

DOI: 10.12737/5515

**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ НЕЙРО-ЭВМ В ОЦЕНКЕ ХАОТИЧЕСКОЙ ДИНАМИКИ  
ПАРАМЕТРОВ НЕРВНО-МЫШЕЧНОЙ СИСТЕМЫ ЧЕЛОВЕКА ПРИ РАЗЛИЧНЫХ  
АКУСТИЧЕСКИХ ВОЗДЕЙСТВИЯХ**

В.В. КОЗЛОВА, Д.К. БЕРЕСТИН, С.М. НЕХАЙЧИК, А.А.ПРАСОЛОВА

*ГБОУ ВПО «Сургутский государственный университет ХМАО-Югры»,  
пр. Ленина, д.1, г. Сургут, Россия, 628412*

**Аннотация.** С использованием методов нейрокомпьютинга изучалось поведение вектора состояния организма человека (на примере поведения параметров треморограмм) в ответ на различные акустические воздействия (белый шум, ритмическая музыка, классическая музыка, хард-рок). Показаны различия в оценке динамики поведения параметров нервно-мышечной системы человека, а именно различная двигательная реакция (тремор) левой и правой рук на акустические воздействия. Выявлены общие закономерности в динамике поведения параметров тремора при различных акустических воздействиях на студентов г. Сургута. Анализ квазиаттракторов дифференцированных реакций левой и правой руки с помощью нейроэмулятора показал существенное различие на разные виды акустических воздействий. Асимметрия моторных реакций с позиций теории хаоса-самоорганизации более выражена, чем с позиций стохастического подхода, нейроэмулятор демонстрирует значимость всех воздействий на параметры тремора (решается задача системного синтеза).

**Ключевые слова:** квазиаттрактор, нервно-мышечная система, акустические воздействия, параметры порядка.

## USE OF NEURAL COMPUTER IN ESTIMATION OF CHAOTIC DYNAMICS OF NEUROMUSCULAR SYSTEM UNDER ACOUSTIC IMPACT

V.V. KOZLOVA, D.K. BERESTIN, S.M. NEKHAICHIK, A.A. PRASOLOVA

*Surgut State University, Lenina, 1, Surgut, Russia, 628412*

**Abstract.** The behavior of the human body state vector (for example, the reaction of tremorogram parameters) in response to different acoustic impacts (white noise, rhythmic music, classical music, hard rock) was studied by using the methods of neurocomputing. We showed the distinctions in the estimation of the behavioral dynamics of the parameters of the neuromuscular system, such as various motor reaction (tremor) of the left and right hands on the acoustic impact. The common regularities in the dynamics of behavior parameters of tremor at various acoustic impact on Surgut students hands were revealed. The analysis of quasi-attractors of differentiated reactions of left and right hands using neural emulators showed significant distinction on different types of acoustic impacts. Asymmetry of motor responses from the standpoint of the theory of chaos and self-organization was more marked than according to the stochastic approach. Neural emulator demonstrated the significance of all impacts on tremor parameters (system synthesis problem is being solved).

**Key words:** quasi-attractor, neuromuscular system, acoustic impacts, order parameters.

**Введение.** О тесной взаимосвязанности психических и моторных процессов, о единстве и целостности психомоторной сферы человека свидетельствуют многочисленные эксперименты в психофизиологии, в том числе и корреляции, установленные между глазодвигательной и общей двигательной активностью, с одной стороны и эффективностью психической деятельности с другой [1, 5]. Моторные и сенсорные процессы человека резко дифференцируются, когда они проявляются в сочетании с психическими процессами [1]. Однако, психосенсорная сфера максимально индивидуализирована: одну и ту же ситуацию (в нашем случае различные музыкальные стили) разные люди воспринимают с заметно разными оттенками, определяющимися и сиюминутным состоянием, и прошлым опытом восприятия каждого из них. Это отличается от реакций психомоторной сферы, которые скорее унифицированы: благодаря этой стороне психики люди общаются и понимают друг друга [1].

В данной работе представлены результаты решения весьма сложной задачи системного синтеза, который заключается в идентификации значимости разных реакций группы испытуемых на акустические воздействия. С помощью нейро-ЭВМ решается задача бинарной классификации при попытках разделения пяти различных

психических состояний. Для этого изначально подбирался специальным образом набор  $x_i$  (диагностических признаков), т.е. координат вектора состояния организма человека (ВСОЧ). Измерялись параметры тремора для конкретного человека или для группы симптоматично сходных людей. В общем случае, в медицине, это могут быть больные одним заболеванием или просто контрольная группа для сравнения [2,5]. При этом очень важно выбрать квалифицированно обучающие выборки, у которых бы параметры  $x_i$  группировались внутри компактного квазиаттрактора. Эта задача решается в рамках методов нейрокомпьютерных технологий и с использованием расчетов квазиаттракторов, а также статистического анализа всех результатов. Такая попытка совмещения всех трех парадигм используются впервые. Нейро-ЭВМ, настраиваясь на решение определенной задачи, уже исходно при каждой итерации устанавливает чисто хаотические связи, т.е. элементы хаоса мы вводим искусственно в виде начальных весов динамических признаков  $w_{i0}$ . Оказывается, что каждый раз веса связей различны и неповторимы (если пытаться выявить параметры порядка без повторных итераций). Нейросеть хаотична по своей природе, но при этом она способна самоорганизоваться и это является моделью работы мозга человека. В целом, мы сейчас пы-

таемся совместить методы *теории хаоса-самоорганизации* (ТХС) с традиционными стохастическими подходами. Таким образом, **целью** настоящей работы является изучение с помощью нейроэмуляторов особенностей хаотической динамики поведения параметров постурального тремора левой и правой руки испытуемых при воздействии разных типов звуковых сигналов и на этой основе идентифицировать параметры порядка (задача системного синтеза).

**Объект и стохастические методы исследования.** Исследование параметров движения вектора  $x=x(t)=(x_1, x_2, \dots, x_m)^T$  организма человека в фазовом пространстве состояний производилось методами ТХС [2-6, 11-14]. В рамках такого подхода идентифицировались параметры квазиаттракторов постурального тремора левой и правой руки испытуемых, которые существенно отличаются у учащихся разных возрастных групп. В настоящих исследованиях объектом наблюдения стали 29 студентов (девушек и юношей), обучающихся на 1-3 курсах ГБОУ ВПО «Сургутский государственный университет ХМАО–Югры». Обследование студентов производилось неинвазивными методами и соответствовало этическим нормам Хельсинской декларации (2000 г.). Работа выполнялась в рамках плана научных исследований лаборатории «Функциональные системы организма человека на Севере» при научно-исследовательском институте биофизики и медицинской кибернетики и темой НИОКР «Исследование поведения функциональных систем организма человека на Севере РФ методами многомерных фазовых пространств состояний» (№ 01200965147). Критерии включения: возраст студентов 17-20 лет; отсутствие жалоб на состояние здоровья в период проведения обследований; наличие информированного согласия на участие в исследовании. Критерии исключения: болезнь студента в период обследования.

Статистическая обработка данных осуществлялась при помощи следующих программных пакетов: «Excel MS Office-2003» и «Statistica 6.1». Соответствие структуры данных закону нормального распределения оценивалось на основе вычисления критерия Шапиро-Уилка (для вы-

борок  $n < 50$ ). Производилась идентификация параметров тремора на соответствие закону нормального распределения. Закон Гаусса не подтвердился, поэтому дальнейшие исследования зависимостей производились методами непараметрической статистики. Сравнение групп осуществлялось с использованием критерия Фридмана (при сравнении 3 и более зависимых групп) для оценки наличия различий между группами. Выявление различий между конкретными группами (парное сравнение групп) выполнялись при помощи непараметрического критерия Вилкоксона с поправкой Бонферрони (для оценки справедливости нулевой гипотезы) [7, 9].

Количество возможных попарных сравнений было рассчитано по формуле:  $n=0,5N(N-1)$ , где  $N$  – количество изучаемых групп. В нашем случае отмечено 5 групп (без воздействия и при воздействии белого шума, агрессивной, классической и ритмичной музыки), тогда максимальное количество возможных сравнений составит  $n=0,5 \times 5 \times (5-1)=10$ . Если оставить критический уровень значимости без изменений (0,05), то вероятность случайного обнаружения статистически значимых различий составит  $1-0,95^{10}=0,40$ , или 40,0%. Критический уровень значимости для данного примера при проведении всех 10 сравнений должен быть установлен на уровне  $1-0,95^{1/10}=0,0051$ , то есть статистически значимыми могут считаться только те различия, для которых  $p < 0,0051$  [6].

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 спокойном состоянии (при отсутствии активного акустического воздействия). На втором этапе испытуемому было предложено прослушать запись «белого» шума с одновременной регистрацией параметров *нервно-мышечной системы* (НМС). На третьем этапе к прослушиванию предлагалась ритмичная музыка, на четвертом – классическая музыка, на пятом агрессивная музыка – Hard Rock. Обследование производилось 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 [2,3].

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. Обработку сигналов с датчиков производили с использованием запатентованной программы (№ 2000610599 от 2000 г.), обеспечивающей получение спектральных характеристик и их анализ в фазовом пространстве состояний [11-14].

Расчет параметров *квазиаттракторов* (КА) производился по программам для ЭВМ, зарегистрированным в Федеральном агентстве по интеллектуальной собственности, патентам и товарным знакам (свидетельства № 2006613212 и № 2010108496). Кроме того, впервые мы совместили методы расчета ТХС и нейрокомпьютинг.

В работе использовался один из методов системного синтеза с помощью нейро-ЭВМ. Использовалась искусственная нейронная сеть, представляющая собой совокупность нейронов – элементов, связанных между собой определенным образом. Начальные веса диагностических признаков задавались программно из хаотического (равномерное распределение) интервала (0,1). Функционирование нейрона в нейрокомпьютере или нейропрограмме отдаленно напоминает работу биологического нейрона и каждый раз при решении задачи бинарной классификации, т.е. новой настройке, мы можем иметь различные параметры нейросетей (веса связей, например). Это значит, что нейросети могут решать одинаковые задачи, но их конфигурация при этом будет разной. Для решения нашей одинаковой задачи мы настраивали одну и ту же нейросеть многократно. Поскольку начальные веса  $w_i$  диагностических признаков  $x_i$  мы

брали хаотически, (аналогично работает и мозг человека), то настройка осуществлялась хаотическим образом. Одинаковым образом мы получали итог настройки – он завершался решением задачи бинарной классификации. В этой связи использование НЭВМ для решения поставленной задачи весьма оправдано и целесообразно. В качестве инструментария мы использовали нейросетевой имитатор NeuroPro 0,25, которая многократно повторяла настройку.

При этом мы предварительно рассчитывали площади КА регистрируемых треморограмм для всех 29 испытуемых в координатах  $x_1 = x_1(t)$  – положение пальца по отношению к датчику,  $x_2 = dx_1/dt = x_2(t)$ . Расчет площади (в общем случае объема  $V_G$ , т.к.  $x_3 = dx_2/dt$ ) производился на основе общей формулы  $V_G^k = \prod_{i=1}^m D_i^k$ , где  $D_i^k$  представляли вариационные размахи по каждой  $x_i$  координате. Полученная матрица площадей  $S_n$  КА (размерностью 29x5) представляется в виде табл. 1.

Пять столбцов образовывали параметры некоторого вектора состояния  $x = (x_1, x_2, \dots, x_5)^T$ , который характеризовал группу из 29 человек с позиций параметров КА тремора левой руки и параметров КА тремора правой руки. Далее решалась (на основе НЭВМ) задача бинарной классификации, т.е. устанавливалось различие в параметрах  $x_i$  общего вектора состояния левой руки и правой руки в ответ на действие 4-х типов акустических раздражителей и нахождения человека в спокойном состоянии. Если бы параметры  $x(t)$  левой и правой руки при бинарной классификации не различались с помощью НЭВМ, то мы бы констатировали отсутствие различий в реакции сенсорной системы и НМС на предъявляемые внешние возмущения (с позиций ТХС).

Отметим, что стохастические методы вообще в подобных сравнениях не могут быть использованы, т.к. функции распределения  $f(x)$  для треморограмм постоянно изменяются не только для разных параметров, но и в пределах регистрации  $t=5$  сек у каждого (!) обследуемого. Поэтому мы предлагаем новый (альтернативный) метод сравнения подобия (схожести) или различий сложных систем (на примере постурального тремора), который включает смешивание ТХС и традиционного стохастического подхода.

Таблица 1

Результаты статистической обработки данных динамики площадей КА параметров треморограмм ( $Z * 10^{-6}$  у.е.) представленных (Me и 5% процентиль, 95% процентиль) без акустического воздействия и с различными видами акустических воздействий для левой и правой рук испытуемых

ФИО	$S_{КА} * 10^{-6}$ (у.е.) для левой руки					$S_{КА} * 10^{-6}$ (у.е.) для правой руки				
	Без воздействия	Белый шум	Ритмичная музыка	Классическая музыка	Агрессивная музыка	Без воздействия	Белый шум	Ритмичная музыка	Классическая музыка	Агрессивная музыка
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1.	6,84	1,44	3,69	1,99	0,99	0,53	0,498	0,406	0,994	0,098
2.	1,52	3,56	2,27	2,45	1	0,82	0,811	0,854	1,8	3,21
3.	8,88	12,5	7	14,9	12,2	1,37	1,47	3,07	3,2	5,57
4.	11,8	8,17	10,1	10,1	4,55	0,90	0,82	0,331	1,39	0,658
5.	12,9	9,02	10,8	4,1	8,7	3,22	2,9	5,47	2,15	2,17
6.	3,14	6,92	0,959	4,07	2,15	0,64	1,72	0,231	1,77	0,669
7.	8,45	7,28	8,05	11,5	19,3	2,09	3,99	5,84	5,12	5,57
8.	3,77	7,31	5,72	3,64	0,599	3,56	2,8	1,39	1,54	1,61
9.	1,95	0,94	3,17	4,91	4,4	0,105	0,172	1,48	0,291	1,36
10.	3,31	12,5	6,43	2,07	1,66	0,649	1,98	1,62	0,972	0,574
11.	0,842	1,7	1,39	1,22	6,72	0,367	0,39	0,948	0,668	2,05
12.	0,608	1,02	1,79	0,83	0,789	0,159	0,685	0,676	0,79	0,538
13.	2,76	1,55	2,39	4,36	1,82	0,501	1,44	1,9	4,81	1,76
14.	6,74	8,31	1,55	10,4	1,26	0,934	5,04	1,3	4,14	2,11
15.	5,59	5,31	5,93	2,6	0,864	0,235	1,7	2,28	3,66	0,662
16.	2,43	2,07	7,3	1,1	4,12	0,976	0,786	3,72	1,83	1,32
17.	4,67	6,56	7,1	12	12,5	0,91	0,528	4,52	1,83	1,41
18.	8,28	4,36	3,1	2,2	3,61	4,42	2,38	2,46	2,04	1,55
19.	9,21	6,51	13,3	4,53	17,4	5,37	3,02	1,24	0,677	12,1
20.	1	0,19	0,997	0,0929	0,14	0,18	0,036	0,243	0,0368	0,156
21.	4,17	4,58	2,57	17,6	2,73	2,61	27,3	2,51	2,59	10,2
22.	13	12,9	24	14,1	10,7	1,94	2,55	2,04	2,97	2,7
23.	6,95	2,16	7,89	3,62	4,1	1,69	5,26	1,94	2,08	2,21
24.	44,27	20,5	26	19,5	11,6	7,62	6,29	5,77	4,36	4,27
25.	12,5	25,4	8,8	22,1	9,98	2,95	2,8	12,2	6	9,55
26.	11,7	6,97	20,5	11,7	29,7	1,72	6,05	9,35	8,45	6,34
27.	3,95	3,47	2,8	4,63	1,62	0,629	0,96	7,92	3,68	2,5
28.	5,84	5,38	3,4	5,56	2,53	3,67	3,12	3,55	2,59	1,22
29.	1,44	0,281	4,17	4,11	4,25	0,00397	0,0036	0,00417	0,00358	0,00377
Me (5%; 95%)* $10^{-6}$	5,59 (0,84; 13,00)	5,38 (0,28; 20,50)	5,72 (1,00; 24,00)	4,36 (0,83; 19,50)	4,10 (0,60; 19,30)	0,93 (0,11; 5,37)	1,72 (0,04; 6,29)	1,94 (0,23; 9,35)	2,04 (0,04; 6,00)	1,76 (0,10; 10,20)
Номера сравниваемых столбцов d	d <sub>1,6</sub>	d <sub>2,7</sub>	d <sub>3,8</sub>	d <sub>4,9</sub>	d <sub>5,10</sub>					

Примечание: d – данные статистически различимы между двумя парами номеров столбцов при уровне значимости  $p < 0,05$

Альтернативы предлагаемому методу (в рамках детерминизма и стохастики) нет. Также хаотические системы нельзя описывать только методами стохастики. Мы имеем второй тип неопределенности, когда непрерывно  $dx/dt \neq 0$  и все  $f(x)$  различаются даже у одного испытуемого.

**Результаты и их обсуждение.** Прежде всего, отметим, что мы рассчитывали все площади КА для 29 испытуемых, находящихся в 5-ти разных состояниях. Для всех

полученных кинематограмм были построены фазовые портреты микродвижений в координатах  $x_i$  ( $x_i = x_i(t)$ , т.е. удаления пальца от датчика, и  $x_2 = dx_1/dt$  (скорость перемещения пальца) [2-6,11,14]. Был проведен сравнительный статистический анализ поведения динамической системы управления движениями в режиме покоя и при акустическом воздействии на фазовой плоскости методом многомерных фазовых пространств [11-14]. Характерный пример фа-

зового портрета для испытуемого СКС представлен на рис. 1 (в данном случае размерность фазового пространства была равна двум). Легко видеть, что в данном примере размер площади КА вырос почти в 4 раза после звукового воздействия (это индивидуальная реакция). В большинстве случаев (статистически) средние значения площади уменьшались, что представлено в табл. 1. Очевидно, что статистически значимо отличаются только отдельные пары сравнения (1,6; 2,7; 3,8; 4,9; 5,10). Остальные пары с позиций стохастики не различаются (статистически значимо!), т.е. левая и правая рука (их тремор) не дают выраженных реакций на акустические воздействия при их внутригрупповых сравнениях (внутри КА левой руки, например).

Качественно изменение хаотической динамики можно увидеть на изменении геометрии и конфигурации КА на фазовой плоскости (рис. 1), количественные характеристики КА (средние значения их площадей) представлены в табл. 1 и на рис. 2.

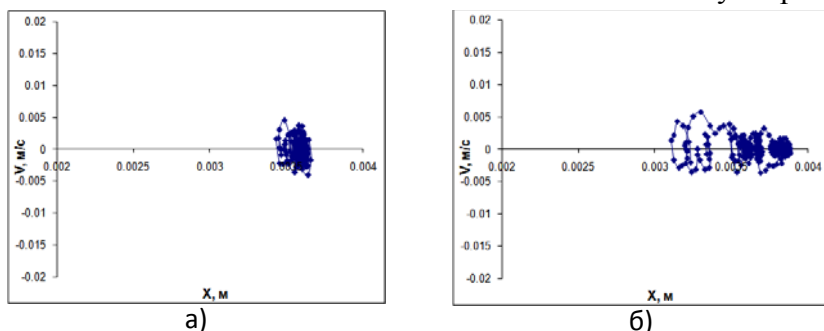


Рис. 1. Фазовый портрет параметров НМС (тремора) испытуемого СКС с координатами  $x_1, x_2 = dx_1/dt$ , для вектора НМС  $x = (x_1, x_2)$ : а) конфигурация квазиаттрактора правой руки испытуемого СКС до звукового воздействия  $S_{КА} = 1,98 \cdot 10^{-6}$  у.е. и б) изменения конфигурации квазиаттрактора правой руки испытуемого СКС после звукового воздействия  $S_{КА} = 7,29 \cdot 10^{-6}$  у.е.

На рис. 1 представлен характерный пример изменения конфигурации КА правой руки испытуемого СКС до и после звукового воздействия для одного испытуемого, по всей группе такие различия статистически незначимы.

Таким образом, в работе предлагается новый подход, основанный на анализе динамики площадей КА параметров НМС без

акустического воздействия и с различными видами акустических воздействий при одновременной регистрации треморограмм левой и правой рук испытуемых. Однако, этот подход не может установить различия в реакциях отдельно левой или правой руки на внешнее звуковое воздействие.

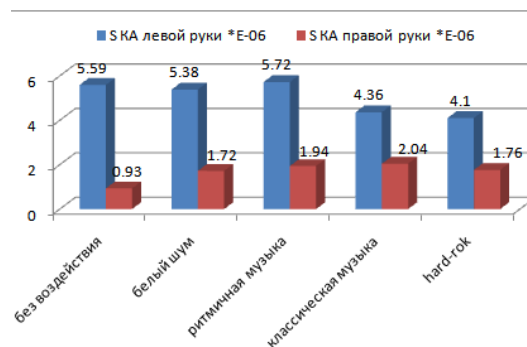


Рис.2. Динамика медиан площадей квазиаттракторов ( $Z \cdot 10^{-6}$  у.е.) параметров НМС (треморограмм) без акустического воздействия и с различными видами акустических воздействий с координатами  $x_1, x_2 = dx_1/dt$ , для вектора НМС  $x = (x_1, x_2)$  для левой и правой рук испытуемых

Проверка данных на соответствие закону нормального распределения оценивалась на основе вычисления критерия Шапиро-Уилка. Выявлено, что параметры треморограмм НМС без акустического воздействия и с различными видами акустических воздействий как для левой, так и для правой рук испытуемых не описываются законом нормального распределения, поэтому дальнейшие исследования зависимостей производились методами непараметрической статистики [4,6].

В табл. 1 данные по расчету площадей КА для 5-ти состояний испытуемых представлены не в виде расчета доверительного интервала, а как *медианы* (Me). Надежность используемых статистических оценок для расчетов принималась не менее 95%. Учитывая, что распределения параметров площадей КА треморограмм отличается от нормального, все данные представлены в

виде  $M_e$  и интерпроцентильного размаха. Интерпроцентильный размах указывается в виде 5 и 95% процентилей.

При сравнении между собой площадей КА треморограмм испытуемых для 5 зависимых групп (без воздействия и при воздействии белого шума, ритмичной музыки, классической и агрессивной для левой и правой рук у одного и того же испытуемого) наличие различий между группами при влиянии акустических воздействий оценивалось с использованием критерия Фридмана.

Критерий Фридмана не показал различий (отдельно для левой и правой руки) между группами (при отмеченном уровне значимости  $p < 0,05$ ). Как для левой ( $p = 0,324$ ), так и для правой руки ( $p = 0,103$ ) различные акустические воздействия вызывают статистически незначимые изменения параметров площадей КА, хотя отмечается как увеличение, так и уменьшение этих площадей при различных видах воздействия [4,6].

При сравнении параметров площадей КА треморограмм левой и правой руки одновременно при помощи критерия Фридмана была выполнена оценка различий между ними, но не ясно какие именно группы и при каких акустических воздействиях различаются между собой. После обнаружения статистически значимых различий между разными видами воздействий в целом необходимо провести попарные сравнения. Для выявления различий между показателями площадей КА треморограмм левой и правой рук (парное сравнение групп) использовался непараметрический критерий Вилкоксона с поправкой Бонферрони (для оценки справедливости нулевой гипотезы). Так как попарно нами сравнивалось пять групп, то новый критический уровень статистической значимости составил  $0,01 (0,05/5)$  [4,6].

На рис. 2 представлена динамика  $M_e$  площадей КА ( $S_{КА} \times 10^{-6}$  у.е.) параметров НМС (треморограмм) без акустического воздействия и с различными видами акустических воздействий для левой и правой рук испытуемых.

Анализируя результаты расчетов площадей КА треморограмм левой и правой рук испытуемых, представленных на рис.2, легко видеть, что площади КА для

левой руки гораздо больше, чем для правой, как без воздействия, так и при различных акустических воздействиях. Причем при сравнении результатов без воздействия ( $S_{КА} = 5,59 \times 10^{-6}$  у.е.) с результатами действия «белого» шума ( $S_{КА} = 5,38 \times 10^{-6}$  у.е.) отмечается уменьшение площадей КА. Ритмичная музыка, наоборот, несколько увеличивает площадь КА и составляет  $S_{КА} = 5,72 \times 10^{-6}$  у.е. Воздействие классической музыки уменьшает площадь КА до значения  $S_{КА} = 4,36 \times 10^{-6}$  у.е. Воздействие агрессивной музыки продолжает уменьшать площадь КА до  $S_{КА} = 4,10 \times 10^{-6}$  у.е. по сравнению с результатами без воздействия.

Опосредованная реакция правой руки на акустические воздействия несколько иная (рис. 2): минимальное значение площади установлено при отсутствии акустических воздействий и составляет  $S_{КА} = 0,93 \times 10^{-6}$  у.е. При действии «белого» шума, установлено увеличение площади КА до  $S_{КА} = 1,72 \times 10^{-6}$  у.е., также как и при прослушивании агрессивной музыки  $S_{КА} = 1,76 \times 10^{-6}$  у.е. Ритмичная музыка также увеличивает площадь КА и составляет ( $S_{КА} = 1,94 \times 10^{-6}$  у.е.). Максимальное увеличение площади КА отмечено при воздействии классической музыки, для которой площадь КА составляют  $S_{КА} = 2,04 \times 10^{-6}$  у.е.

Были выявлены статистически значимые различия (табл. 1) при сравнении площадей КА треморограмм левой и правой руки без воздействия ( $p = 0,000003$ ), при воздействии белого шума ( $p = 0,000161$ ), ритмичной музыки ( $p = 0,000114$ ), классической музыки ( $p = 0,000021$ ) и при прослушивании hard-rock музыки ( $p = 0,000836$ ) [4,6]. Таким образом, стохастика дает существенные различия между параметрами хаотической динамики тремора.

**Нейрокомпьютинг в изучении функциональной асимметрии.** 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. Достаточно обратить внимание на параметры площадей КА треморограмм двух рук (табл. 1), чтобы

увидеть начальные признаки функциональной асимметрии [2,3,5].

В работе предлагается новый подход, основанный на нейрокомпьютерном анализе динамики площадей КА параметров треморограмм без акустического воздействия (1-й столбец табл.1) и с различными видами акустических воздействий при одновременной регистрации треморограмм левой и правой рук испытуемых. Именно эти пять столбцов образовывали для нейро-ЭВМ компоненты  $x_i$  вектора состояния системы (ВСС) регуляции тремора левой руки (вектор  $x^l$ ) и правой руки (вектор  $x^r$ ) и они задают два состояния ВСС.

В настоящей работе использовалась нейро-ЭВМ для идентификации значимости параметров координат ВСОЧ в условиях влияния акустических воздействий на параметры треморограмм площадей КА. При этом нейроэмулятор обеспечивает идентификацию значимости диагностических признаков  $x_i$  при сравнении всех пяти сравнений площадей КА левой и правой рук испытуемых.

Так как для анализа треморограмм площадей КА мы использовали в общем случае 5 диагностических признаков  $x_i$  (без воздействия и при воздействии белого шума, агрессивной, классической и ритмичной музыки), то размерность фазового пространства используемого в нейрокомпьютере была равна 5 ( $m=5$ ). Все такие показатели  $x_i$  (количественные характеристики Ка – значения их площадей) для всех 29-ти испытуемых рассчитывались на ЭВМ и вводились в НЭВМ в качестве компонент ВСС  $x_i$ .

При применении критерия Шапиро-Уилка для описания результатов 30-ти обучений нейронной сети – весовых коэффициентов (табл. 2) за нулевую гипотезу принимается гипотеза о том, что изучаемое распределение полученных выходных значений весов признаков  $w_{ij}$  ( $j$  – номер итерации) на выходе НЭВМ не отличается от нормального, значит, если достигнутый уровень значимости при проверке гипотезы будет меньше, чем критический уровень значимости ( $p$ , обычно принимается равным 0,05), то нулевая гипотеза о сходстве распределений весовых коэффициентов отвергается, значит, распределение отличается от нормального. Соответственно, если  $p > 0,05$ , то распределение не отличается от нормального.

При проверке распределения полученных выходных значений весов признаков  $w_{ij}$  ( $j$  – номер итерации) на выходе НЭВМ (табл. 2) достигнутый уровень значимости для параметров без воздействия, при влиянии классической и агрессивной музыки представляет собой малую величину ( $p < 0,02$ ), что позволяет отвергнуть нулевую гипотезу о подчинении весовых коэффициентов закону нормального распределения. Для параметров «белый шум» и «ритмичная музыка» нулевую гипотезу при критическом уровне значимости 0,05 отвергнуть нельзя, значит можно сделать вывод о том, что влияние белого шума и ритмичной музыки на конечное значение весов  $w_{ij}$  в исследуемой выборке подчиняется закону нормального распределения.

На основании проверки распределения можно сделать вывод, что значения параметров весов  $w_{ij}$  признаков  $x_i$  для площадей КА треморограмм без воздействия и при влиянии классической и агрессивной музыки не подчиняются закону нормального распределения. Такие данные не рекомендуется описывать с помощью средней арифметической и стандартного отклонения, которые сильно подвержены влиянию крайних вариантов.

Ме значительно меньше подвержена такому воздействию, а потому она рекомендуется для описания асимметричных распределений. В качестве мер рассеяния рекомендуется использовать *процентили* (5 и 95-й). В связи с этим в итоге результаты полученных выходных значений весовых коэффициентов в табл. 2 представлены в виде  $Me$  и интерпроцентильного размаха. При анализе данных с помощью непараметрических критериев (табл. 2) используются ранги, что позволяет нивелировать эффект выскакивающих величин.

В табл. 2 представлены тридцать итераций обучения нейро-ЭВМ с целью различения площадей КА треморограмм левой и правой руки 29 человек, которым предъявлялось 4 вида акустических воздействий в качестве внешнего возмущения на регуляцию тремора. Использовались параметры площадей КА треморограмм по координатам  $x_i$  – перемещение пальца, а по вертикали  $x_c = dx_i/dt$ . Как видно из табл. 2, динамика изменения весовых коэффициентов колеблется



в среднем от 0,046 до 1, т.е. наблюдается сильная вариация диагностических признаков.

Таблица 2

**Результаты 30-ти обучений нейронной сети по бинарной классификации при диагностике различий в состояниях треморограмм правой и левой руки у 29 испытуемых, находящихся в 5-ти различных психических состояниях на основе анализа площадей КА ( $Z \times 10^{-6}$  у.е.) без акустического воздействия и с 4-мя видами акустических воздействий по координатам  $x_1, x_2 = dx/dt$  для вектора НМС  $x=(x_1, x_2)$  с последующей статистической обработкой**

№	$Z_i$ – значимость выходных весов $w_i$ ( $w_i = z \times 10^{-6}$ ), признаков $x_i$ при числе итераций нейросети $P=30$				
	Без воздействия $\times 10^{-6}$ , $w_{1j}$	Белый шум $\times 10^{-6}$ , $w_{2j}$	Ритмичная музыка $\times 10^{-6}$ , $w_{3j}$	Классическая музыка $\times 10^{-6}$ , $w_{4j}$	Агрессивная музыка $\times 10^{-6}$ , $w_{5j}$
1.	0,836	0,319	0,089	1	0,437
2.	0,832	0,905	1	0,895	0,77
3.	0,561	0,878	1	0,573	0,519
4.	0,882	0,693	1	0,636	0,378
5.	0,758	0,756	1	0,38	0,658
6.	1	0,634	0,605	0,646	0,229
7.	0,817	0,362	0,633	0,937	1
8.	1	0,07	0,065	0,426	0,565
9.	1	0,496	0,682	0,404	0,716
10.	1	0,105	0,062	0,306	0,474
11.	1	0,249	0,081	0,314	0,291
12.	1	0,154	0,153	0,575	0,727
13.	1	0,469	0,182	0,415	0,351
14.	1	0,343	0,187	0,834	0,971
15.	1	0,446	0,415	0,344	0,568
16.	1	0,867	0,77	0,47	0,627
17.	1	0,244	0,307	0,725	0,908
18.	0,789	0,388	0,193	1	0,705
19.	1	0,412	0,487	0,629	0,594
20.	1	0,07	0,136	0,28	0,23
21.	0,659	0,691	1	0,432	0,242
22.	0,711	0,436	0,33	1	0,551
23.	1	0,659	0,593	0,471	0,284
24.	1	0,091	0,046	0,174	0,224
25.	0,769	0,778	0,133	1	0,467
26.	0,669	0,796	0,911	1	0,43
27.	1	0,433	0,565	0,863	0,255
28.	0,602	0,66	1	0,339	0,438
29.	1	0,384	0,587	0,472	0,684
30.	1	0,792	0,278	0,579	0,26
$X_{cp}$	0,896	0,518	0,486	0,604	0,483
ДИ (5%; 95%)* $10^{-6}$	(0,843; 0,950)	(0,434; 0,603)	(0,389; 0,583)	(0,507; 0,701)	(0,352; 0,614)
Me (5%; 95%)* $10^{-6}$	1 (0,602; 1,000)	0,497 (0,229; 0,971)	0,441 (0,070; 0,878)	0,574 (0,280; 1,000)	0,451 (0,062; 1,000)
p	0,000	0,097	0,123	0,017	0,003

Примечание:  $X_{cp}$ , (95% ДИ  $\times 10^{-6}$ ) – интервальная оценка популяционной средней представлена с помощью доверительных интервалов (ДИ);

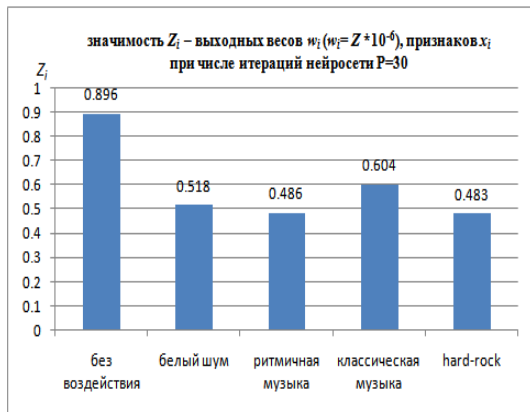
Me (5%;95%)\* $10^{-6}$  для описания асимметричных распределений использована медиана, а в качестве мер рассеяния процентиля (5 и 95-й); p – достигнутый уровень значимости при проверке типа распределения (на нормальность) с помощью критерия Шапиро-Уилка (при критическом уровне значимости принятым равным  $p > 0,05$ )

При усреднении медианные весовые значения параметров НМС 30-ти обучений нейронной сети по исходным данным из табл. 1 площадей КА ( $Z \times 10^{-6}$  у.е.) при решении задачи бинарной классификации для сравнения левой и правой руки испытуемых мы установили, что имеются наибольшие различия группы данных  $x_i$  без акустического воздействия ( $w_{ij}$  составляют 1,00 у.е.). При воздействии классической музыки весовой коэффициент составляет 0,574 у.е. При воздействии hard-rock музыки, белого шума и ритмичной музыки весовые коэффициенты не превышают 0,497 у.е., т.е. они меньше 0,5 (табл. 2).

Если брать просто средние значения, то указанные значения весов  $x_i$  примут следующие значения  $w_1=0,896$  (1);  $w_2=0,604$  (0,574);  $w_3=0,518$  (0,497);  $w_4=0,486$  (0,441);  $w_5=0,483$  (0,451). Очевидно, что общая тенденция сохраняется ( $w_1$  и  $w_4$  – лидеры), но цифры средних и Me несколько различаются. Существенно, что такая динамика проявляется для значений  $P \leq 50$ . При переходе к  $P=100$  или  $P=1000$  (где  $j=1,2, \dots, P$ ) картина резко изменяется – все распределения становятся непараметрическими и  $w_i$  сходятся к некоторым предельным (устойчивым) значениям. В этом сущность нашего нового метода (метод итераций).

Полученный результат свидетельствует о микрохаотической динамике поведения нейросети, т.к. в результате обучения нейросеть будет выдавать разные результаты ранговой значимости, т.е. вклад каждого признака в процедуру идентификации важных диагностических признаков при каждой итерации бинарной классификации (настройке нейроэмулятора) будет различным. Иными словами нейросеть в режиме разовой настройки нельзя использовать для идентификации параметров порядка, т.е. наиболее важных диагностических признаков. В одном цикле будут важны одни  $x_i$ , а в другом – другие и даже искусственная нейросеть (а тем более реальные нейросети

мозга) показывает, что она не может повторить свое внутреннее состояние даже идентично два раза.



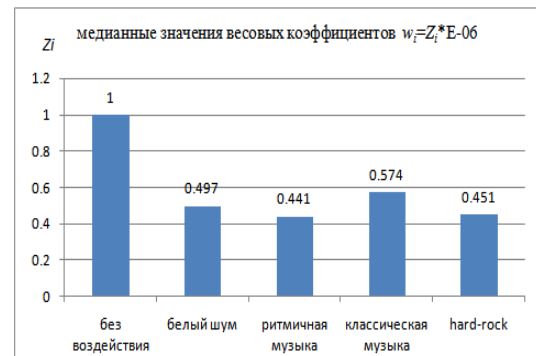
*Рис.3.* Средние значения весов  $w_i$  диагностических признаков  $x_i$  по  $P=30$  обучением нейронной сети на основании различения (разделения по значимости) площадей квазиаттракторов ( $Z \times 10^{-6}$  у.е.) параметров тремора без акустического воздействия  $w_i$  и с различными видами акустических воздействий по координатам  $x_1, x_2 = dx_1/dt$ , для вектора НМС  $x = (x_1, x_2)$  при сравнении левой и правой рук испытуемых (решение задачи бинарной классификации)

На рис. 3 представлены интегративные результаты настройки нейросети при малых итерациях (30 обучений) для всех 5 количественных характеристик КА (средние значения весов  $w_{ij}$  признаков  $x_i$  по параметрам площадей КА при различных акустических воздействиях) при сравнении левой и правой рук испытуемых. Здесь диагностическими признаками являются значения площадей КА треморограмм всех 29 испытуемых по параметрам треморограмм  $x_1$  и  $x_2$  в фазовом пространстве состояний ( $m=2$ ) для  $j=1,2,\dots,29$  и  $P=30$ . В этом случае нейросеть диагностирует веса этих 5 признаков  $w_i$  на выходе так, что в качестве  $x_i$  выступают площади КА.

Фактически, мы показываем, что наибольший вклад в различие тремора левой и правой рук вносит группа в исходном состоянии (без воздействия), т.к.  $w_1=0,9$ . На втором месте находится группа с воздействием классической музыки ( $w_4=0,6$ ). Остальные группы в задачу разделения КА тремора вносят менее существенный вклад,

т.е.  $w_1$  и  $w_4$  – это параметры порядка. При этих состояниях тремор левой и правой руки наиболее (информационно значимо) различается. Остальные психические состояния вносили менее значимый вклад.

То, что оставшиеся признаки  $x_2, x_3, x_5$  (и их веса) являются менее значимыми и почти одинаковыми говорит о том, что эти психические состояния почти эквивалентны в смысле влияния акустических воздействий на параметры тремора (тремор приблизительно одинаково изменяется под их воздействием).



*Рис.4.* Медианные значения весов  $w_i$  диагностических признаков  $x_i$  по  $P=30$  обучением нейронной сети на основе анализа площадей квазиаттракторов ( $Z \times 10^{-6}$  у.е.) параметров НМС без акустического воздействия  $w_i$  и с различными видами акустических воздействий по координатам  $x_1, x_2 = dx_1/dt$ , для вектора НМС  $x = (x_1, x_2)$  при сравнении левой и правой рук испытуемых (решение задачи бинарной классификации)

На рис. 4 представлены медианные значения весов  $w_i$  диагностических признаков  $x_i$  по  $P=30$ -ти обучением нейронной сети на основе нейрокомпьютерного анализа площадей КА ( $Z \times 10^{-6}$  у.е.) параметров НМС без акустического воздействия и с различными видами акустических воздействий при сравнении треморограмм левой и правой рук испытуемых.

Анализируя рис. 4, отметим, что общая тенденция остается аналогичной как на рис. 3, т.е. параметрами порядка остаются весовые коэффициенты  $w_1$  и  $w_4$ , но чуть сдвинуты акценты. При этом 2, 3 и 5 группы диагностических признаков  $x_i$  остаются менее значимыми, а 1 и 4 группы квазиаттракторов играют решающую роль в разделении хаотических параметров треморограмм ле-

вой и правой руки у 29 испытуемых. В спокойном состоянии (без акустических воздействий) и при прослушивании классической музыки тремор левой и правой руки различается наиболее существенно.

На следующем этапе исследования количество обучений нейронной сети по параметрам площадей КА ( $Z \times 10^{-6}$  у.е.) параметров треморограмм при различных акустических воздействиях в режиме бинарной классификации (при сравнении левой и правой рук испытуемых) было увеличено до 200 итераций.

Таблица 3

**Результаты статистической обработки P=200-от обучений (итераций) нейронной сети решения задачи бинарной классификации по данным площадей квазиаттракторов ( $Z \times 10^{-6}$  у.е.) параметров треморограмм без акустического воздействия  $w_i$  и с различными видами акустических воздействий с координатами  $x_1, x_2 = dx_1/dt$ , для вектора НМС  $x=(x_1, x_2)$  при сравнении левой и правой рук испытуемых**

	$Z_i$ – значимость выходных весов $w_i$ ( $w_i = Z \times 10^{-6}$ ), признаков $x_i$ при числе итераций нейросети P=200				
	Без воздействия $\times 10^{-6}, w_{1j}$	Белый шум $\times 10^{-6}, w_{2j}$	Ритмичная музыка $\times 10^{-6}, w_{3j}$	Классическая музыка $\times 10^{-6}, w_{4j}$	Агрессивная музыка $\times 10^{-6}, w_{5j}$
Хср. (95% ДИ* $10^{-6}$ )	0,918 (0,899; 0,937)	0,561 (0,529; 0,592)	0,418 (0,387; 0,449)	0,586 (0,551; 0,621)	0,464 (0,421; 0,507)
Me (5;95%)* $10^{-6}$	1 (0,603; 1,000)	0,548 (0,233; 1,000)	0,383 (0,106; 0,847)	0,535 (0,224; 1,000)	0,401 (0,086; 1,000)
p	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000

Примечание: Хср.(95% ДИ\* $10^{-6}$ ) – интервальная оценка популяционной средней представлена с помощью доверительных интервалов (ДИ); Me (5;95%)\* $10^{-6}$  для описания асимметричных распределений использована медиана, а в качестве мер рассеяния процентиля (5 и 95-й); p – достигнутый уровень значимости при проверке типа распределения (на нормальность) с помощью критерия Шапиро-Уилка (при критическом уровне значимости принятым равным  $p > 0,05$ ).

Анализ табл. 3 показал, что медианные значения весовых коэффициентов  $w_i$  параметров треморограмм (площадей квазиаттракторов ( $Z \times 10^{-6}$  у.е.)) после 200-от обучений нейронной сети при сравнении левой и правой руки испытуемых имеют наибольшие различия без акустического воздействия и составляют 1,00 у.е.; при влиянии белого шума и классической музыки Me весовых коэффициентов  $w_i$  составляют 0,548 у.е. и 0,535 у.е. соответственно. При влиянии ритмической и агрессивной музыки весовые коэффициенты не превышают 0,4 у.е., т.е. они наименее значимы в смысле диагностики параметров порядка при сравнении треморограмм левой и правой руки.

Таблица 4

**Попарные сравнения усредненных значений весов ( $w_i = Z \times 10^{-6}$  у.е.) после 200-от обучений нейронной сети параметрам треморограмм в виде площадей квазиаттракторов ( $Z \times 10^{-6}$  у.е.) без акустического воздействия  $w_i$  и с различными видами акустических воздействий при сравнении левой и правой рук испытуемых в режиме бинарной классификации с помощью непараметрического критерия Вилкоксона (при критическом уровне значимости принятым равным  $p > 0,0051$ )**

	p – достигнутый уровень значимости с помощью критерия Вилкоксона				
	Без воздействия $\times 10^{-6}, w_{1j}$	Белый шум $\times 10^{-6}, w_{2j}$	Ритмичная музыка $\times 10^{-6}, w_{3j}$	Классическая музыка $\times 10^{-6}, w_{4j}$	Агрессивная музыка $\times 10^{-6}, w_{5j}$
Без воздействия $\times 10^{-6}, w_{1j}$		0,000	0,000	0,000	0,000
Белый шум $\times 10^{-6}, w_{2j}$	0,000		0,000	0,298	0,000
Ритмичная музыка $\times 10^{-6}, w_{3j}$	0,000	0,000		0,000	0,028
Классическая музыка $\times 10^{-6}, w_{4j}$	0,000	0,298	0,000		0,004
Агрессивная музыка $\times 10^{-6}, w_{5j}$	0,000	0,000	0,028	0,004	

На основании проверки полученных распределений можно сделать вывод, что значения параметров весовых коэффициентов при различных акустических воздействиях не подчиняются закону нормального распределения, а имеют асимметричное распре-

деление. В этом случае статистический критерий Шапиро-Уилка показывает, что нулевую гипотезу об отсутствии различий между распределением в каждой из групп и нормальным распределением необходимо отвергнуть ( $p < 0,05$ ). В связи с этим данные (табл. 3) представлены в виде  $M_e$  и интерквартильного размаха, и демонстрируют непараметрические распределения  $w_i$  во всех группах при различных видах акустических воздействий. Наличие различий между группами (при различных акустических воздействиях) в целом оценивалось с помощью критерия Фридмана ( $p < 0,00000$ ) и только после обнаружения таковых проводились попарные сравнения с помощью непараметрического критерия Вилкоксона (с поправкой Бонферрони) (табл. 4).

За нулевую принимается гипотеза об отсутствии различий между группами при влиянии различных акустических воздействий. Результаты попарного сравнения показали отсутствие различий (возможно, что они из одной генеральной совокупности) между группами классическая музыка – белый шум ( $p = 0,298$ ) и ритмичная – агрессивная музыка ( $p = 0,028$ ) при критическом уровне значимости ( $p < 0,0051$ , т.к. сравнивалось 5 групп).

Таблица 5

**Усредненные значения весов  $w_i$  ( $w_i = Z \times 10^{-6}$  у.е.) после 200-от обучений нейронной сети по различению параметров треморограмм на основе расчета площадей квазиаттракторов ( $Z \times 10^{-6}$  у.е.) без акустического воздействия и с различными видами акустических воздействий при сравнении левой и правой рук испытуемых в режиме бинарной классификации**

	Zi – значимость выходных весов $w_i$ ( $w_i = Z \times 10^{-6}$ ), признаков $x_i$ при числе итераций нейросети P=200				
	Без воздействия $\times 10^{-6}$ , $w_{1j}$	Белый шум $\times 10^{-6}$ , $w_{2j}$	Ритмичная музыка $\times 10^{-6}$ , $w_{3j}$	Классическая музыка $\times 10^{-6}$ , $w_{4j}$	Агрессивная музыка $\times 10^{-6}$ , $w_{5j}$
Итерации с 1-50					
Хср, (95% ДИ $\times 10^{-6}$ )	0,898 (0,856; 0,941)	0,613 (0,542; 0,685)	0,387 (0,322; 0,452)	0,606 (0,530; 0,681)	0,420 (0,335; 0,505)
$M_e$ (5%;95%) $\times 10^{-6}$	1 (0,593; 1,000)	0,620 (0,195; 1,000)	0,329 (0,081; 1,000)	0,547 (0,209; 1,000)	0,271 (0,082; 1,000)
Итерации с 51-100					
Хср, (95% ДИ $\times 10^{-6}$ )	0,917 (0,875; 0,960)	0,529 (0,474; 0,584)	0,406 (0,346; 0,465)	0,614 (0,541; 0,688)	0,443 (0,354; 0,532)

Продолжение таблицы 5

$M_e$ (5%;95%) $\times 10^{-6}$	1 (0,585; 1,000)	0,517 (0,251; 0,905)	0,382 (0,104; 0,795)	0,564 (0,224; 1,000)	0,346 (0,083; 1,000)
достигнутый уровень значимости - p	0,000	0,101	0,121	0,013	0,000
Итерации с 101-150					
Хср, (95% ДИ $\times 10^{-6}$ )	0,952 (0,927; 0,978)	0,549 (0,486; 0,612)	0,427 (0,366; 0,488)	0,520 (0,456; 0,585)	0,465 (0,377; 0,553)
Итерации с 151-200					
$M_e$ (5%;95%) $\times 10^{-6}$	1 (0,737; 1,000)	0,568 (0,204; 1,000)	0,396 (0,121; 0,842)	0,480 (0,178; 0,927)	0,351 (0,099; 1,000)
достигнутый уровень значимости - p	0,000	0,179	0,201	0,225	0,000
Итерации с 151-200					
Хср, (95% ДИ $\times 10^{-6}$ )	0,904 (0,861; 0,947)	0,552 (0,487; 0,616)	0,453 (0,388; 0,517)	0,603 (0,532; 0,675)	0,529 (0,440; 0,618)
$M_e$ (5%;95%) $\times 10^{-6}$	1 (0,592; 1,000)	0,516 (0,233; 0,995)	0,417 (0,137; 0,880)	0,525 (0,259; 1,000)	0,519 (0,086; 1,000)
достигнутый уровень значимости - p	0,000	0,189	0,069	0,001	0,003

Примечание: Хср. (95% ДИ  $\times 10^{-6}$ ) – интервальная оценка популяционной средней представлена с помощью доверительных интервалов (ДИ);  $M_e$  (5%;95%)  $\times 10^{-6}$  для описания асимметричных распределений использована медиана, а в качестве мер рассеяния процентиля (5 и 95-й); p – достигнутый уровень значимости при проверке типа распределения (на нормальность) с помощью критерия Шапиро-Уилка (при критическом уровне значимости принятым равным  $p > 0,05$ )

Далее выборка из 200 значений весовых коэффициентов была разбита на 4 интервала по 50 итераций, для которых были проверены типы распределения, рассчитаны медианы и средние значения весовых коэффициентов и выполнена оценка статистического критерия для проверки гипотез, которые представлены в табл. 5.

Тип распределения данных  $w_i$  определяет выбор статистических критериев для проверки гипотез. Ввиду отклонения распределения от нормального, для сравнения влияния различных акустических воздействий необходимо сначала оценить наличие различий между группами в целом и только после обнаружения таковых проводить по-

парные сравнения с помощью непараметрического критерия Вилкоксона (с поправкой Бонферрони). За нулевую принимается гипотеза об отсутствии различий между группами при влиянии различных акустических воздействий.

Выполнив анализ весовых коэффициентов  $w_i$  влияния различных акустических воздействий при разбиении на 4 интервала по 50 итераций были получены следующие результаты: в первом интервале (итерации 1-50) установлены асимметричные распределения как в группе без акустического воздействия, так и в группах с различными видами акустических воздействий. Во втором интервале (итерации 51-100) распределение значений весовых коэффициентов подчинялось закону нормального распределения при влиянии белого шума и ритмичной музыки ( $p=0,101$  и  $p=0,121$  соответственно). В третьем интервале (итерации 101-150) закону нормального распределения помимо влияния белого шума и ритмичной музыки подчинялось значение весовых коэффициентов при влиянии классической музыки ( $p=0,225$ ). В четвертом интервале закону нормального распределения подчинялось значение весовых коэффициентов только при влиянии белого шума ( $p=0,189$ ), в остальных случаях были установлены асимметричные распределения. Поэтому в табл. 5 представлены результаты как с помощью средних арифметических, так и в  $M_e$  при влиянии различных акустических воздействий. Это обеспечивает сравнение двух подходов в оценке различий параметров  $w_i$  для левой и правой руки.

Наиболее значимые параметры  $M_e$  весовых коэффициентов отмечаются в группе без воздействия и составляют  $w_i=1,00$  у.е. для всех четырех интервалов. На втором месте по значимости находятся  $M_e$  весовых коэффициентов при влиянии белого шума и классической музыки, которые находятся вблизи 0,6 у.е. Существенно, что и в средних значениях и в  $M_e$  эти состояния организма по параметрам тремора находятся устойчиво на 2 и 3-х местах по уровню значимости. Увеличение числа итераций (переход от  $P=50$  к  $P=200$ ) завершает ранжирование  $w_2$  и  $w_4$ , но по медиане

$w_2$  имеет более высокий показатель ( $w_2=0,548$  против  $w_4=0,535$ ), хотя по средним значениям весов картина обратная. Агрессивная и классическая музыка имеют одинаковую картину. Существенно, что при сравнении выборок по  $P=50$  (табл. 5) мы имеем постоянно изменяющуюся картину значимости  $w_2$  и  $w_4$ . Это показывает, что при малом числе итераций решение о ранжировании состояний тремора (различий левой и правой рук) будет ошибочным как по статистике средних значений весовых коэффициентов, так и по  $M_e$ . Хотя в этом случае возможны и нормальные распределения,  $M_e$  весовых коэффициентов при влиянии ритмичной и агрессивной музыки не превышают 0,4 у.е. (табл. 5).

Динамика весовых коэффициентов  $w_i$  при различных акустических воздействиях представлена в виде диаграмм на рис. 5. Максимальный весовой коэффициент установлен для группы без воздействия (1,00 у.е.) – основной параметр порядка. Похожее воздействие на медианные значения весовых коэффициентов  $w_i$  параметров треморограмм (площадей  $KA - Z * 10^{-6}$  у.е.) оказывают классическая музыка и белый шум, их весовые коэффициенты не превышают 0,6 у.е. Для ритмичной и агрессивной музыки весовые коэффициенты не превышают 0,4 у.е.

Наличие различий между группами (при различных акустических воздействиях) в целом оценивалось с помощью критерия Фридмана ( $p<0,00000$ ) и только после обнаружения таковых проводились попарные сравнения с помощью непараметрического критерия Вилкоксона (с поправкой Бонферрони). За нулевую принимается гипотеза об отсутствии различий между группами при влиянии различных акустических воздействий.

Анализ табл. 6 показал максимальное количество различий для первого интервала (итерации с 1 по 50) и минимальное количество различий для 4-го интервала (с 151 по 200 итерацию).

На рис. 6 представлен наглядный пример распределения весовых коэффициентов (итерации с 1 по 50), который показывает характер изменения весов  $w_{i,j}$  при-

знаков  $x_j$ . Они имеют явно выраженный непериодичный характер, но веса сходятся к своим предельным значениям, если  $p \rightarrow \infty$ .

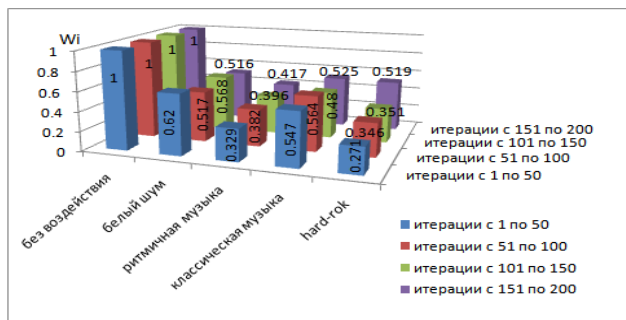


Рис. 5. Диаграмма медианных значений весовых коэффициентов параметров треморограмм (площадей квазиаттракторов ( $Z \times 10^{-6}$  у.е.)) после 200-от обучений искусственной нейронной сети (итерации с 1 по 200) при различных акустических воздействиях

Таблица 6

**Попарные сравнения усредненных значений весов  $w_i$  ( $w_i = Z \times 10^{-6}$  у.е.) после 200-от обучений нейронной сети по параметрам треморограмм в виде площадей квазиаттракторов ( $Z \times 10^{-6}$  у.е.) без акустического воздействия  $w_i$  и с различными видами акустических воздействий при сравнении левой и правой рук испытуемых в режиме бинарной классификации с помощью непараметрического критерия Вилкоксона (при критическом уровне значимости принятым равным  $p > 0,0051$ )**

	p – достигнутый уровень значимости с помощью критерия Вилкоксона				
	Без воздействия $\times 10^{-6}$ , $w_{1j}$	Белый шум $\times 10^{-6}$ , $w_{2j}$	Ритмичная музыка $\times 10^{-6}$ , $w_{3j}$	Классическая музыка $\times 10^{-6}$ , $w_{4j}$	Агрессивная музыка $\times 10^{-6}$ , $w_{5j}$
Итерации с 1-50					
Без воздействия $\times 10^{-6}$ , $w_{1j}$		0,000	0,000	0,000	0,000
Белый шум $\times 10^{-6}$ , $w_{2j}$	0,000		0,000	0,969	0,000
Ритмичная музыка $\times 10^{-6}$ , $w_{3j}$	0,000	0,000		0,000	0,554
Классическая музыка $\times 10^{-6}$ , $w_{4j}$	0,000	0,969	0,000		0,004
Агрессивная музыка $\times 10^{-6}$ , $w_{5j}$	0,000	0,000	0,554	0,004	
Итерации с 51-100					
Без воздействия $\times 10^{-6}$ , $w_{1j}$		0,000	0,000	0,000	0,000

Продолжение таблицы 6

Белый шум $\times 10^{-6}$ , $w_{2j}$	0,000		0,003	0,037	0,081
Ритмичная музыка $\times 10^{-6}$ , $w_{3j}$	0,000	0,003		0,000	0,409
Классическая музыка $\times 10^{-6}$ , $w_{4j}$	0,000	0,037	0,000		0,005
Агрессивная музыка $\times 10^{-6}$ , $w_{5j}$	0,000	0,081	0,409	0,005	
Итерации с 101-150					
Без воздействия $\times 10^{-6}$ , $w_{1j}$		0,00	0,000	0,000	0,000
Белый шум $\times 10^{-6}$ , $w_{2j}$	0,000		0,002	0,337	0,030
Ритмичная музыка $\times 10^{-6}$ , $w_{3j}$	0,000	0,002		0,027	0,401
Классическая музыка $\times 10^{-6}$ , $w_{4j}$	0,000	0,337	0,027		0,337
Агрессивная музыка $\times 10^{-6}$ , $w_{5j}$	0,000	0,030	0,401	0,337	
Итерации с 151-200					
Без воздействия $\times 10^{-6}$ , $w_{1j}$		0,000	0,000	0,000	0,000
Белый шум $\times 10^{-6}$ , $w_{2j}$	0,000		0,019	0,241	0,508
Ритмичная музыка $\times 10^{-6}$ , $w_{3j}$	0,000	0,019		0,001	0,053
Классическая музыка $\times 10^{-6}$ , $w_{4j}$	0,000	0,241	0,001		0,201
Агрессивная музыка $\times 10^{-6}$ , $w_{5j}$	0,000	0,508	0,053	0,201	

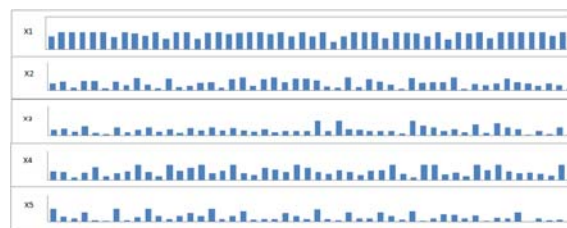


Рис. 6. Диаграмма распределения весовых коэффициентов  $w_i$  (итерации с 1 по 50) каждого из параметров ( $x_j$ ) для каждого  $j$ -го обучения (метод градиентного спуска) искусственной нейронной сети ( $j = 1, \dots, 50$ ). Здесь:  $x_1$  – динамика весовых коэффициентов  $w_i$  параметров треморограмм площадей квазиаттракторов ( $Z \times 10^{-6}$  у.е.) без акустического воздействия;  $x_2$  – динамика весовых коэффициентов  $w_i$  параметров треморограмм площадей квазиаттракторов ( $Z \times 10^{-6}$  у.е.) при воздействии белого шума;  $x_3$  – динамика весовых коэффициентов  $w_i$  параметров треморограмм площадей квазиаттракторов ( $Z \times 10^{-6}$  у.е.) при воздействии ритмичной музыки;  $x_4$  – динамика весовых коэффициентов  $w_i$  параметров треморограмм площадей квазиаттракторов ( $Z \times 10^{-6}$  у.е.) при воздействии классической музыки;  $x_5$  – динамика весовых коэффициентов  $w_i$  параметров треморограмм площадей квазиаттракторов ( $Z \times 10^{-6}$  у.е.) при воздействии агрессивной (hard-rock) музыки

**Заключение.** Асимметрия моторных реакций с позиций теории хаоса-самоорганизации более выражена, чем с

позиций стохастического подхода. Любое направленное акустическое воздействие, изменяя психическое состояние человека, изменяет значения параметров квазиаттракторов НМС, о чем свидетельствуют изменения площадей квазиаттракторов. Усредненные реакции левой руки на звуковое раздражение испытуемых существенно отличаются от реакции на звук для правой руки испытуемых. Результаты обучения нейросети показывают разные результаты ранговой значимости, т.е. вклад каждого признака (обусловленного особым психическим состоянием) в процедуру идентификации важных диагностических признаков при каждой итерации (настройке нейроэмулятора) будет различным.

В целом, нейросеть в режиме разовой настройки нельзя использовать для идентификации параметров порядка, т.е. наиболее важных диагностических признаков. В одном цикле будут важны одни  $x_i$ , а в другом – другие. В этом случае даже искусственная нейросеть показывает, что она не может повторить свое внутреннее состояние идентично даже два раза. Для миллиардов нейронов мозга поведение конкретного состояния вообще невозможно в принципе.

Несмотря на полученный результат, нами была подтверждена асимметрия моторных реакций в отношении левой и правой руки. Это подтверждается новыми и разными методами теории хаоса-самоорганизации и статистики. Однако, асимметрия моторных реакций с позиций теории хаоса-самоорганизации более выражена, чем с позиций стохастического подхода. Нейроэмуляторы следует использовать для подобной идентификации при очень больших числах итераций задачи бинарной классификации.

#### **Выводы:**

1. Любое направленное акустическое воздействие изменяет значения параметров квазиаттракторов НМС, о чем свидетельствуют изменения площадей квазиаттракторов.

2. Усредненные реакции левой руки на звуковое раздражение испытуемых существенно отличается от реакции на звук для правой руки испытуемых.

3. Детальный анализ параметров квазиаттракторов показывает возможность совмещения методов стохастики, теории хаоса-самоорганизации и нейрокомпьютинга.

Можно совместно использовать три подхода и выявлять существенные закономерности в состоянии биосистем.

#### **Литература**

1. Брагина Н.Н., Доброхотова Т.А. Функциональные асимметрии человека.– 2-е изд., перераб. и доп.– М.: Медицина, 1988.– 240 с.

2. Еськов В.М., Гавриленко Т.В., Дегтярев Д.А., Еськов В.В., Балтикова А.А.. Динамика квазиаттракторов параметров произвольных микродвижений конечностей человека как реакция на локальные термические воздействия // Вестник новых медицинских технологий. – 2012.– Т. 19, № 4.– С. 26-29.

3. Еськов В.М., Козлова В.В., Дегтярев Д.А., Булдин А.Н., Черников Н.А. Влияние различных акустических воздействий на динамику параметров нервно-мышечной системы человека // Вестник новых медицинских технологий (Электронное издание).– 2013.– № 1. URL: <http://www.medtsu.tula.ru/VNMT/Bulletin/E2013-1/4339.pdf>

4. Еськов В.М., Бурькин Ю.Г., Вохмина Ю.В., Нехайчик С.В., Романова Ю.В. Произвольность и непроизвольность в организации теппинга с позиций теории хаоса-самоорганизации. // Сложность. Разум. Постнеклассика.– 2013.– №1.– С.60–67.

5. 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.

6. Реброва О.Ю. Статистический анализ медицинских данных. Применение пакета прикладных программ STATISTIKA.– М.: МедиаСфера, 2002.– 312 с.

7. Спрингер С., Дейч Г. Левый мозг, правый мозг.– М.: Мир, 1983.– 256 с.

8. Унгуриану Т.Н., Гржибовский А.М. Краткие рекомендации по описанию, статистическому анализу и представлению данных в научных публикациях // Экология человека.– 2011.– № 5.– С. 55–60.

9. Churchland M.M., Cunningham J.P., Kaufman M.T. and others. Neural population dynamics during reaching // Nature.– 2012.– V.487.– P.51–56.



10. Eskov V.M., Eskov V.V., Filatova O.E. Characteristic features of measurements and modeling for biosystems in phase space of states medical and biological measurements // *Measurement Techniques*.– 2011.– Vol. 53, No. 12.– P.1404–1410.

11. Eskov V.M., Eskov V.V., Pashnin A.S. Determination of the degree of synergism of the human cardiorespiratory system under conditions of physical effort. // *Measurement Techniques*.– 2011.– Vol. 54, No. 7.– P. 832–837.

12. 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.– V. 55, №9.– P. 1096–1101.

13. Eskov V.M., Khadartsev A.A., Eskov V.V., Filatova O.E. Quantitative Registration of the Degree of the Voluntariness and Involuntariness (of the Chaos) in Biomedical systems // *Journal of analytical Sciences, Methods and Instrumentation*.– 2013.– VI.3.– P. 67–74.

#### References

1. Bragina NN, Dobrokhotova TA. *Funktsional'nye asimmetrii cheloveka*. 2-e izd., pererab. i dop. Moscow: Meditsina; 1988. Russian.

2. Es'kov VM, Gavrilenko TV, Degtyarev DA, Es'kov VV, Baltikova AA. Dinamika kvaziattraktorov parametrov neproizvol'nykh mikrodvizheniy konechnostey cheloveka kak reaktsiya na lokal'nye termicheskie vozdeystviya [Dynamics of quasiattractors parameters of involuntary micromotions as a response to local thermic influences on human limbs]. *Vestnik novykh meditsinskikh tekhnologiy*. 2012;19(4):26-9. Russian.

3. Es'kov VM, Kozlova VV, Degtyarev DA, Buldin AN, Chernikov NA. Vliyanie razlichnykh akusticheskikh vozdeystviy na dinamiku parametrov nervno-myshechnoy sistemy cheloveka [Effects of various acoustic influences on the dynamics of the parameters of the human neuromuscular system]. *Vestnik novykh meditsinskikh tekhnologiy (Elektronnyy zhurnal)* [Internet]. 2013 [cited 2013 Apr 15];1:[about 3 p.]. Russian. Available from:

<http://www.medtsu.tula.ru/VNMT/Bulletin/E2013-1/4339.pdf>

4. Es'kov VM, Burykin YuG, Vokhmina YuV, Nekhaychik SV, Romanova YuV. Proizvol'nost' i neproizvol'nost' v organizatsii teppinga s pozitsiy teorii khaos-samoorganizatsii. *Slozhnost'. Razum. Postneklassika*.– 2013;1:60-7. Russian.

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

6. Rebrova OYu. Statisticheskiy analiz meditsinskikh dannykh. Primenenie paketa prikladnykh programm STATISTIKA. Moscow: MediaSfera; 2002. Russian.

7. Springer S, Deych G. *Levy mozg, pravyy mozg*. Moscow: Mir; 1983. Russian.

8. Unguryanu TN, Grzhibovskiy AM. Kratkie rekomendatsii po opisaniyu, statisticheskomu analizu i predstavleniyu dannykh v nauchnykh publikatsiyakh. *Ekologiya cheloveka*. 2011;5:55-60. Russian.

9. Churchland MM, Cunningham JP, Kaufman MT. and others. Neural population dynamics during reaching. *Nature*. 2012;487:51-6.

10. Eskov VM, Eskov VV, Filatova OE. Characteristic features of measurements and modeling for biosystems in phase space of states medical and biological measurements. *Measurement Techniques*. 2011;53(12):1404-10.

11. Eskov VM, Eskov VV, Pashnin AS. Determination of the degree of synergism of the human cardiorespiratory system under conditions of physical effort. *Measurement Techniques*. 2011;54(7):832-7.

12. 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.

13. Eskov VM, Khadartsev AA, Eskov VV, Filatova OE. Quantitative Registration of the Degree of the Voluntariness and Involuntariness (of the Chaos) in Biomedical systems. *Journal of analytical Sciences, Methods and Instrumentation*. 2013;3:67-74.