

## ХАОТИЧЕСКАЯ ДИНАМИКА МИОГРАММ

В.М. ЕСЬКОВ\*, В.В. ЕСЬКОВ\*, Н.В. ФУДИН\*\*, Д.О. АЛИЕВА\*\*

\* Сургутский государственный университет, пр-т Ленина, 1, Сургут, 628412, Россия

\*\* ФГБОУ ВО «Тульский государственный университет», пр-т Ленина, 92, Тула, 300012, Россия

**Аннотация.** Демонстрируется практическая возможность применения метода многомерных фазовых пространств для расчета количественной меры в оценке хаотической динамики электромиограмм на примере работы конкретной мышцы (сгибателя мизинца). В качестве меры состояния нервно-мышечной системы человека (слабое напряжение мышцы и сильное, практически максимальное усилие) используются объемы квазиаттракторов электромиограмм в многомерных фазовых пространствах. Это обеспечивает идентификацию реальных параметров функционального состояния мышцы при слабом ( $F_1=5$  даН) и сильном ( $F_2=10$  даН) статическом напряжении. Построена временная развертка сигнала полученного с миографа, построены автокорреляционные функции  $A(t)$  сигнала. В конечном итоге анализ состояния биомеханической системы производился на основе сравнения объема квазиаттрактора  $V_G$ , а также на основе анализа энтропии Шеннона  $E$ . Площади квазиаттракторов миограмм при слабом напряжении существенно меньше их площади при сильном напряжении мышцы сгибателя мизинца, аналогично изменяется и энтропия Шеннона: при сильной нагрузке  $E$  увеличивается (но очень незначительно) по сравнению со значениями при слабой нагрузке мышцы.

**Ключевые слова:** хаос, миограмма, двумерное фазовое пространство, квазиаттрактор.

## CHAOTIC DYNAMICS OF THE MYOGRAMS

V.M. ESKOV\*, V.V. ESKOV\*, N.A. FUDIN\*\*, D.O. ALIYEVA\*\*

\* Surgut State University, Lenin av., 1, Surgut, 628412, Russia

\*\* Tula State University, Lenin av., 92, Tula, 300012, Russia

**Abstract.** The paper is devoted to the feasibility of applying the method of multi-dimensional phase space for quantitative measure for the evaluation of electromyograms of chaotic dynamics on the example of the concrete muscles (flexor of the little finger). As a measure of the state of the human neuromuscular system (weak muscle tension and strong, almost the maximum force) the authors used the myograms quasi-attractors volumes of multidimensional phase space. It provides the identification of the actual measurements of the parameters of the functional state with weak muscles ( $p = 5$ th Dan) and strong ( $P = 10$  daN) static stress. Timing signal received from the myograph and the autocorrelation function  $A(t)$  signal were built. The analysis of the biomechanical system based on a comparison of quasi-attractors volume  $V_G$ , as well as on the basis of analysis of the Shannon entropy was carried out. Areas quasi-attractors of the myograms in low voltage are substantially less of their area with strong voltage flexor muscles of the little finger, the Shannon entropy varies similarly: under heavy loads  $E$  increases (but only slightly) compared with values at low load muscles

**Key words:** chaos, myogram, two-dimensional phase space, quasi-attractor.

**Введение.** В рамках разрабатываемой новой теории хаоса-самоорганизации (ТХС) была предложена [15, 17] процедура расчета параметров КА, которая подобна принципу Гейзенберга в квантовой механике [5, 6]. Для биопотенциалов мышц в этом случае определяются две фазовые переменные:  $x_1(t)$  – биопотенциалы мышц (БПМ) и  $x_2(t)=dx_1/dt$  – скорость изменения этих БПМ. Используемый при этом метод многомерных фазовых пространств уже активно используется в различных биомедицинских исследованиях [2-4, 7, 11, 13]. В этом случае моделирование сложных биологических объектов становится возможным на основе новых параметров фазовых переменных  $x_1$  и  $x_2$  в рамках методов ТХС. Сравнение их эффективности в настоящей работе производится на основе реализации такого подхода (метода анализа двумерных фазовых пространств) путем изучения особенностей реакции нервно-мышечной системы в ответ на дозированные статические нагрузки. При этом, вместо традиционного понимания стационарных режимов биосистем в рамках детерминированного подхода, т.е.  $dx/dt=0$ , где  $x=x(t)=(x_1, x_2, \dots, x_n)^T$  является вектором состояния системы (ВСС), могут использоваться параметры КА, внутри которых наблюдается движение ВСС в фазовом пространстве состояний (ФПС) всего вектора  $x=x(t)=(x_1, x_2)^T$  для электромиограмм. Эти движения имеют хаотический характер, т.е. постоянно  $dx/dt \neq 0$ , но при этом движение ВСС ограничено в ФПС объемом этого КА [2-10, 17].

В задачи настоящего исследования входит доказательство возможности использования в качестве количественной меры, наблюдаемой в экспериментальных измерениях, хаотической динамики электромиограмм (ЭМГ) мышцы мизинца (*musculus adductor digiti mini-PNA*), объемы КА многомерных фазовых пространств. Это обеспечивает идентификацию изменений параметров функционального состояния мышц при слабой и сильной статической в виде ее биопотенциалов. При этом организм испытуемых имеет ВСС  $x=x(t)$ , который совершает непрерывные хаотические движения (т.е. постоянно  $dx/dt \neq 0$ ) в пределах ограниченных КА [5, 6, 8, 9]. Именно это пытались выразить ученые университета в Стенфорде [15] при изучении произвольных движений, но количественную меру этим движением они не предложили. Мы покажем, что традиционные стохастические подходы в виде амплитудно-частотных характеристик (АЧХ), автокорреляционных функций  $A(t)$  и расчета энтропий для миограмм не могут быть эффективными. Однако метод многомерных фазовых пространств позволяет создать модели миограмм в ФПС, которые адекватны физиологическому состоянию испытуемого [15-17] и они описывают такие уникальные системы, которые не могут быть представлены даже в рамках детерминированного хаоса (мы доказали, что сложные биосистемы не описываются хаосом Лоренца-Арнольда, т.к. нет свойства перемешивания и  $A(t)$  не стремится к нулю) [1, 6, 8, 9, 12, 14].

**Объекты и методы исследования.** Для исследования была привлечена группа испытуемых (15 девушек) в возрасте от 20 до 25 лет. У испытуемых регистрировались миограммы с частотой дискретизации  $\tau=0,25$  мс. Записи миограмм мышцы (*hypothenar* мизинца) обрабатывались программным комплексом для формирования вектора  $x=(x_1, x_2)^T$ , где  $x_1$  – абсолютное значение БПМ за некоторый момент времени  $T$ , а  $x_2$  – скорость изменения  $x_1$ , т.е.  $x_2=dx/dt$ . На основе полученного вектора  $x(t)=(x_1, x_2)^T$  строились КА динамики поведения ВСС в ФПС и определялись объемы полученных квазиаттракторов  $V_G$  по формуле  $V_G^{\max} \geq \Delta x_1 * \Delta x_2 \geq V_G^{\min}$  [5, 6]. Здесь  $\Delta x_1$  и  $\Delta x_2$  – вариационные размахи для  $x_1$  и  $x_2$  в ФПС. В конечном итоге анализ состояния биомеханической системы проводился на основе сравнения  $V_G$  для КА, а также на основе анализа значений энтропии Е Шеннона для  $x_1(t)$ . Миограммы фиксировали при слабом статическом напряжении мышцы  $F_1=5$  даН и при двукратном напряжении  $F_2=10$  даН. Производилось сравнение эффективности различных параметров с позиций стохастики (АЧХ,  $A(t)$ , энтропия) и с позиций параметров КА, т.е. ТХС [2-8, 11]. Существенно, что методы стохастики весьма ограничены в анализе электромиограмм, что и доказывается в настоящей работе.

**Результаты и их обсуждения.** Для визуальной оценки данных, полученных с электромиографа, строилась временная развертка сигнала (рис. 1-А), его фазовый портрет (рис. 1-В) и автокорреляционная функция  $A(t)$  (рис. 1-С). При анализе полученных параметров ЭМГ (по данным с миографа) показано, что все характеристики уникальны для каждого испытуемого на каждом интервале времени  $T$ . При этом сохраняется некоторая закономерность, которая связана с параметрами квазиаттракторов (АЧХ,  $A(t)$  и функции распределения  $f(x)$  непрерывно изменяются. Особо следует остановиться на возможности анализа  $f(x)$ , т.к. здесь имеется некоторая закономерность.

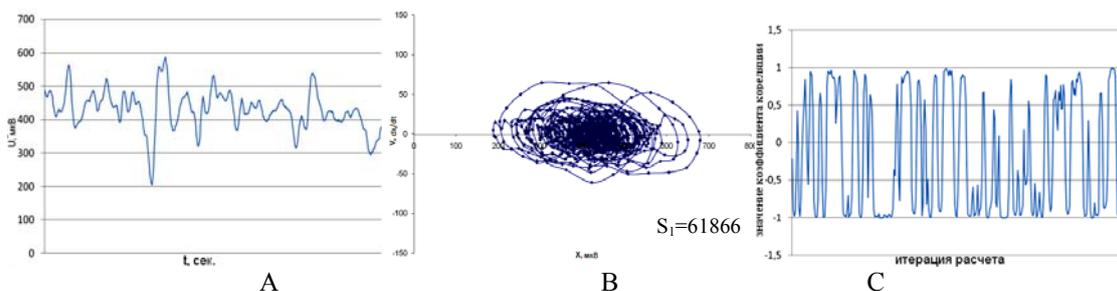


Рис. 1. Результат обработки данных, полученных при слабом напряжении мышцы ( $F_1=5$  даН); испытуемый СКН как типичный пример всей группы: А – временная развертка сигнала; В – фазовые траектории КА; С – автокорреляционная функция сигнала  $A(t)$

**Цель исследования** – это проведение сравнительного анализа эффективности часто используемых статистических (термодинамических) методов оценки ЭМГ и новых методов в рамках ТХС.

В последнем случае мы исходим из постулата об уникальности любого сигнала, получаемого от биосистемы (у нас это ЭМГ). Сразу отметим, что АЧХ (рис. 2) дает почти трехкратное увеличение по максимальной амплитуде. На рис. 2-В имеется исходная для  $F_1$ , максимальная амплитуда  $A_{max}=900000$  у.е., а на рис. 2-В имеем  $A_{max}=2650000$  у.е. Если рассматривать АЧХ как некоторую фазовую плоскость с координатами  $x_1=A$  (амплитуда) и  $x_2=\nu$  (частота колебаний), то в фазовых координатах ( $A, \nu$ ) будем иметь почти трехкратное увеличение площади  $S$  под огибающей функцией  $A=A(\nu)$ , что коррелирует с увеличением  $A_{max}$ .

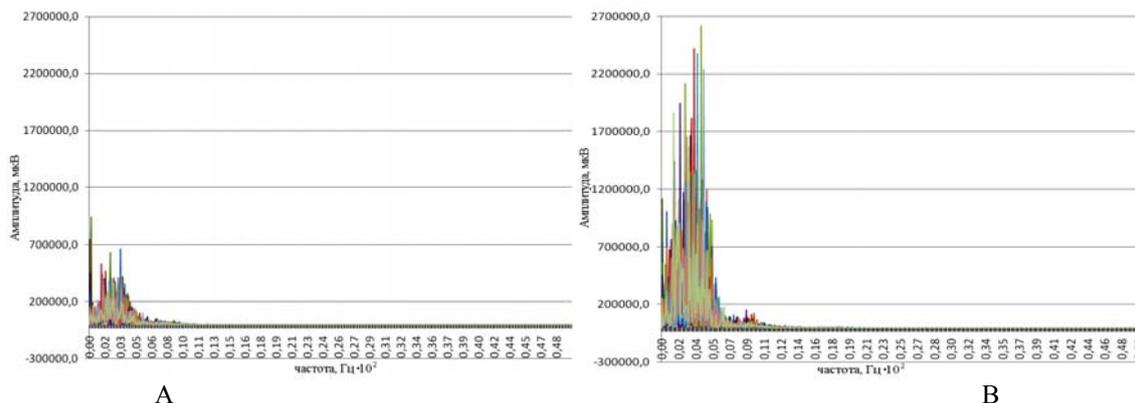


Рис. 2. Суперпозиция 15-ти амплитудно-частотных характеристик (АЧХ) миограмм: А – при слабом напряжении мышцы ( $F_1=5$  даН); В – при сильном ( $F_2=2F_1$ ) напряжении мышцы ( $F_2=10$  даН)

Остается открытым вопрос о целесообразности использования функций распределения  $f(x)$  для ЭМГ, т.к. мы наблюдаем их непрерывное изменение при сравнении выборок ЭМГ. Любая ЭМГ имеет свой особый закон распределения и  $f(x)$  для каждого интервала. Действительно, мы составили матрицы парных сравнений выборок ЭМГ для одного и того же испытуемого при 2-х силах сжатия динамометра ( $F_2=2F_1$ ) и установили определенную закономерность изменения числа «совпадений» пар выборок  $k$ , получаемых параметров ЭМГ. Оказалось, что в первом случае (для  $F_1$ ) матрица  $15 \times 15$  (она дает 105 разных пар сравнений) при усилении  $F_1=5$  даН показывает  $k_1=6$ . Но при увеличении числа «совпадений» ЭМГ до  $F_2=10$  даН наблюдается и увеличение  $k_2=20$ . Вид такой матрицы для  $F_1$  представлен в табл.1. Подчеркнем, что для разных испытуемых наблюдается такая же закономерность ( $k_2$  больше  $k_1$  в 2-3 раза по большим выборкам). Фактически, такие матрицы (табл. 1) являются некоторой моделью особых (уникальных) систем (у нас это система регуляции ЭМГ), а  $k$  – обобщенный параметр этой модели. Матрицы определяют особенность регуляции ЭМГ.

Таблица 1

Матрица парного сравнения ЭМГ одного и того же человека (число повторов измерений  $N=15$ ) при слабом напряжении мышцы ( $F=5$  даН) использовался критерий Вилкоксона (значимость  $p < 0,05$ , число совпадений  $k=6$ )

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	<b>0.85</b>	0.00	0.00	0.02	0.00	0.00	0.00
2	0.00		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
3	0.00	0.00		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
4	0.00	0.00	0.00		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
5	0.00	0.00	0.00	0.00		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
6	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
7	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
8	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		0.00	0.00	<b>0.39</b>	0.00	0.00	0.00	0.00
9	0.85	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		0.00	0.00	<b>0.06</b>	0.01	0.00	0.00
10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		0.00	0.00	<b>0.10</b>	0.00	<b>0.31</b>
11	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.39	0.00	0.00		0.00	0.00	0.01	0.00
12	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.06	0.00	0.00		0.00	0.01	0.00
13	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.10	0.00	0.00		0.00	<b>0.08</b>
14	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.00		0.00
15	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.31	0.00	0.00	0.08	0.00	

Таким образом, мы предлагаем использовать подобные матрицы парных сравнений ЭМГ (и их функций распределения  $f(x)$ ) для оценки состояния мышцы, особенности ее регуляции. Разовые же сравнения  $f(x)$  не имеют никакого смысла, т.к. появления  $p < 0,05$  в таких матрицах совершенно хаотично, имеет значение только число  $k$ . Оно зависит от функционального состояния мышцы (величины усилия  $F$ , от охлаждения мышцы, введения миорелаксанта, утомления и т.д.). Величина  $k$  реально может быть использована в физиологических или психофизиологических исследованиях. В руках физиологов появля-

ется новая количественная мера в виде величины «совпадений» пар выборок ЭМГ (т.е. отнесения их к одной генеральной совокупности), которая описывает функциональное состояние мышцы.

С другой стороны мы проверили значимость и эффективность критерия 2-го типа, который используется в стохастике (и термодинамике) – выполнили расчет энтропии Шэннона  $E$  для этих же выборок ЭМГ (что и в табл. 1). Результаты расчетов представлены в табл.2. Поскольку распределения  $E_1$  (для  $F_1$ ) и  $E_2$  (для  $F_2$ ) получились непараметрическими, то мы представляем сразу и средние значения ( $\langle E_1 \rangle = 3,452$ ,  $\langle E_2 \rangle = 3,48$ ), и медианы (последние не различаются  $MeE = 3,5$ ), при критерии значимости различий для этих двух выборок  $E_1$  и  $E_2$  в виде  $p = 0,94$ . Таким образом, термодинамический (энтропийный) подход в оценке выборок БПМ в табл. 2 (для ЭМГ) в двух состояниях испытуемых ( $F_2 = 2F_1$ ) совершенно ничего не дает. Получается, что миограммы одинаковы в этих 2-х состояниях хотя матрицы парных сравнений выборок все-таки показывают разное число совпадений ( $k_1 = 6$ ,  $k_2 = 20$ ). С позиций энтропии с мышцей ничего не происходит.

Таблица 2

**Значения энтропии Шэннона  $E$  для выборок ЭМГ одного и того же здорового человека**

	$E_1$ , при 5 даН	$E_2$ , при 10 даН
1	2.304	3.546
2	3.584	3.641
3	3.039	3.246
4	3.641	3.546
5	3.446	3.309
6	3.684	3.509
7	3.546	3.522
8	3.684	3.546
9	3.684	3.546
10	3.746	3.322
11	3.484	3.746
12	3.022	3.584
13	3.541	3.584
14	3.584	3.346
15	3.784	3.204
Среднее	3.452	3.480
Медиана	3,5	3,5
Критерий Вилкоксона, значимость функций $f(x)$ $p = 0,95$		

Определенное различие все-таки демонстрирует нам и АЧХ, которые в 3 раза различаются по максимальной амплитуде и по площади под огибающей АЧХ. Однако, автокорреляционные функции  $A(t)$  ничего не дают, они все разные для любого интервала времени  $T$  и, главное,  $A(t)$  не сходятся к нулю. Последнее означает, что мы не имеем дело с детерминированным хаосом. Более того, поскольку почти все функции распределения различные (табл. 1), то это означает отсутствие равномерного распределения (меры не инвариантны). Так как  $A(t)$  не стремятся к нулю с ростом  $t$  и меры не инвариантны (распределения выборок ЭМГ не являются равномерными), то мы не можем говорить о хаотической динамике  $x_1$  и  $x_2$  в ФПС (это не хаос Лоренца-Арнольда!). Но именно такой хаос мы имеем в физике (детерминированный хаос) и для него мы рассчитываем экспоненты Ляпунова (для ЭМГ они хаотически меняют знак), проверяем свойство перемешивания и требуем  $A(t) \rightarrow 0$  при увеличении (для ЭМГ этого ничего нет!).

Проводя определенную аналогию с принципом неопределенности Гейзенберга в квантовой механике, мы вводим понятие *квазиаттракторов*. В ТХС это области ФПС, внутри которых непрерывно и хаотически движется вектор  $(x_1, x_2)^T = x(t)$  для ЭМГ. Рассмотрим результаты расчета параметров КА для наших примеров и оценим их информационную значимость. Иными словами, мы сейчас выясним эффективность методов ТХС в сравнении с оценкой эффективности стохастических методов, результаты которых мы представили выше. Очевидно, что традиционный расчет энтропий  $E$ , АЧХ,  $A(t)$  и даже функций распределения  $f(x)$  (без расчета матриц сравнений) существенных результатов в анализе ЭМГ не дают, т.е. стохастика показывает низкую эффективность.

Сразу отметим, что во многих случаях выборки площадей КА (табл. 3) для групп испытуемых демонстрировали в наших исследованиях нормальное распределение. В табл. 3 мы, однако, представляем одновременно и средние значения площадей ( $\langle S_1 \rangle = 59640$  у.е. для  $F_1$ ,  $\langle S_2 \rangle = 201908$  у.е. для  $F_2$ ) и их медианы ( $Me S_1 = 61644 - F_1$ ,  $Me S_2 = 219700 - F_2$ ). Очевидно, что эти величины различаются более чем в три раза и реально представляют состояние параметров ЭМГ в двух разных физиологических состояниях

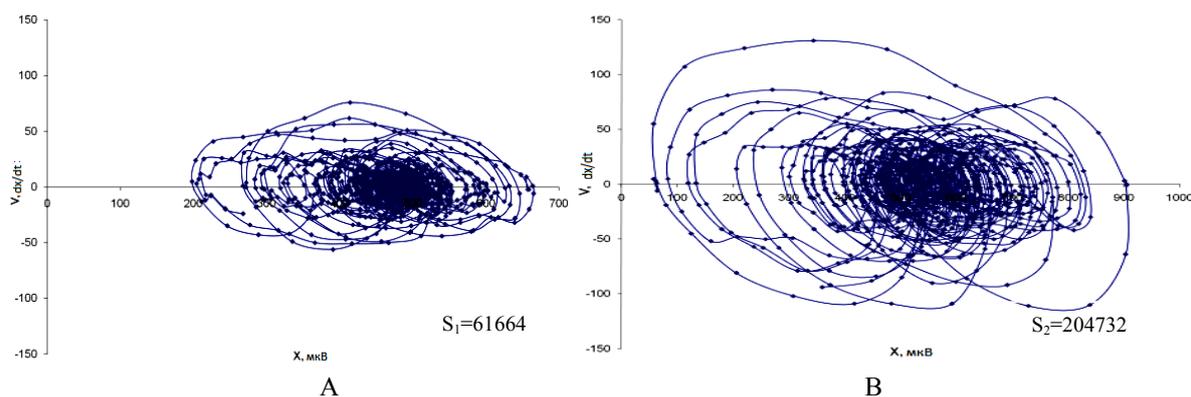
испытуемого. Отметим, что подобное изменение мы имели и для площади АЧХ (в фазовых координатах  $A$  – амплитуда и  $\nu$  – частота колебаний ЭМГ), т.е. почти в три раза.

Таблица 3

**Значения площадей квазиаттракторов  $S$  выборок миограмм одного и того же человека при слабом ( $F_1=5$  даН) и сильном ( $F_2=10$  даН) напряжении мышцы**

	$S_1, 5 \text{ даН}$	$S_2, 10 \text{ даН}$
1	33109	165923
2	66402	67596
3	87770	130086
4	61866	164369
5	61644	204732
6	34176	234639
7	64701	213759
8	52395	196652
9	63339	256338
10	64629	247324
11	97944	230112
12	51948	226460
13	49813	232078
14	53192	219700
15	51666	238854
Среднее	59640	201908
Медиана	61644	219700

Внешний вид фазовых траекторий и площадей КА для  $F_1$  и  $F_2$  (на примере одного опыта) мы представляем на рис. 3. Здесь фазовые координаты  $x_1$  – реальные значения биопотенциалов, а  $x_2=dx_1/dt=V$  – это скорость изменения миограмм. Очевидно почти трехкратное увеличение площади  $S_2$  (рис. 3-В) по отношению к  $S_1$  (рис. 3-А). Расчет этих двух значений площадей КА в виде  $S_1$  и  $S_2$  мы производили для многих испытуемых и везде картина одинакова: увеличение силы напряжения мышцы в 2 раза увеличивает площадь квазиаттрактора ЭМГ в 2-3 раза от исходного (при  $F_1=5$  даН и при  $F_2=10$  даН).



*Рис. 3.* Фазовые траектории и их КА для одного испытуемого в двух состояниях мышцы: А – при слабом напряжении мышцы ( $F_1=5$  даН); В – при двукратном напряжении мышцы ( $F_2=10$  даН). Здесь координаты  $x_1$  – величина БПМ,  $x_2$  – скорость изменения этих БПМ ( $x_2=dx_1/dt$ )

Мы высказываем утверждение, что других способов количественного описания параметров изменения биопотенциалов мышц (ЭМГ) при увеличении силы напряжения мышцы, (при  $F_2=2F_1$ ) на сегодня в рамках детерминизма или стохастичности нет. Сейчас можно говорить о том, что квазиаттракторы ЭМГ в ФПС являются определенными моделями состояния электрической активности мышц. В рамках стохастичности (АЧХ,  $A(t)$ ,  $f(x)$  и др.) мы не можем получить модели, которые бы существенно различали эти два состояния мышцы (ЭМГ при  $F_1$  и  $F_2$ ).

Однако, в рамках стохастичности мы можем все-таки использовать фазовую плоскость АЧХ (где  $x_2 - A$  – амплитуда и  $x_1 - \nu$  – частота колебаний ЭМГ). Одновременно мы предлагаем повторять опыты (получать выборки с повторением) и для них строить матрицы парных сравнений выборок ЭМГ. Иными словами полностью уходить от стохастичности пока не следует. Необходимы модификации, внедрение новых методов в комплексе с методами ТХС [4-9, 11, 15].

**Выводы:**

1. Выполненные сравнения традиционных методов обработки электромиограмм показывают низкую эффективность моделей в рамках расчета АЧХ, автокорреляционных функций  $A(t)$ . Установить различия между ЭМГ испытуемых, находящихся в разных физиологических состояниях (напряжениях мышц) весьма затруднительно.

2. Предложены два новых метода расчета ЭМГ на основе стохастичности, которые используют двумерное фазовое пространство  $(A, \nu)^T$  с координатами амплитуда  $A$  и частота ЭМГ  $\nu$ , и метод расчёта матриц парных сравнений выборок ЭМГ. В последнем случае число  $k$  пар «совпадений» выборок ЭМГ соотносится с развиваемым усилием  $F$  в мышце и может характеризовать интегрально значение параметров ЭМГ при разных состояниях мышц.

3. Наиболее эффективным и значимым методом оценки состояния ЭМГ испытуемых является аналог принципа Гейзенберга, когда используются фазовые координаты  $x_1 = x_1(t)$  – реальные значения биопотенциалов мышц и  $x_2 = dx_1/dt$  – скорость изменения  $x_1$  во времени. В этом двумерном фазовом пространстве можно рассчитывать параметры *квазиаттракторов* (у нас площади  $S$  или объёмы  $V = \Delta x_1 \cdot \Delta x_2 \cdot \Delta x_3$ , где  $\Delta x_i$  – вариационные размахи координаты  $x_i$ ), которые являются моделями физиологического состояния мышцы и, как следствие, самого испытуемого. Очевидно, что хаотическая динамика ЭМГ (как и других параметров организма) отличается от детерминированного хаоса Лоренца-Арнольда и не может описываться в рамках стохастичности или современной теории хаоса, но модели ЭМГ всё-таки можно построить в рамках ТХС (в виде *квазиаттракторов*).

*Работа выполнена при поддержке РФФИ (15-41-00034 р\_урал\_a).*

**Литература**

1. Адайкин В.И., Брагинский М.Я., Еськов В.М., Русак С.Н., Хадарцев А.А., Филатова О.Е. Новый метод идентификации хаотических и стохастических параметров экосреды // Вестник новых медицинских технологий. 2006. № 2. С. 39–41.
2. Ведясова О.А., Еськов В.М., Живогляд Р.Н., Зуевская Т.В., Попов Ю.М. Соотношение между детерминистскими и хаотическими подходами в моделировании синергизма и устойчивости работы дыхательного центра млекопитающих // Вестник новых медицинских технологий. 2005. Т. 7, № 2. С. 23–24.
3. 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.
4. 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.
5. Еськов В.М., Еськов В.В., Гавриленко Т.В., Вахмина 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.
6. 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.
7. 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.
8. 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.
9. Еськов В.М., Еськов В.В., Филатова О.Е., Хадарцев А.А. Особые свойства биосистем и их моделирование // Вестник новых медицинских технологий. 2011. Т. 18, № 3. С. 331–332.
10. Еськов В.М., Еськов В.В., Хадарцев А.А., Филатов М.А., Филатова Д.Ю. Метод системного синтеза на основе расчета межаттракторных расстояний в гипотезе равномерного и неравномерного распределения при изучении эффективности кинезитерапии // Вестник новых медицинских технологий. 2010. № 3. С. 106–110.

11. Еськов В.М., Майстренко В.И., Майстренко Е.В., Филатов М.А., Филатова Д.Ю. Исследование корреляции показателей функциональной асимметрии полушарий головного мозга с результатами учебной деятельности учащихся // Вестник новых медицинских технологий. 2007. Т. 14, № 3. С. 205–207.

12. Еськов В.М., Хадарцев А.А., Козлова В.В., Филатов М.А., Филатова О.Е., Гавриленко Т.В., Еськов В.В., Соколова А.А., Химикова О.И., Башкатова Ю.В., Берестин Д.К., Ватамова С.Н., Даянова Д.Д., Джумагалиева Л.Б., Кузнецова В.Н. Системный анализ, управление и обработка информации в биологии и медицине. Часть 11. Системный синтез параметров функций организма жителей Югры на базе нейрокомпьютинга и теории хаоса-самоорганизации в биофизике сложных систем / Под ред. Еськова В.М. и Хадарцева А.А. Самара: ООО «Офорт», 2014. 192 с.

13. Еськов В.М., Хадарцев А.А., Троицкий М.С. Методы регистрации различных видов движения, как основа разработки механотренажеров // Вестник новых медицинских технологий. Электронное издание. 2014. №1. Публикация 6-4. URL: <http://medtsu.tula.ru/VNMT/Bulletin/E2014-1/4957.pdf> (дата обращения 24.10.2014).

14. Сидорова И.С., Хадарцев А.А., Еськов В.М., Морозов В.Н., Сапожников В.Г., Хритинин Д.Ф., Волков В.Г., Глотов В.А., Гусейнов А.З., Карасева Ю.В., Купеев В.Г., Гусак Ю.К., Папшев В.А., Гранатович Н.Н., Рачковская В.А., Руднева Н.С., Сергеева Ю.В., Тугаева Е.С., Хапкина А.В., Чибисова А.Н. Системный анализ, управление и обработка информации в биологии и медицине. Часть 4. Обработка информации, системный анализ и управление (общие вопросы в клинике, в эксперименте): Монография / Под ред. Хадарцева А.А. и Еськова В.М. Тула: Тульский полиграфист, 2003. 238 с.

15. Churchland M.M., Cunningham J.P., Kaufman M.T., Foster J.D., Nuyujukian P., Ryu S.I., Shenoy K.V. Neural population dynamics during reaching // Nature. 2012. Vol. 487. P. 51–58.

16. Eskov V.M. Evolution of the emergent properties of three types of societies: the basic law of human development // Emergence: Complexity & Organization. 2014. V. 16 (2). P. 109–117.

17. 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. T. 55, № 9. С. 1096–1101.

#### References

1. Adaykin VI, Braginskiy MY, Es'kov VM, Rusak SN, Khadartsev AA, Filatova OE. Novyy metod identifikatsii khaoticheskikh i stokhasticheskikh parametrov ekosredy [A new method for identification of chaotic and stochastic parameters of ecological environment]. Vestnik novykh meditsinskikh tekhnologiy. 2006;2:39-41. Russian.

2. Vedyasova OA, Es'kov VM, Zhivoglyad RN, Zuevskaya TV, Popov YM. Sootnoshenie mezhdue deterministskimi i khaoticheskimi podkhodami v modelirovanii sinergizma i ustoychivosti raboty dykhatel'nogo tsentra mlekopitayushchikh [The relationship between the deterministic and chaotic approaches to modeling of synergies and sustainability of the respiratory center mammals]. Vestnik novykh meditsinskikh tekhnologiy. 2005;7(2):23-4. Russian.

3. Gavrilenko TV, Es'kov VM, Khadartsev AA, Khimikova OI, Sokolova AA. Novye metody dlya gerontologii v prognozakh dolgozhitel'stva korennoy naseleniya Yugry [New methods for Gerontology in forecasts of longevity of the indigenous population of Ugra]. Uspekhi gerontologii. 2014;27(1):30-6. Russian.

4. Es'kov VM, Braginskiy MY, Kozlova VV, Maystrenko EV. Diagnostika fiziologicheskikh funktsiy zhenshchin-plovtsov Yugry metodom rascheta matrits mezhklasternykh rasstoyaniy [Diagnostics of the physiological functions of female swimmers Ugra method of calculating cross-cultural distance matrices]. Sistemnyy analiz i upravlenie v biomeditsinskikh sistemakh. 2010;9(3):500-4. Russian.

5. Es'kov VM, Es'kov VV, Gavrilenko TV, Vakhmina YV. Kinematika biosistem kak evolyu-tsiya: stationarnye rezhimy i skorost' dvizheniya slozhnykh sistem – complexity [Kinematics of the evolution of biological systems: stationary modes and speed of complex systems - complexity]. Vestnik Moskovskogo universiteta. Ser. 3. Fizika. Astronomiya. 2015;2:62-73. Russian.

6. Es'kov VM, Es'kov VV, Gavrilenko TV, Zimin MI. Neopredelennost' v kvantovoy mekhanike i biofizike slozhnykh sistem [The uncertainty in quantum mechanics and biophysics of complex systems]. Vestnik Moskovskogo universiteta. Seriya 3: Fizika. Astronomiya. 2014;5:41-6. Russian.

7. Es'kov VM, Es'kov VV, Kozlova VV, Filatov MA. Sposob korrektyrovki lechebnogo ili fizkul'turno-sportivnogo vozdeystviya na organizm cheloveka v fazovom prostranstve sostoyaniy s pomoshch'yu matrits rassstoyaniy [A method of adjusting a medical or physical culture and sports impact on the human body in the phase space of states with the help of distance matrices]. Patent na izobretenie RUS 2432895 ot 09.03.2010 g. Russian.

8. Es'kov VM, Es'kov VV, Filatova OE. Sposob korrektyrovki lechebnogo ili lechebno-ozdorovitel'nogo vozdeystviya na patsienta [A method of adjusting the therapeutic and health-improving effect on the patient]. Patent na izobretenie RUS 2433788 ot 01.02.2010 g. Russian.

9. Es'kov VM, Es'kov VV, Filatova OE, Khadartsev AA. Osobyie svoystva biosistem i ikh modelirovanie [The special properties of biological systems and their modeling]. Vestnik novykh meditsinskikh tekhnologiy. 2011;18(3):331-2. Russian.

10. Es'kov VM, Es'kov VV, Khadartsev AA, Filatov MA, Filatova DYu. Metod sistemnogo sinteza na osnove rascheta mezhattrakornykh rasstoyaniy v gipoteze ravnomernogo i neravnomernogo raspredeleniya pri izuchenii effektivnosti kineziterapii [system synthesis method based on the calculation of distances mezhattrakornykh in the hypothesis of uniform and non-uniform distribution in the study of the effectiveness of kinesitherapy]. Vestnik novykh meditsinskikh tekhnologiy. 2010;3:106-10. Russian.

11. Es'kov VM, Maystrenko VI, Maystrenko EV, Filatov MA, Filatova DYu. Issledovanie korrelyatsii pokazateley funktsional'noy asimmetrii polushariy golovnoy mozga s rezul'tatami uchebnoy deyatel'nosti uchashchikhsya [Correlation Study of indicators of functional asymmetry of the cerebral hemispheres with the results of learning activities of students]. Vestnik novykh meditsinskikh tekhnologiy. 2007;14(3):205-7. Russian.

12. Es'kov VM, Khadartsev AA, Kozlova VV, Filatov MA, Filatova OE, Gavrilenko TV, Es'kov VV, Sokolova AA, Khimikova OI, Bashkatova YV, Berestin DK, Vatamova SN, Dayanova DD, Dzhumagalieva LB, Kuznetsova VN. Sistemnyy analiz, upravlenie i obrabotka informatsii v biologii i meditsine [System analysis, management and information processing in biology and medicine. Part 11: System synthesis parameters Ugra residents of body functions on the basis of neurocomputing theory and self-chaos in the biophysics of complex systems]. Chast' 11. Sistemnyy sintez parametrov funktsiy organizma zhiteley Yugry na baze neyrokomp'yutinga i teorii khaosa-samoorganizatsii v biofizike slozhnykh system. Pod red. Es'kova VM i Khadartseva AA. Samara: OOO «Ofort»; 2014. Russian.

13. Es'kov VM, Khadartsev AA, Troitskiy MS. Metody registratsii razlichnykh vidov dvizheniya, kak osnova razrabotki mekhanotrenazherov [Methods of registration of various types of movement, as a basis for the development of mechanical simulators]. Vestnik novykh meditsinskikh tekhnologiy. Elektronnoe izdanie. 2014 [cited 2014 Oct 24];1 [about 7 p.]. Russian. Available from: <http://medtsu.tula.ru/VNMT/Bulletin/E2014-1/4957.pdf>.

14. Sidorova IS, Khadartsev AA, Es'kov VM, Morozov VN, Sapozhnikov VG, Khritinin DF, Volkov VG, Glotov VA, Guseynov AZ, Karaseva YV, Kupeeov VG, Gusak YK, Papshev VA, Granatovich NN, Rachkovskaya VA, Rudneva NS, Sergeeva YV, Tutaeva ES, Khapkina AV, Chibisova AN. Sistemnyy analiz, upravlenie i obrabotka informatsii v biologii i meditsine. Chast' 4. Obrabotka informatsii, sistemnyy analiz i upravlenie (obshchie voprosy v klinike, v eksperimente): Monografiya [System analysis, management and information processing in biology and medicine. Part 4: Information processing, systems analysis and administration (general questions at the clinic, in the experiment): Monography]. Pod red. Khadartseva AA i Es'kova VM. Tula: Tul'skiy poligrafist; 2003. Russian.

15. Churchland MM, Cunningham JP, Kaufman MT, Foster JD, Nuyujukian P, Ryu SI, Shenoy KV. Neural population dynamics during reaching. Nature. 2012;487:51-8.

16. Es'kov VM. Evolution of the emergent properties of three types of societies: the basic law of human development. Emergence: Complexity & Organization. 2014;16(2):109-17.

17. Es'kov 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.

---

**Библиографическая ссылка:**

Еськов В.М., Еськов В.В., Фудин Н.В., Алиева Д.О. Хаотическая динамика миограмм // Вестник новых медицинских технологий. Электронное издание. 2016. №3. Публикация 1-6. URL: <http://www.medtsu.tula.ru/VNMT/Bulletin/E2016-3/1-6.pdf> (дата обращения: 19.09.2016). DOI: 12737/21668.