

III. МАТЕМАТИКА В ОПИСАНИИ ХАОСА И СИНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМ

DOI: 10.12737/5519

ВОЗМОЖНОСТИ СТОХАСТИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ПАРАМЕТРОВ СИСТЕМ С ХАОТИЧЕСКОЙ ДИНАМИКОЙ

Ю.М. ПОПОВ*, Д.К. БЕРЕСТИН*, Ю.В. ВОХМИНА*, К.А. ХАДАРЦЕВА**

**Поволжская государственная социально-гуманитарная академия,
ул. М. Горького, д. 65/67, г. Самара, Россия, 443000*

***Тульский государственный университет,
пр-т Ленина, д. 92, Тула, Россия, 300028*

Аннотация. Работа представляет первую попытку соединения методов стохастики (математической статистики) и теории хаоса-самоорганизации в изучении таких сложных (хаотических) процессов как постуральный тремор. Установлено, что при повторной регистрации тремора у каждого испытуемого по $n=15$ или $n=30$ раз, полученные треморограммы не демонстрируют нормальные распределения, а непараметрические распределения при парных сравнениях по критерию Вилкоксона демонстрируют различия (из 210 пар только у 2-3-х могут быть варианты принадлежности к общей генеральной совокупности). Статическая физическая нагрузка резко изменяет эту картину и число таких («сходных») пар увеличивается. Предлагается метод оценки влияния такой нагрузки на тремор. Одновременно и в рамках расчета квазиаттракторов получается четкая картина разделения параметров хаотической динамики тремора без нагрузки и с нагрузкой. Обсуждаются перспективы применения нового подхода в физиологических измерениях. Подчеркивается ограниченность методов стохастики в описании complexity и необходимость расчета параметров квазиаттракторов в фазовых пространствах состояний.

Ключевые слова: фазовое пространство состояний, квазиаттракторы, стохастика, хаос.

POSSIBILITIES OF STOCHASTIC PROCESSING OF SYSTEM PARAMETERS WITH CHAOTIC DYNAMICS

YU.M. POPOV*, D.K. BERESTIN*, YU. VOCHMINA*, A.A. KHADARTSEVA**

**Volga State Socio-Humanitarian Academy, Str. Gorky, d. 65/67, Samara, Russia, 443000*

***Tula State University, Prospect Lenina. 92, Tula, Russia, 300028*

Abstract. The paper presents the first attempt to combine methods of stochastics (mathematical statistics) and methods of theory of chaos and self-organization for studying such complex (chaotic) processes as postural tremor. It was established that when re-registering tremor in each subject by $n=15$ or $n=30$ obtained tremorograms do not exhibit normal distribution, and non-parametric distributions show distinctions at pairwise comparison on Wilcoxon test (only 2 or 3 pairs from 210 may belong to the same general population). Static physical load sharply changes this picture and the number of such (“similar”) pairs increases. The estimation method for effect of a load on tremor is proposed. Simultaneously, within calculating quasi-attractors there is a clear picture of division of chaotic dynamics of tremor parameters with load and without load. Prospects of a new method application in physiological measurements are discussed. Limited method of stochas-

tics in description of complexity is underlined, and necessity of calculation quasi-attractor's parameters in phase space of state is proved.

Key words: phase space of states, quasi-attractors, stochastics, chaos.

Введение. *Особые системы третьего типа* (СТТ) представляют все виды многоклеточных организмов, у которых имеются хотя бы некоторые аналоги нервной системы и органы, работа которых зависит от работы этих разных видов нервной системы. На примерах функционирования различных биосистем, управляемых центральной нервной системой человека (а это биомеханика, работа сердца, биохимического гомеостаза и многих других функциональных систем), мы убедительно доказали правоту второго постулата теории хаоса-самоорганизации, который был высказан В.М. Еськовым 30 лет назад: конкретное состояние биосистемы информационно незначимо и точка (состояние биосистемы в момент времени t) в фазовом пространстве не может описывать состояния СТТ – complexity [1,8,9].

Необходимо длительно мониторировать биосистему (получать много точек) или брать набор однородных элементов и они разово образуют множество точек (и *квазиаттрактор*) [2-4]. Если системы однородные, то идентификацию размеров квазиаттракторов можно производить по длительному анализу динамики одного элемента или при разовых (одномоментных) измерениях разных элементов системы, что также дает набор точек в *фазовом пространстве*.

Математически это означает, что любой компонент x_i вектора состояния системы (ВСС) $x=x(t)=(x_1, x_2, \dots, x_m)^T$ испытывает непрерывное хаотическое движение и $dx/dt \neq 0$ всегда! Остается открытым пока еще вопрос о возможности использования стохастического подхода (стохастики) в описании динамики поведения СТТ. Иными словами: можем ли мы описывать функциями распределения $f(x)$ динамику СТТ и как их сравнивать, если $f(x)$ непрерывно будут изменяться? Ранее [2,8,9] мы сообщали, что $f(x)$ непрерывно изменяется и этот набор $f(x)$ нельзя сравнивать (все выборки у одного испытуемого не принадлежат к общей генеральной совокупности).

Но так ли уж бесполезна стохастика?

Современная наука игнорирует специфику СТТ и в научных публикациях продолжается изучение многих биопроцессов и систем (в том числе и тремора, теппинга, кардиоинтервалов и миограмм) в рамках идентификации $f(x)$, *амплитудно-частотных характеристик* (АЧХ), автокорреляционных функций $A(t)$ и различных других методов, общепринятых в стохастике и всей современной науке. Ученые продолжают все это регистрировать и сравнивать для биосистем, находящихся, фактически, в непрерывном хаотическом движении. При этом возникает главный вопрос: могут ли биосистемы находиться в стационарных режимах, т.е. в каких-то условно обозначенных неизменных состояниях? А если нет, то тогда что и как можно и нужно сравнивать? Как вообще сравнивать системы и процессы, которые находятся в непрерывном хаосе? Настоящее сообщение следует рассматривать как определенную попытку дать ответ на этот вопрос с позиций и стохастики, и *теории хаоса-самоорганизации* (ТХС).

1. Внутренние свойства биосистемы не изменяются, а внешние реакции демонстрируют хаос. Один из фундаментальных вопросов естествознания и физиологии в частности – это возможность (или невозможность) идентификации неизменности внутреннего состояния биосистемы при отсутствии внешних воздействий или идентификация реакции биосистемы (ее изменения) в ответ на внешние воздействия. Для любого экспериментатора (физиолога, биолога, медика) всегда возникает задача: поведение системы остается неизменным (система находится в стационарном состоянии) или с системой что-то происходит и ее ответная реакция будет другой (система изменилась). Наличие стационарного режима или его отсутствие – это первая задача любого физиологического опыта (задача биологии и медицины при лечебных, терапевтических воздействиях) [10,12-15].

Если мы устанавливаем наличие из-

менений (нет стационарного режима в поведении системы), то тогда возникает другая глобальная проблема: по каким признакам x_i (координатам вектора состояния системы $x(t)$) происходит наибольшее изменение, а по каким наименьшее? Это задача системного синтеза (отыскание параметров порядка) и она для медицины и физиологии имеет фундаментальное значение. Для СТТ, у которых непрерывно $dx/dt \neq 0$, мы никогда не получим одинаковые состояния даже за короткий период времени мониторинга t с позиций стохастики и решать все эти задачи для СТТ бессмысленно (в рамках стохастики). Покажем это на примере реакции произвольных движений в ответ на некоторые физические воздействия.

Отметим, что мы выбрали самый сложный объект – систему организации пострурального тремора. Дискуссии о произвольности или непроизвольности тремора продолжаются, но мы их сейчас переводим в другую плоскость: можно ли тремор описывать в рамках детерминизма или стохастики? Альтернатива ответа на этот вопрос – только ТХС эффективна в описании тремора. Проверим справедливость того или иного высказывания на конкретных примерах.

Прежде всего следует отметить, что поструральный тремор и теппинг всегда рассматривались как примеры произвольных и произвольных движений. Однако, с позиций механики, с позиций ТХС и расчета неравенства для положения пальца в пространстве (по одной координате) x_1 и $x_2 = dx_1/dt$, в виде $\Delta x_1 * \Delta x_2 \leq S$, где S – площадь квазиаттрактора, оба эти движения не могут числиться произвольными движениями. Они всегда с механической точки зрения (и с позиций ТХС) выполняются непроизвольно. Иными словами повторную траекторию тремора или теппинга воспроизвести невозможно! Любой динамический отрезок (траектория пальца в пространстве) для координат $x_1(t)$ и $x_2(t)$ в фазовом пространстве неповторим и невозпроизводим. Это движение хаотическое, но в пределах ограниченных объемов фазовых пространств (квазиаттракторов), которые можно повторить и они могут изучаться в ТХС [1-4,7-9].

В этой связи отметим, что число вы-

полненных нами биомеханических измерений и измерений параметров кардиоинтервалов (КИ) превышает двадцать тысяч измерений. Здесь КИ – это временной отрезок τ между последовательными сокращениями сердца и это – переменная величина $x_1(t)$, подобная параметру тремора, которая тоже имеет свою скорость $x_2 = dx_1/dt$ и ускорение $x_3 = dx_2/dt$. И для движения пальца, и для работы сердца мы имеем одинаковые (с физической точки зрения) фазовые пространства с размерностью $m=3$, т.е. имеем ВСС $x=x(t)=(x_1, x_2, x_3)^T$. В более упрощенном виде мы используем только фазовую плоскость вектора $x=x(t)=(x_1, x_2)^T$. В этих фазовых пространствах мы можем построить квазиаттракторы и сравнить их параметры [8,9], например площади S или объемы V_G .

В рамках сравнения эффективности двух подходов, то есть методов стохастики и ТХС, первоначально нами были выполнены вычисления параметров функций распределения треморограмм (первоначально с позиций стохастики, чтобы показать ее ограниченность). При этом нами были установлены следующие закономерности. Во-первых, основные измерения, выполненные у одного (каждого) испытуемого при тридцатикратных повторениях регистраций треморограммы длительностью $\tau=5$ сек., показали отсутствие возможности рассматривать эти выборки (треморограммы) как нормальные распределения. Иногда треморограммы могут демонстрировать нормальное распределение на очень коротких интервалах времени. Чаще всего (99%) мы получаем непараметрическое распределение. Однако, главное в другом.

Различия между участками треморограмм в аспекте нормального распределения или непараметрического распределения (между короткими отрезками измерений, например, в пределах 1 сек. для одной треморограммы общей длительности в 5 сек) столь существенны, что любые попытки использования традиционного стохастического подхода разбиваются о реалии хаоса. Иными словами, мы получаем непрерывный калейдоскоп изменений функций распределения: нормальные распределения переходят в ненормальные распределения, но они (при сравнении между собой) все разные!

Были проведены эксперименты, в которых измеряли тремор без нагрузки и тремор с нагрузкой (в качестве нагрузки использовался груз весом 1 кг) 30 раз, время регистрации $T=5$ сек. у одного испытуемого. Было произведено попарное сравнение отрезков треморограмм для каждого испытуемого (всего 62 измерения) на предмет принадлежности всех этих выборок общей генеральной совокупности (у одного и того же испытуемого). Иными словами, треморограммы могут и совпадать (под совпадением мы понимаем их отнесение к одной генеральной совокупности), но могут и не совпадать. Тогда возникает иллюзия о непрерывной настройке системы регуляции тремора (вообще это именно и происходит). Именно это пытался ввести П.К. Анохин [1] в своей теории функциональных систем организма человека, но эта теория не имеет математической базы. С разработкой математического аппарата теории хаоса-самоорганизации [2-5,8,9] такая возможность появилась, мы теперь можем измерять неопределенность (хаос биосистем).

Статистическая обработка данных осуществлялась при помощи следующих программных пакетов – «ExcelMSOffice-2003» и «Statistica 6.1». Соответствие структуры данных закону нормального распределения оценивалось на основе вычисления критерия Колмогорова-Смирнова и критерия Лиллиефорса (для больших выборок). При этом за нулевую гипотезу принимается то, что изучаемое распределение отличается от нормального (это получено на основании предварительных расчетов). Если достигнутый уровень значимости (p) при проверке гипотезы будет меньше, чем критический (принимаемый за 0,05), то нулевая гипотеза отклоняется. Это означало, что распределение отличается от нормального.

Выявлено, что параметры треморограмм не всегда (точнее, очень редко) описываются законом нормального распределения (обычно $p<0,01$), поэтому дальнейшие исследования зависимостей производились методами непараметрической статистики. Выявление различий между конкретными выборками, сравниваемыми попарно, у одного испытуемого выполнялись при помощи одновыборочного критерия Вилкоксона. Если $p<0,05$, то тогда

справедлива гипотеза о том, что выборки принадлежат разным генеральным совокупностям. Надежность используемых статистических оценок принималась не менее 95%.

Были получены многочисленные таблицы для разных испытуемых, в которых были представлены результаты попарного сравнения выборок (по 15 в каждой табл.). В качестве примера рассмотрим результаты обработки данных испытуемого Б.И.О. в виде матрицы по критерию Вилкоксона (для связанных выборок и их числе $n\geq 15$) при треморе. Эти результаты представлены в табл. 1, где видно, что из 105 пар сравнений, число совпадений K ничтожно ($K=2$).

Наличие $p<0,05$ свидетельствует о существенных различиях при парном сравнении полученных 15 выборок с позиции дисперсионного анализа. Иными словами выборки не принадлежат одной генеральной совокупности. В нашем случае на примере представленной табл. 1 только две пары выборок BIO1_5 и BIO1_6 ($p=0,4635$) и BIO1_13 и BIO1_15 ($p=0,5633$) не имеют существенных различий (возможно, они принадлежат одной генеральной совокупности). В остальных парах выборок $p<0,05$, следовательно, различия в данных выборках есть и они существенны. В других таблицах могут быть выявлены такие же сходные пары или все 105 сравнений демонстрируют невозможность их принадлежности к генеральной совокупности. В качестве примера представим табл. 2, в которой подтверждается общая закономерность: число «совпадений» треморограмм или очень мало ($K=2$ из 105) или оно вообще отсутствует. Табл. 2 делает второе утверждение справедливым, т.е. отсутствуют пары с $p\geq 0,05$ (они из разных генеральных совокупностей).

С позиций стохастики в табл. 2 во всех парах выборок $p<0,05$, следовательно, различия в данных выборках существенны. Иная картина у нас возникает, если мы делаем для биомеханической системы статическую нагрузку (использовалась гирька массой 1 кг). В этом случае резко изменяется число возможных «совпадений». В табл. 3 для 15-ти измерений мы получаем уже $K=9$. Для других опытов аналогичная картина: в несколько раз возрастает число пар, которые можно отнести к одной генеральной совокупности.

Появляется некоторая регуляризация в треморограммах с позиций стохастики.

терий Лиллиефорса $p < 0,01$). Уровень значимости во всех выборках $p < 0,01$, то

Таблица 1

Попарное сравнение 15-ти последовательно измеренных треморограмм у одного испытуемого по Вилкоксоу (при $p < 0,05$), испытуемый ВЮ1 эксперименты 1-15

№ измерения	ВЮ1_1	ВЮ1_2	ВЮ1_3	ВЮ1_4	ВЮ1_5	ВЮ1_6	ВЮ1_7	ВЮ1_8	ВЮ1_9	ВЮ1_10	ВЮ1_11	ВЮ1_13	ВЮ1_14	ВЮ1_15
ВЮ1_1		0,03	0,01	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
ВЮ1_2	0,03		0,003	0,010	0,003	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
ВЮ1_3	0,01	0,003		0,00	0,003	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
ВЮ1_4	0,00	0,008	0,00		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
ВЮ1_5	0,02	0,003	0,003	0,00		0,46	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
ВЮ1_6	0,00	0,00	0,00	0,00	0,46		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
ВЮ1_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
ВЮ1_8	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
ВЮ1_9	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
ВЮ1_10	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
ВЮ1_11	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		0,02	0,00	0,01
ВЮ1_13	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02		0,00	0,56
ВЮ1_14	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		0,00
ВЮ1_15	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,015	0,56	0,00	

есть распределение непараметрическое. Однако, число возможных пар, попадающих в общую генеральную совокупность, резко возросло. Для примера мы представляем результаты попарного сравнения того же испытуемого В.Ю. при 15-ти измерениях (табл. 3) при сравнении по критерию Вилкоксона.

Из данной табл. 3 мы видим, что пары выборок

Таблица 2

Попарное сравнение 15-ти последовательно измеренных треморограмм у одного испытуемого по Вилкоксоу (при $p < 0,05$), испытуемый ВЮ1 эксперименты 16-30

	ВЮ1_16	ВЮ1_17	ВЮ1_18	ВЮ1_19	ВЮ1_20	ВЮ1_21	ВЮ1_22	ВЮ1_23	ВЮ1_24	ВЮ1_25	ВЮ1_26	ВЮ1_27	ВЮ1_28	ВЮ1_29	ВЮ1_30
ВЮ1_16		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
ВЮ1_17	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
ВЮ1_18	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
ВЮ1_19	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
ВЮ1_20	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
ВЮ1_21	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
ВЮ1_22	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
ВЮ1_23	0,021	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
ВЮ1_24	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
ВЮ1_25	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
ВЮ1_26	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
ВЮ1_27	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
ВЮ1_28	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
ВЮ1_29	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		0,03
ВЮ1_30	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03	0,00	

ВЮ2_2 и ВЮ2_13 ($p=0,8018$), ВЮ2_3 и ВЮ2_7 ($p=0,8843$), ВЮ2_3 и ВЮ2_8 ($p=0,6379$), ВЮ2_5 и ВЮ2_7 ($p=0,0619$), ВЮ2_5 и ВЮ2_8 ($p=0,0532$), ВЮ2_6 и ВЮ2_14 ($p=0,2939$), ВЮ2_6 и ВЮ2_15 ($p=0,1414$), ВЮ2_7 и ВЮ2_8 ($p=0,1849$), ВЮ2_9 и ВЮ2_10 ($p=0,8940$), ВЮ2_14 и ВЮ2_15 ($p=0,6914$), не имеют существенных различий, так как достигнутый уровень значимости $p > 0,05$. В остальных парах выборок $p < 0,05$, следовательно, справедлива гипотеза,

Во время второго эксперимента с испытуемым Б.И.О. было проведено 30 замеров (время регистрации тремора $T=5$ сек.) тремора с нагрузкой (удержание груза весом 1 кг). Все 30 интервалов не удовлетворяли условию распределения Гаусса (кри-

что они принадлежат разным генеральным совокупностям с вероятностью 0,95, то есть различия в данных выборках есть, и они существенные. Подобная картина наблюдается и для других 15-ти пар выборок. При нагрузке наблюдается переход хаоса к стохастическому порядку, уменьшилось число

степеней свободы [11,16,17].

управление (в виде статической нагрузки). В целом такой результат можно рассматривать и с физической точки зрения и с биологической [3,4,6,7].

Таблица 3

Попарное сравнение 15-ти последовательно измеренных треморограмм с нагрузкой у одного испытуемого по Вилкоксоу (при $p < 0,05$) (испытуемый ВЮ2 эксперименты 1-15)

	ВЮ2_1	ВЮ2_2	ВЮ2_3	ВЮ2_4	ВЮ2_5	ВЮ2_6	ВЮ2_7	ВЮ2_8	ВЮ2_9	ВЮ2_10	ВЮ2_11	ВЮ2_12	ВЮ2_13	ВЮ2_14	ВЮ2_15
ВЮ2_1		0,00	0,00	0,0000	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
ВЮ2_2	0,00		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,80	0,00	0,00
ВЮ2_3	0,00	0,00		0,00	0,03	0,00	0,88	0,64	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
ВЮ2_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
ВЮ2_5	0,00	0,00	0,03	0,00		0,00	0,06	0,05	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
ВЮ2_6	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		0,00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,29	0,14
ВЮ2_7	0,00	0,00	0,88	0,00	0,06	0,00		0,18	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01
ВЮ2_8	0,00	0,00	0,64	0,00	0,05	0,02	0,18		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01
ВЮ2_9	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		0,89	0,00	0,02	0,00	0,02	0,00
ВЮ2_10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,89		0,00	0,01	0,00	0,00	0,00
ВЮ2_11	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
ВЮ2_12	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,01	0,00		0,00	0,00	0,00
ВЮ2_13	0,00	0,80	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		0,00	0,00
ВЮ2_14	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,29	0,00	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00		0,69
ВЮ2_15	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,14	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,69	

Это позволяет говорить о том, что любой интервал регистрации $\tau=5$ сек будет уникальным и неповторимым, даже если испытуемый будет находиться в спокойном (физиологически и психологически устойчивом) состоянии. Такие хаотичные изменения наблюдаются непрерывно у одного (каждого) испытуемого, а значит, любые статистические результаты имеют ежесекундный (для тремора) характер изменения (хаотического!).

В итоге, результаты расчета нескольких измерений тремора (по 5 сек. каждый) в спокойном состоянии (без нагрузки) и с нагрузкой (груз весом 1 кг.) испытуемого Б.И.О. и других испытуемых показали, что в спокойном состоянии (табл.1, 2) для всех 105 пар сравнений только малое число пар (например, 2 пары) не имеют существенных отличий между собой, так как достигнутый уровень значимости $p < 0,05$, а остальные пары принадлежат разным генеральным совокупностям и различия между ними существенные. Однако, с нагрузкой из 105 пар сравнений уже 9 пар и более не имеют существенных отличий между собой. Это говорит об усилении синхронизма за счет афферентации, начале перехода от хаотического режима функционирования к стохастическому. Появление возможно общих пар обеспечено не только афферентацией, но и изменениями структуры колебаний, т.е. биомеханической составляющей (в работе всей системы регуляции постуральным тремором) навязывается некоторое внешнее

В следующие интервалы времени все будет другим, и достоверную информацию от статистических методов обработки подобных сигналов мы не получим. Все эти данные непрерывно изменяются. Традиционная *детерминистско-стохастическая парадигма* (ДСП) – для подобных систем оказывается практически неэффективной. И.Р. Пригожин в своем обращении это подчеркивал особым образом, говоря об уникальных системах [14,15]. К этим особым ССТ относятся не только системы организации постурального тремора, но и теппинга, кардиоинтервалов, миограмм и нейрограмм, многих других биопроцессов [10-13].

Для выхода из создавшегося положения мы ввели для биосистем аналог принципа неопределенности Гейзенберга и постулировали, что ВСС хаотически и непрерывно движется внутри некоторых *квазиаттракторов*, а статистические функции (и их характеристики) непрерывно мерцают, то есть меняются по своим характеристикам, переходят из непараметрических в

параметрические и наоборот. В этом случае можно рассчитывать параметры *квазиаттракторов* и для них тоже производить статистическую обработку данных.

2. Итоги симбиоза хаоса и стохастики все-таки дают низкий результат. Итоги рассмотрения с позиций стохастики параметров треморограмм были бы непонятными, если бы мы не представили общую картину динамики поведения других характеристик тремора. В частности, поведение АЧХ и автокорреляционных функций $A(t)$. Это положение усиливает тезис о полной произвольности постурального тремора, т.к. любые стохастические характеристики (АЧХ, $A(t)$) демонстрируют непрерывную хаотическую динамику. Иными словами, реализация тремора всегда происходит произвольно, но дискуссия о его произвольности остается.

Если рассматривать понятие произвольности на основе наличия цели со стороны субъекта, то постуральный тремор конечности имеет цель: удержание руки в данной точке пространства. В этом его отличие от других видов тремора, например, холодового тремора (возникающего при переохлаждении организма), и следовательно, постуральный тремор – это произвольное движение. Однако, на этом вся его произвольность и заканчивается. Никогда человек (произвольно!) не сможет повторить свой постуральный тремор, его детерминистские или стохастические параметры. Динамика любого интервала треморограммы в течении 1-1,5 сек. и любых других последующих подобных интервалов неповторимая и не воспроизводимая с позиций детерминизма и стохастики.

В это понятие невоспроизводимости тремора мы вкладываем не только неповторимость нативной кривой зависимости, например, положение пальца по отношению к датчику в виде $x_1 = x_1(t)$, что представлено на рис. 1. Существуют и другие координаты (диагностические признаки в медицине), которые демонстрируют непрерывное хаотическое движение всех параметров гомеостаза. Если исходить из биофизических понятий, то существуют три фазовые координаты тремора: x_1 – перемещение пальца; $x_2 = dx_1/dt$ – скорость этого перемещения;

$x_3 = dx_2/dt$ – ускорение для x_1 . В каждый момент времени в таком трехмерном пространстве конечность (палец) будет представлен точкой, которая будет совершать непрерывные хаотические движения в пределах некоторой области этого *фазового пространства* (рис. 2). Границы этой области (квазиаттрактора) определяются вариационным размахом Δx_i каждой фазовой координаты x_i в таком трехмерном ($m=3$) пространстве (рис. 2 – В).

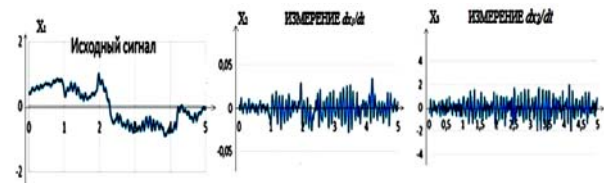


Рис.1. Примеры хаотической динамики поведения фазовых координат тремора: x_1 – перемещение пальца; $x_2 = dx_1/dt$ – скорость этого перемещения; $x_3 = dx_2/dt$ – ускорение для x_1 .

Сюда же относится и невоспроизводимость, неповторимость динамики первой производной в виде $x_2 = dx_1/dt$ и второй производной $x_3 = dx_2/dt$, так как эти фазовые координаты x_i непрерывно изменяются. Вообще траектория кривой в фазовых координатах ВСС $x = x(t) = (x_1, x_2, x_3)^T$ в трехмерном (или двухмерном $(x_1, x_2)^T$) *фазовом пространстве состояний* неповторима и невоспроизводима в принципе. В этом смысле любая такая СТТ – complexity [2-5,7-9] ведет себя как квантовая частица в потенциальной яме. Это значит, что фазовые координаты x_1, x_2, x_3 изменяются в некоторых объемах *фазового пространства* $V_G = \Delta x_1 \times \Delta x_2 \times \Delta x_3$, где Δx_i – вариационный размах i -ой координаты (и он всегда ограничен). Фазовый портрет, соответствующий рис.1 представлен на рис. 2 в двухмерном и трехмерном пространстве ($m_1=2, m_2=3$).

Более того, все известные стохастические характеристики постурального тремора любого человека на нашей Планете являются неповторимыми параметрами этого вида движений. АЧХ тремора на любом временном отрезке t_i , где $t_1 + \dots + t_i + \dots + t_n = T$ при даже очень коротких общих интервалах времени T будет неповторимой и невоспроизводимой в принципе. Полную не-

определенность в своей динамике имеют и автокорреляционные функции $A=A(t)$. Однако, эти колебания не имеют устойчивых функций распределения (они непрерывно изменяются), они хаотичны по своей сути (flickering systems). Эти кривые $A(t)$ не сходятся к нулю, что характерно для детерминированного хаоса (рис. 3), с возрастанием t и представляют непрерывный хаотичный процесс в виде некоторых колебаний (в виде хаотических колебаний). При этом такой биологический хаос отличен от хаоса в физических, химических или технических системах, так как нельзя повторить начальное состояние биосистемы $x(t_0)$. Мы сейчас говорим об особых ССТ – complexity, для которых непрерывно и постоянно $dx/dt \neq 0$. Пример этому представлен на рис.3, где A показывает суперпозицию 30-ти АЧХ треморограмм одного испытуемого за короткий интервал времени, а B – внешний вид одной из автокорреляционных функций из этих 30-ти треморограмм.

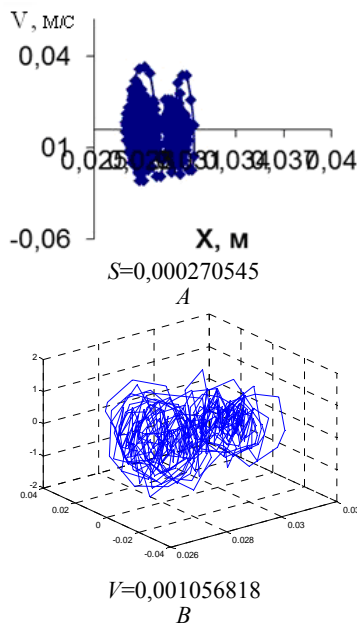


Рис. 2. Фазовые портреты тремора в двухмерном фазовом пространстве вектора $(x_1, x_2)^T - A$ и трехмерном пространстве $(x_1, x_2, x_3)^T - B$, с расчетом параметров квазиаттракторов S и V соответственно

Действительно, этот хаос биосистем существенно отличается от хаоса в физических и технических системах; от хаоса, который изучается в современной теории хаоса В.И. Арнольда и др. Две близлежащие

фазовые траектории не расходятся в *фазовом пространстве* и для них нет экспонент Ляпунова, а автокорреляционные функции $A(t)$ не сходятся к нулю (рис. 3). Это другой тип хаоса – хаос на основе неповторимых механизмов самоорганизации. Для иллюстрации сказанному мы на рис. 3 приводим (A) – пример суперпозиции 30-ти АЧХ для одного, конкретного испытуемого БДА, и одну автокорреляционную функцию $A(t)$ (из всех 30-ти треморограмм), которую представляем как B на рис. 3.

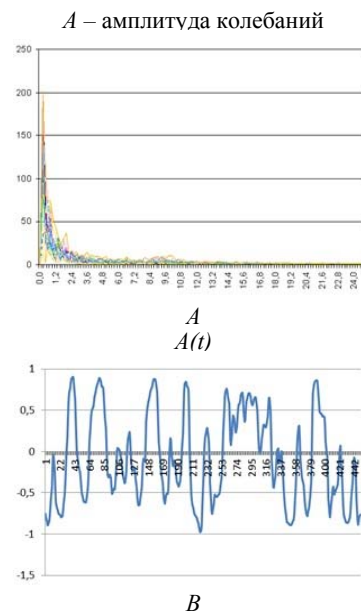


Рис. 3. Амплитудно-частотная характеристика 30-ти треморограмм – A и вид автокорреляционной функции $A(t)$ для одной треморограммы – B , испытуемый БДА

Заключение. Хаотическая динамика параметров вектора состояния любых координат гомеостаза может быть описана в рамках современных научных методов (детерминизма или стохастики). Константы Ляпунова не рассчитываются, автокорреляционные функции не стремятся к нулю и даже свойство перемешивания не подтверждается.

Треморограммы демонстрируют непрерывное изменение функций распределения $f(x)$. Однако, попарное сравнение может выявить определенную закономерность для $f(x)$ в условиях статической нагрузки и без таковой. С нагрузкой число пар (из одной генеральной совокупности) нарастает. Перспективную оценку дает метод расчета *квазиаттракторов*, объемы

которого могут представлять изменения в биомеханических системах.

Литература

1. Анохин П.К. Кибернетика функциональных систем.– М.: Медицина, 1998.– 285 с.
2. Еськов В.М., Филатова О.Е., Хадарцев А.А., Хадарцева К.А. Фрактальная динамика поведения человекомерных систем // Вестник новых медицинских технологий.– 2011.– Т. 18, №3.– С. 330–331.
3. 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.
4. Еськов В.М., Гавриленко Т.В., Дегтярев Д.А., Еськов В.В. Хаотическая динамика параметров кардио-респираторной системы человека при обширных термических воздействиях // Системный анализ и управление в биомедицинских системах.– 2013.– Т. 12, № 1.– С. 622–626.
5. Еськов В.М., Карпин В.А., Еськов В.В., Шувалова О.И. Методы многомерных фазовых пространств в оценке эффективности комплексного лечения артериальной гипертензии // Системный анализ и управление в биомедицинских системах.– 2013.– Т. 12, № 3.– С. 21–25.
6. Churchland M.M., Cunningham J.P., Kaufman M.T. and others. Neural population dynamics during reaching // Nature.– 2012.– V. 487.– P.51–56.
7. Eskov V.M. Models of hierarchical respiratory neuron networks // Neurocomputing.– 1996.– V. 11 (2-4).– P. 203–226.
8. Eskov V.M., Eskov V.V., Filatova O.E. Characteristic features of measurements and modeling for biosystems in phase spaces of states // Measurement Techniques (Medical and Biological Measurements).– 2011.– V. 53 (12).– P. 1404–1410.
9. Eskov V.M., Gavrilenko T.V., Kozlova V.V., Filatov M.A. Measurement of the dynamic parameters of microchaos in the behavior of living biosystems // Measurement Techniques.– 2012.– Vol. 55, № 9.– P. 1096–1101.
10. Gell-Mann M. Fundamental Sources of Unpredictability // Complexity.– 1997.–

Vol. 3, №1.– P. 13–19.

11. Ivanitsky G.R., Deev A.A. A Model of the Development of Stable Competing Relations in the Self-organization of Biosystems // Biophysics.– 2009.– V.54, №3.– P. 381–388

12. Mainzer K. Thinking in complexity: the computational dynamics of matter, mind and mankind. New York, Berlin. Springer, 2007.– 482 P.

13. Penrose R. Shadows of the Mind: A search for the missing science of consciousness, Oxford University Press (Oxford), 1994.

14. Prigogine I. The Die Is Not Cast // Futures. Bulletin of the World Futures Studies Federation.– 2000.– Vol. 25, № 4.– P. 17–19.

15. Prigogine I. The philosophy of instability // Futures.– 1989.– P. 396–400.

References

1. Anokhin PK. Kibernetika funktsional'nykh sistem. Moscow: Meditsina; 1998. Russian.
2. Es'kov VM, Filatova OE, Khadartsev AA, Khadartseva KA. Fraktal'naya dinamika povedeniya chelovekomernykh sistem [Fractal dynamics of conduct chelovekomernykh]. Vestnik novykh meditsinskikh tekhnologiy. 2011;18(3):330-1. Russian.
3. Es'kov VM, Es'kov VV, Filatova OE, Khadartsev AA. Osobyie svoystva biosistem i ikh modelirovanie [Special oriper-ties of biosystems and their modelling]. Vestnik novykh meditsinskikh tekhnologiy. 2011;18(3):331-2. Russian.
4. Es'kov VM, Gavrilenko TV, Degtyarev DA, Es'kov VV. Khaoticheskaya dinamika parametrov kardio-respiratornoy sistemy cheloveka pri obshirnykh termicheskikh voz-deystviyakh. Sistemnyy analiz i upravlenie v biomeditsinskikh sistemakh. 2013;12(1): 622-6. Russian.
5. Es'kov VM, Karpin VA, Es'kov VV, Shuvalova OI. Metody mnogomernykh fazovykh prostranstv v otsenke effektivnosti kompleksnogo lecheniya arterial'noy gipertenzii. Sistemnyy analiz i upravlenie v biomeditsinskikh sistemakh. 2013;12(3):21-5. Russian.
6. Churchland MM, Cunningham JP, Kaufman MT and others. Neural population dynamics during reaching. Nature.

2012;487:51-6.

7. Eskov VM. Models of hierarchical respiratory neuron networks. *Neurocomputing*. 1996;11(2-4):203-26.

8. Eskov VM, Eskov VV, Filatova OE. Characteristic features of measurements and modeling for biosystems in phase spaces of states. *Measurement Techniques (Medical and Biological Measurements)*. 2011;53(12): 1404-10.

9. 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.

10. Gell-Mann M. Fundamental Sources of Unpredictability. *Complexity*. 1997;3(1): 13-9.

11. Ivanitsky GR, Deev AA. A Model of the Development of Stable Competing Relations in the Self-organization of Biosystems. *Biophysics*. 2009;54(3):381-8.

12. Mainzer K. *Thinking in complexity: the computational dynamics of matter, mind and mankind*. New York, Berlin. Springer; 2007.

13. Penrose R. *Shadows of the Mind: A search for the missing science of consciousness*, Oxford University Press (Oxford); 1994.

14. Prigogine I. *The Die Is Not Cast. Futures*. Bulletin of the World Futures Studies Federation. 2000;25(4):17-9.

15. Prigogine I. *The philosophy of instability*. *Futures*. 1989:396-400.