоса-самоорганизации // Сложность. Разум. Постнеклассика.– 2013.– № 1.– С. 51–59.

5. Гавриленко Т.В., Баженова А.Е., Балтикова А.А., Башкатова Ю.В., Майстренко Е.В. Метод многомерных фазовых пространств в оценке хаотической динамики тремора // Вестник новых медицинских технологий. Электронное издание.– 2013.– №1.– Публикация 1-5. URL: <http://vnmt.ru/Bulletin/E2013-1/4340.pdf>. (Дата обращения: 15.04.2013).

6. Гавриленко Т.В., Вохмина Ю.В., Даянова Д.Д., Берестин Д.К. Параметры квазиаттракторов в оценке стационарных режимов биологических динамических систем с позиций компартментно-кластерного подхода // Вестник новых медицинских технологий.– 2014.– Т. 21, № 1.– С. 134–137.

7. 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.

8. Еськов В.В., Вохмина Ю.В., Гавриленко Т.В., Зимин М.И. Модели хаоса в физике и теории хаоса-самоорганизации // Сложность. Разум. Постнеклассика.– 2013.– № 2.– С. 42–56.

9. Еськов В.М., Филатова О.Е., Фудин Н.А., Хадарцев А.А. Проблема выбора оптимальных математических моделей в теории идентификации биологических динамических систем // Системный анализ и управление в биомедицинских системах.– 2004.– Т. 3, № 2.– С. 150–152.

10. Еськов В.М., Живогляд Р.Н., Папшев В.А., Попов Ю.М., Пашнин А.С. Системный анализ и компьютерная идентификация синергизма в биологических динамических системах // Системный анализ и управление в биомедицинских системах.– 2005.– Т. 4, № 1.– С. 108–111.

11. Еськов В.М., Хадарцев А.А., Еськов В.В., Филатова О.Е. Флуктуации и эволюции биосистем - их базовые свойства и характеристики при описании в рамках си-

нергетической парадигмы // Вестник новых медицинских технологий.– 2010.– Т. 17, № 1.– С. 17–19.

12. Еськов В.М., Еськов В.В., Филатова О.Е. Способ корректировки лечебного или лечебно-оздоровительного воздействия на пациента / патент на изобретение RUS 2433788 от 01.02.2010 г.

13. Еськов В.М., Еськов В.В., Козлова В.В., Филатов М.А. Способ корректировки лечебного или физкультурно-спортивного воздействия на организм человека в фазовом пространстве состояний с помощью матриц расстояний / патент на изобретение RUS 2432895 от 09.03.2010 г.

14. Еськов В.М., Брагинский М.Я., Козлова В.В., Майстренко Е.В. Диагностика физиологических функций женщин-пловцов Югры методом расчета матриц межкластерных расстояний // Системный анализ и управление в биомедицинских системах.– 2010.– Т. 9.– № 3.– С. 500–504.

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

16. 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.

17. Филатов М.А., Филатова Д.Ю., Поскина Т.Ю., Стрельцова Т.В. Методы теории хаоса-самоорганизации в психофизиологии // Сложность. Разум. Постнеклассика.– 2014.– № 1.– С. 17–33.

18. Eskov V.M., Filatova O.E. Respiratory rhythm generation in rats: the importance of inhibition // Neurophysiology.– 1993.– Т. 25, № 6.– С. 420.

19. 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 // Measurement Techniques.– 2012.– Т. 55.– № 9.– С. 1096–1101.

20. Eskov V.M., Khadartsev A.A.,

Eskov V.V., Filatova O.E., Filatova D.U. Chaotic approach in biomedicine: individualized medical treatment // Journal of Biomedical Science and Engineering.– 2013.– Т. 6.– P. 847.

References

1. Arnol'd VI. Teoriya katastrof. Moscow: URSS; 2004. Russian.

2. Baltikova AA, Bazhenova AE, Bashkatova YuV, Karpin VA, Gorlenko NP. Mnogomernaya khaoticheskaya dinamika tremora v otsenke reaktzii nervno-myshechnoy sistemy cheloveka na fizicheskuyu nagruzku. Vestnik novykh meditsinskikh tekhnologiy. Elektronnoe izdanie [internet]. 2013 [cited 2013 Apr 15];1:[about 4 p.]. Russian. available from: <http://vnmt.ru/Bulletin/E2013-1/4341.pdf>.

3. Burykin YuG, Braginskiy MYa, Maystrenko EV, Kozlova VV. Sostoyanie pokazateley neproizvol'nykh dvizheniy uchashchikhsya v usloviyakh fizicheskoy nagruzki v raznye sezony goda. Vestnik novykh meditsinskikh tekhnologiy. 2007;14(1):61-3. Russian.

4. Vokhmina YuV, Gavrilenko TV, Zimin MI. Modeli slozhnykh sistem s pozitsiy fiziki i teorii khaosa-samoorganizatsii. Slozhnost'. Razum. Post-neklassika. 2013;1:51-9. Russian.

5. Gavrilenko TV, Bazhenova AE, Baltikova AA, Bashkatova YuV, Maystrenko EV. Metod mnogomernykh fazovykh prostranstv v otsenke khaoticheskoy dinamiki tremora. Vestnik novykh meditsinskikh tekhnologiy. Elektronnoe izdanie [internet]. 2013 [cited 2013 Apr 15];1: [about 4 p.]. Russian. Available from: <http://vnmt.ru/Bulletin/E2013-1/4340.pdf>.

6. Gavrilenko TV, Vokhmina YuV, Dayanova DD, Berestin DK. Parametry kvaziattraktorov v otsenke statsionarnykh rezhimov biologicheskikh dinamicheskikh sistem s pozitsiy kompartmentno-klasterного podkhoda. Vestnik novykh meditsinskikh tekhnologiy. 2014;21(1):134-7. Russian.

7. Es'kov VV, Es'kov VM, Karpin VA, Filatov MA. Sinergetika kak tret'ya paradigma, ili ponyatie paradigmy v filosofii i

nauke. *Filosofiya nauki*. 2011;4:126-8. Russian.

8. Es'kov VV, Vokhmina YuV, Gavrilenko TV, Zimin MI. Modeli khaosa v fi-zike i teorii khaosa-samoorganizatsii. *Slozhnost'. Razum. Postneklassika*. 2013;2:42-56. Russian.

9. Es'kov VM, Filatova OE, Fudin NA, Khadartsev AA. Problema vybora optimal'nykh matematicheskikh modeley v teorii identifikatsii biologicheskikh di-namicheskikh sistem. *Sistemnyy analiz i upravlenie v biomeditsinskikh sistemakh*. 2004;3(2):150-2. Russian.

10. Es'kov VM, Zhivoglyad RN, Papshev VA, Popov YuM, Pashnin AS. Sistemnyy analiz i komp'yuternaya identifikatsiya sinergizma v biologicheskikh dinamicheskikh sistemakh. *Sistemnyy analiz i upravlenie v biomeditsinskikh sistemakh*. 2005;4(1):108-11. Russian.

11. Es'kov VM, Khadartsev AA, Es'kov VV, Filatova OE. Fluktuatsii i evo-lyutsii biosistem – ikh bazovye svoystva i kharakteristiki pri opisaniy v ramkakh si-nergeticheskoy paradigmy. *Vestnik novykh meditsinskikh tekhnologiy*. 2010;17(1):17-9. Russian.

12. Es'kov VM, Es'kov VV, Filatova OE, inventors; Sposob korrekcirovki lechebnogo ili lechebno-ozdorovitel'nogo vozdeystviya na patsienta. Russian Federation patent RU 2433788. 2010. Russian.

13. Es'kov VM, Es'kov VV, Kozlova VV, Filatov MA, inventors; Sposob korrekcirovki lechebnogo ili fizkul'turno-sportivnogo vozdeystviya na organizm cheloveka v fazovom prostranstve sostoyaniy s pomoshch'yu matrits rasstoyaniy. Russian Federation patent

RU 2432895. 2010. Russian.

14. Es'kov VM, Braginskiy MYa, Kozlova VV, Maystrenko EV. Diagnostika fiziologicheskikh funktsiy zhenshchin-plovtsov Yugry metodom rascheta matrits mezhklasternykh rasstoyaniy. *Sistemnyy analiz i upravlenie v biomeditsinskikh sistemakh*. 2010;9(3):500-4. Russian.

15. Es'kov VM, Es'kov VV, Gavrilenko TV, Zimin MI. Neopredelennost' v kvantovoy mekhanike i biofizike slozhnykh sistem complexity. *Vestnik Moskovskogo universiteta. Seriya 3: Fizika. Astronomiya*. 2014;5:41-6. Russian.

16. Es'kov VM, Es'kov VV, Gavrilenko TV, Vakhmina YuV. Kinematika biosistem kak evolyutsiya: statsionarnye rezhimy i skorost' dvizheniya slozhnykh sistem – complexity. *Vestn. Mosk. un-ta. Ser. 3. Fiz. Astron.* 2015;2:62-73. Russian.

17. Filatov MA, Filatova DYu, Poskina TYu, Strel'tsova TV. Metody teorii khaosa-samoorganizatsii v psikhofiziologii. *Slozhnost'. Razum. Postneklassika*. 2014;1:17-33. Russian.

18. Eskov VM, Filatova OE. Respiratory rhythm generation in rats: the importance of inhibition. *Neurophysiology*. 1993;25(6):420.

19. Eskov VM, Gavrilenko TV, Kozlova VV, Filatov MA. Measurement of the dynamic parameters of microchaos in the behavior of living biosystems. *Measurement Techniques*. 2012;55(9):1096-101.

20. Eskov VM, Khadartsev AA, Eskov VV, Filatova OE, Filatova DU. Chaotic approach in biomedicine: individualized medical treatment. *Journal of Biomedical Science and Engineering*. 2013;6:847.