

### III. МАТЕМАТИКА В ОПИСАНИИ ХАОСА И СИНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМ

DOI: 10.12737/22115

#### ДВА ТИПА ПРОВЕРКИ СТОХАСТИЧЕСКОЙ НЕУСТОЙЧИВОСТИ ТРЕМОРОГРАММ ПРИ БОЛЕЗНИ ПАРКИНСОНА

В.В. ЕСЬКОВ, Д.К. БЕРЕСТИН, Н.А. ЧЕРНИКОВ, Л.Г. КЛЮС

*БУ ВО «Сургутский государственный университет», ул. Ленина, 1, Сургут, 628400, Россия*

**Аннотация.** Принципиальная непредсказуемость и неповторимость динамики поведения сложных динамических систем обусловлена особыми свойствами сложных биологических динамических систем, которые мы сейчас определяем как системы третьего типа. В современной теоретической биофизике системы третьего типа определяют как *complexity*, но при этом нет строгого определения этих систем и их свойств. Особенности таких сложных биосистем являются их компартментно – кластерная структура и состояние постоянного мерцания (*glimmeringproperty*), когда непрерывно вектор состояния системы  $x=x(t)$  демонстрирует движение в виде  $dx/dt \neq 0$ . Каждый раз регистрируемые показатели (сигналы) уникальны и, более того, уникальностью обладает каждый временной участок регистрируемого динамического сигнала. Для решения задачи моделирования произвольных движений человека (тремора) была использована трёхкомпаратментнаядвухкластерная математическая модель. Имитационное моделирование двухкластернойтрёхкомпаратментной системы управления нервно-мышечной системой в рамках теории графов осуществлялось в среде моделирования *Simulink Mat Lab*, для исследования сигнала применялись методы теории хаоса-самоорганизации. Она позволяет описывать разнообразные динамические режимы функционирования нервно-мышечной системы при постуральном треморе от хаотических режимов до квазипериодических и далее – стационарных режимов. Изменяя интенсивность драйва, мы получили характеристики с хаотической динамикой поведения вектора состояния системы, что соответствует нормальному функционированию нервно-мышечной системы человека.

**Ключевые слова:** математическая модель, компартментно-кластерный подход, тремор, коэффициент диссипации.

#### TWO TYPES OF INSPECTION STOCHASTIC INSTABILITY OF THREE-ROGRAMME IN PARKINSON'S DISEASE

V.V. ESKOV, D.K. BERESTIN, N.A. CHERNIKOV, L.G. KLYUS

*Surgut State University, Lenina pr., 1, Surgut, 628400, Russia*

**Abstract.** The fundamental unpredictability and uniqueness of the dynamics of behavior of complex dynamic systems due to the special properties of complex biological dynamical systems, which we now define as system of the third type. In modern theoretical Biophysics system of the third type is defined as complexity, but there is no strict definition of these systems and their properties. The characteristic features of biological systems is threecompartment – cluster structure and state of constant flicker (*glimmering property*), when the continuous state vector  $x=x(t)$  shows the movement in the form  $dx/dt \neq 0$ . Every time the recorded performance (signals) are unique and, moreover, has a unique each time the dynamic portion of the recorded signal. To solve the problem

of modeling human involuntary movements (tremor) was used three compartment two-cluster mathematical model. Simulation three compartment two-cluster management neuromuscular system within the graph theory was carried out in the simulation environment SimulinkMatLab, the signal applied to the study of chaos theory, methods of self-organization. It allows you to describe a variety of dynamic modes of functioning of the neuromuscular system in postural tremor of the chaotic regime to a quasi-periodic and beyond – stationary regimes. By varying the intensity of the drive, we got the characteristics of a chaotic dynamic behavior of the state vector of the system, which corresponds to the normal functioning of the nervous and muscular man.

**Key words:** mathematical model, compartment-cluster approach, tremor, dissipation coefficient.

**Введение.** Проблема моделирования сложных биосистем (*complexity*) является актуальной проблемой естествознания в целом и биомеханики в частности т.к. три нобелевских лауреата (*J.A. Wheeler, I.R. Prigogine, M. Gell-Mann*) относили сложные системы (*complexity*, эмерджентные системы) к теории динамического хаоса. Последние 50 лет идет активная дискуссия вокруг самого определения «сложность». Считается, что постуральный тремор и теппинг можно рассматривать как примеры произвольных и непроизвольных движений соответственно. Однако, с позиций биомеханики и теории хаоса – самоорганизации (ТХС) оба этих движения не могут числиться произвольными, т.к. они с механической точки зрения и с позиций ТХС выполняются произвольно, их характеристики (тремограмм и теппинграмм) уникальны и неповторимы.

Для моделирования таких сложных систем мы применяем *компарментно-кластерную теорию биосистем* (ККТБ) [5-10]. Любые сложные биологические динамические системы (БДС), образующие организм человека, популяции животных или биосферу Земли в целом являются уникальными и невозпроизводимыми точно системами, которые мы сейчас называем как *системы третьего типа* (СТТ). С точки зрения детерминистского подхода многократное повторение любого такого процесса должно обеспечивать идентификацию моделей БДС в *фазовом пространстве состояний* (ФПС) [1-6]. Однако, если биосистемы точно воспроизвести невозможно, то мы переходим к стохастике, т.е. к определению статистической функции распределения биопроцесса  $f(x)$ . При этом и стохастика всегда требует

повторения начальных параметров процесса, в котором его конечный результат все-таки будет флуктуировать около среднего значения [14-19].

В этом случае мы всегда имеем неравномерное распределение случайной величины, в отличие от активно разрабатываемой теории хаоса, где принято считать, что конечное состояние системы может быть представлено равномерным распределением значений всех параметров  $x_i$  для вектора состояния системы (ВСС),  $x=x(t)=(x_1, x_2, \dots, x_m)^T$ , описывающего сложную БДС [9-13]. В стохастике такого ВСС  $x(t)$  должен иметь повторяющееся начальное значение  $x(t_0)$  и функцию распределения  $f(x)$  для всех конечных состояний  $x(tk)$ . Если  $x(t_0)$  воспроизвести невозможно, то стохастический подход применять нельзя (нет повторений испытаний, система уникальная и невозпроизводимая). Одновременно, если будем мы будем наблюдать хаотический калейдоскоп статистических функций распределения  $f(x)$  для подряд получаемых выборок  $x_i$ , то отсюда делается вывод о низкой эффективности всех стохастических подходов в описании *complexity*. Тогда возникает базовый вопрос естествознания: как описывать СТТ – *complexity*.

**1. Детерминистские модели *complexity*.** Для решения задачи моделирования произвольных движений человека (тремора) была использована трёхкомпарментная двухкластерная математическая модель, разработанная Еськовым В.М. Имитационное моделирование двухкластерной трёхкомпарментной системы управления *нервно-мышечной системой* (НМС) в рамках теории графов осуществлялось в среде моделирования *Simulink*

*MatLab*, для исследования сигнала применялись методы ТХС, которые могут описывать в рамках параметров *квазиаттракторов* (КА) динамику поведения СТТ.

Система уравнений, описывающая такую двухкластерную модель, имеет вид:

$$\begin{aligned} \dot{x}_1 &= A_{11}(y_1)x_1 - bx_1 + U_1d_1, \\ \dot{x}_2 &= A_{21}x_1 + A_{22}(y_2)x_2 - bx_2 + U_2d_2, \\ y_1 &= c_{11}^T x_1, \\ y_2 &= c_{21}^T x_1 + c_{22}^T x_2. \end{aligned} \quad (1)$$

где  $A_{11}$  – матрица внутрикластерных связей для 1-го кластера,  $A_{22}$  – для второго кластера и  $A_{21}$  – матрица связей (влияния) 1-го кластера на 2-ой кластер,  $y$  – функция выхода.

На исследуемой модели вида (1) с позиций ККТБ можно описывать норму и патологию неповторимых и непредсказуемых (с позиций ДСП) динамик тремора. Это означает, что для любого участка треморограммы мы никогда не получим одинаковую *амплитудно-частотную характеристику* (АЧХ) и другие ДСП-характеристики (но параметры КА приблизительно сохраняются). На модели это выглядит в виде нестационарных динамик треморограмм, если мы не будем изменять параметры систем уравнений.

При помощи построения матрицы попарного сравнения выборок, легко видеть, как меняется поведение модельной биологической системы (тремора), если менять значения коэффициента диссипации  $b_1$  в узком (табл. 2) и широком (табл. 1) диапазоне. Матрица попарного сравнения выборок (модельных треморограмм) при разных значениях коэффициента диссипации  $b_1$  представлена в табл. 4 для случая широких интервалов изменения только одного параметра  $b_1$  (а если все параметры изменяются сразу в широких диапазонах?) [5-10].

Из табл. 1 мы видим, что только  $k=2$  пары выборок из 45 принадлежат к одной генеральной совокупности, то есть частота  $k$  статистических совпадений пар крайне низкая и это соответствует большому диапазону вариаций  $b_1$ . Это означает, что регуляторная система тремора претерпевает большие изменения (большое «рысканье»). Остальные пары нельзя относить к одной

генеральной совокупности (их динамика хаотична). Обычно  $k=2-12$  принадлежит тремору, как произвольному движению.

Таблица 1

**Матрица парного сравнения значений выборок модельного тремора для коэффициента диссипации  $b_1$  при увеличенных изменениях коэффициента диссипации ( $k=2$ )**

$b_1$ , у.е.	1.01	1.24	1.47	1.70	1.93	2.16	2.40	2.62	2.86	3.11
1.01		.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00
1.24	.00		.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00
1.47	.00	.00		.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00
1.70	.00	.00	.00		.00	.00	.00	.00	.00	.00
1.93	.00	.00	.00	.00		.00	.00	.14	.00	.00
2.16	.00	.00	.00	.00	.00		.06	.00	.00	.00
2.40	.00	.00	.00	.00	.00	.06		.00	.00	.00
2.62	.00	.00	.00	.00	.14	.00	.00		.00	.00
2.86	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00		.00
3.11	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	

В табл. 2 представлена матрица парного сравнения значений выборок модельного тремора для коэффициента диссипации  $b_1$  для выявления чувствительности модели (во втором разряде), то есть при малых вариациях  $b_1$  (при малых «рысканьях» параметров системы регуляции). Мы выдвигаем рабочую гипотезу от общих принципах регуляции любых *функциональных систем организма* (ФСО) человека (включая нейромоторные режимы больших вариаций параметров и малых вариаций). Последние могут регулироваться общим уровнем возбуждения ЦНС [4-9].

Таблица 2

**Матрица парного сравнения значений выборок модельного тремора для коэффициента диссипации  $b_1$  при малых изменениях коэффициента диссипации ( $k=22$ )**

$b_1$ , у.е.	1.55	1.56	1.57	1.58	1.59	1.60	1.61	1.62	1.63	1.64
1.55		.25	.09	.01	.00	.00	.00	.23	.00	.05
1.56	.25		.43	.09	.04	.00	.00	.97	.00	.17
1.57	.09	.43		.96	.12	.01	.00	.34	.00	.64
1.58	.01	.09	.96		.53	.02	.00	.11	.00	.90
1.59	.00	.04	.12	.53		.50	.09	.02	.00	.49
1.60	.00	.00	.01	.02	.50		.25	.00	.03	.07
1.61	.00	.00	.00	.00	.09	.25		.00	.24	.00
1.62	.23	.97	.34	.11	.02	.00	.00		.00	.19
1.63	.00	.00	.00	.00	.00	.03	.24	.00		.00
1.64	.05	.17	.64	.90	.49	.07	.19	.00	.00	

Очевидно, что изменения во втором знаке после запятой для  $b1$  уже нарушают принцип отнесения пар к общей генеральной совокупности. Результаты «совпадения» пар (их отнесения к общей генеральной совокупности) очень похожи на результаты, полученной от анализа треморограмм одного человека при последовательной регистрации тремора по 5 секунд (подряд) в различных режимах работы *нейромышечной системы* (НМС): возбуждение ЦНС – увеличивается. Можно предположить, что механизм организации тремора подобен модельному процессу, если во 2-м знаке после запятой будет «плавать» значение коэффициента диссипации  $b1$ , то мы будем иметь малое число значений  $k$ , а при увеличении вариаций (в 1-ом знаке и даже в первой цифре вообще), то  $k$  будет резко уменьшаться, и система будет приближаться к хаосу в полном смысле. С ростом диапазона вариаций  $b1$  (и других параметров  $b$ ) мы будем глубоко уходить в хаос, когда функции распределения вообще не будут совпадать и каждая выборка будут отлична от всех остальных. Такая ситуация характерна для ухода ЦНС и НМС в область полной «независимости» последующих состояний от предыдущих [5-10].

При сильных изменениях  $b$  и  $Ud$  можно наблюдать патологические режимы тремора, например, характерные для болезни Паркинсона. Развитие болезни Паркинсона характеризуется патологическими изменениями на уровне ЦНС, сопровождающихся эволюцией как нейромедиаторного системного комплекса, так и НМС на её периферическом звене в виде конечностей (или других частей тела). Это заболевание характеризуется эволюцией и оно имеет несколько характерных стадий в виде нормы, предпатологии, ранней патологии, патологии, глубокой (поздней) патологии. Все эти стадии можно описывать отдельным образом, как это и делается сейчас в биомедицинских науках, но в настоящей работе мы претендуем на построение общих моделей эволюционирующих систем, описывающих организм человека. При этом, сами биосистемы переходят из одного состояния в другое и эти все переходы и промежуточные состоя-

ния могли бы описываться в рамках одной модели. Именно такие математические модели и должны приблизить мир теоретических (модельных) динамик к миру реальных биомедицинских систем. Действительно, подавая на вход двухкластерной модели в момент времени  $t0$  некоторое значение  $U0$  система генерирует различную активность. Изменяя величину этого управляющего драйва  $U$ , можно получить разный характер микроперемещений (тремора) на выходе системы – от хаотического до установившегося (стационарного) режима в виде  $dx/dt=0$  (это характерно для детерминизма).

При значении параметра  $Ud=295$  у.е. происходит бифуркация рождения циклов. АЧХ на разных участках временной диаграммы будут сходными. Фазовый портрет сигнала в трёхмерном пространстве  $(x_1, x_2, x_3)^T$ , где  $x_3=dx_2/dt$ , отличается от идеального тора, но при этом траектории движения в каждый момент времени накладываются на предыдущие значения. Данное явление еще раз подтверждает постоянную эволюцию КА в пределах ФПС, то есть в пределах *квазиаттракторов*  $V_G$ . В целом мы сейчас демонстрируем, что вариации  $b1$  показывают механизмы усиления (ослабления) стохастичности в выборках, а  $U$  – общую эволюцию СТТ.

Появление периодичности в характеристиках НМС (как и в любой реальной биосистеме) соответствует патологическому явлению, например, болезни Паркинсона. Следует отметить схожесть теппинга условно здорового человека с тремором больного Паркинсоном с позиции фазовых портретов. И там, и там появляется некоторое внешнее (для НМС) управления со стороны ЦНС. И это регулирует тремор и увеличивает число  $k$ .

На модели (I) было установлено отсутствие возможности произвольного повторения не только двух произвольных движений, но и двух одинаковых серий таких (якобы произвольных) движений. Можно выделить некоторые характерные пики частот, но и они воспринимаются хаотически. Очевидно, что автокорреляционные функции  $A(t)$  не стремятся к нулю, а

это значит, что мы имеем дело не с детерминированным хаосом (одновременно нет отрицательных констант Ляпунова и свойство перемешивания (*mixing property*) также не выполняется). Общая динамика при суперпозиции треморограмм (у больных паркинсонизмом) в виде АЧХ и  $A(t)$  подобна таковым при суперпозиции 15-ти теппинграмм здорового человека. Различие составляет только цель: в теппинграммах она создаётся сознательно, а при болезни Паркинсона у человека спонтанно возникает очаг генерации квазипериодических движений в виде патологического тремора.

Можно предположить, что в этих двух случаях речь идёт о самоорганизации, которая при теппинге получается осознанно, а при патологическом треморе (болезнь Паркинсона) за счет внутренних механизмов самоорганизации (без сознания). В итоге – сознание не играет существенной роли (в конечном наполнении движения) в получении этих двух видов тремора (или теппинга). Предложенная профессором Еськовым В.М. компартментно-кластерная модель позволяет описать оба вида рассмотренных нами движений и позволяет объяснить механизм увеличения числа совпадений пар выборок  $k$  при теппинге и паркинсонизме (за счёт сужения интервалов  $b_1$  и изменения драйва  $U$ ).

Существенно, что нарастание драйва от 1-го кластера (нейросетей мозга – стриатума и паллидарного комплекса) способно перевести 2-ой кластер (НМС) из режима повто-

ряющихся колебаний (но не строго регулярных) в режим ригидной формы болезни Паркинсона. Модель это демонстрирует при увеличении  $Ud$ , что в реальных живых системах получается в виде итога эволюции патологического процесса. Детерминизм (в виде  $dx/dt=0$ ) представляет или глубокую патологию или даже смерть организма.

Таблица 3

**Матрица попарного сравнения значений модельных треморограмм при коэффициентах диссипации  $b_1^1=1,111$  и  $b_1^2=1,112$  для выявления чувствительности модели к вариациям (число совпадений  $k=221$  из всех 225)**

$b_1^1=1,111$ $b_1^2=1,112$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1	0,20	0,24	0,31	0,83	0,37	0,27	0,22	0,29	0,64	0,52	0,22	0,55	0,67	0,32	0,76
2	0,29	0,09	0,54	0,60	0,46	0,36	0,20	0,33	0,73	0,49	0,34	0,84	0,95	0,86	0,96
3	0,05	0,22	0,28	0,15	0,28	0,11	0,06	0,09	0,43	0,07	0,07	0,62	0,75	0,15	0,47
4	0,51	0,57	0,58	0,69	0,62	0,27	0,58	0,45	0,90	0,60	0,31	0,61	0,48	0,48	0,86
5	0,48	0,86	0,70	0,74	0,77	0,70	0,91	0,41	0,94	0,77	0,39	0,79	0,86	0,75	0,58
6	0,16	0,29	0,63	0,41	0,40	0,37	0,10	0,49	0,55	0,40	0,12	0,40	0,76	0,48	0,59
7	0,86	0,87	0,68	0,82	0,48	0,94	0,87	0,87	0,56	0,82	0,71	0,78	0,98	0,61	0,46
8	0,06	0,07	0,06	0,09	0,05	0,09	0,07	0,04	0,19	0,22	0,15	0,39	0,15	0,07	0,33
9	0,27	0,41	0,19	0,19	0,37	0,41	0,07	0,26	0,20	0,20	0,27	0,72	0,57	0,35	0,39
10	0,06	0,10	0,16	0,16	0,33	0,14	0,08	0,19	0,81	0,15	0,10	0,77	0,75	0,15	0,33
11	0,38	0,41	0,29	0,29	0,60	0,37	0,15	0,61	0,74	0,72	0,23	0,71	0,93	0,71	0,92
12	0,19	0,26	0,44	0,46	0,32	0,04	0,38	0,37	0,82	0,38	0,23	0,98	0,96	0,32	0,81
13	0,61	0,83	0,67	0,26	0,62	0,89	0,25	0,75	0,62	0,91	0,18	0,83	0,72	0,76	0,68
14	0,47	0,86	0,94	0,82	0,93	0,67	0,57	0,88	0,93	0,88	0,50	0,81	0,75	0,74	0,77
15	0,51	0,51	0,41	0,46	0,21	0,38	0,24	0,74	0,56	0,38	0,52	0,50	0,97	0,33	0,92

**2. Равномерный тип распределения.** При помощи построения матрицы попарного сравнения выборок которые получают на модели (1) в виде значений функций выхода  $y=y(t)$  при сравнении 15-ти участков моделируемых сигналов друг с другом при различных коэффициентах диссипации  $b_1$  и управляющего драйва  $Ud$ , была определена чувствительность модели. Матрица попарного сравнения выборок (модельных треморограмм) при разных значениях коэффициента диссипации  $b_1$  представлена в табл. 3 для случая небольшого интервала коэффициентов диссипации  $b_1$  друг от друга [5-10].

Из табл. 3 видно, что из 225 пар сравнения 221 пары выборок принадлежат одной генеральной совокупности, т.е. частота совпадений очень высокая (98%) Получается что изменения в системе минимальны (около 2%), такая ситуация характерна для динамического хаоса Лоренца.

ходит непрерывные и хаотичные колебания параметров настройки, которые и приводят к несовпадению выборок  $x_i$  и их статистических функций.

В случае больших различий между значениями  $b_1$  матрицы в итоге к приводят полному несовпадению. Таким образом по-

**Матрица попарного сравнения значений модельных треморограмм при коэффициентах диссипации  $b_1^1=1,111$  и  $b_1^2=1,134$  для выявления чувствительности модели к вариациям (число совпадений  $k=1$ )**

$b_1^1=1,111$ $b_1^2=1,134$	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	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00
2	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,02	0,00	0,00	0,01
3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,01	0,01	0,00	0,01
4	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,04	0,00	0,00	0,01
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	0,00
6	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,01	0,00	0,01	0,00	0,00	0,02	0,01	0,00	0,03
7	0,01	0,01	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01	0,00	0,03	0,05	0,00	0,00
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	0,00	0,00
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	0,00	0,00
10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,02	0,01	0,00	0,02
11	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00
12	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,02	0,00	0,01
13	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	0,01
14	0,00	0,03	0,01	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,01	0,01	0,00	0,01
15	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	0,00

Таблица 4

лучается, что изменяя интенсивность драйва, мы получили характеристики с хаотической динамикой поведения ВСС, что соответствует нормальному функционированию НМС человека. В целом, невозможно предсказать значение биоэлектрической активности эффекторных органов в последующий момент времени. В целом компартментно-кластерная модель позволяет описывать разнообразные динамические режимы функционирования НМС при постуральном треморе от хаотических режимов до

квазипериодических и далее – стационарных режимов. При этом было стохастически нарастает, если интервал вариаций  $b_1$  сужается. Это характерно для теппинга

В табл. 4 представлена матрица парного сравнения выборок, но уже при большом интервале изменения коэффициента диссипации  $b_1$  (в третьем знаке вариации). В этом случае мы почти не имеем пар, которые можно отнести к одной генеральной совокупности ( $k=1$ ). Такие модели нас приближают к тремору, у которого было  $k \geq 2$ .

Как следует из расчётов, мы можем отобразить число совпадений пар выборок согласно расчетам матриц парных сравнений на графике, где по оси  $x$  – будут значения коэффициента диссипации  $b_1$ , а по оси  $y$  – число совпадений ( $k$ ). Мы имеем некоторую убывающую (монотонную) функцию  $k$  от  $b_1$ , т.е.  $k=k(b_1)$ , см. рис. 1. Можно предположить, что в живом организме (например, в нейронных сетях мозга) проис-

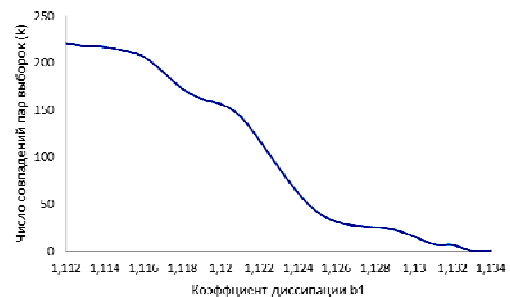


Рис. 1. Зависимость числа совпадений пар выборок ( $k$ ) от вариаций коэффициентов диссипации  $b_1$  согласно расчетам матриц парных сравнений и изменение коэффициента диссипации  $b_1$

**Выводы.** Двухкластерная трехком-  
партментная иерархическая модель нервно-  
мышечной системы позволяет описывать  
динамику поведения реальных биомехани-  
ческих систем человека.

Границы применения ККТБ при моде-  
лировании произвольности (или непроиз-  
вольности) постурального тремора возника-  
ет в связи с изменением внешних управ-  
ляющих драйвов *Ud*. При этом наблюдаются  
вариации АЧХ, автокорреляционных функ-  
ций, что характерно для треморограмм по-

стуральный тремор и при болезни Пар-  
кинсона. Произвольность тремора может  
проявляться только в изменении параметров  
*квазиаттракторов* (при изменении коэф-  
фициента диссипации *b*).

Компартментно-кластерное модели-  
рование позволяет доказать непрерывную  
хаотическую динамику непроизвольных  
движений человека в условиях нормы и па-  
тологии.

### Литература

### References

1. Бернштейн Н.А. О построении движений. М.: Медгиз, 1947. 254 с.
2. Веракса А.Н., Горбунов Д.В., Шадрин Г.А., Стрельцова Т.В. Эффект Еськова-Зинченко в оценке параметров теппинга методами теории хаоса-самоорганизации и энтропии // Сложность. Разум. Постнеклассика. 2016. №1. С. 17–24.
3. Даниелян В.В., Карпин В.А., Филатов М.А. Постнеклассическая философия как методологическое основание построения современной эволюционной теории // Философия науки. 2013. № 2 (57). С. 82–91.
4. Еськов В.В., Еськов В.М., Карпин В.А., Филатов М.А. Синергетика как третья парадигма, или понятие парадигмы в философии и науке // Философия науки. 2011. № 4 (51). С. 126–128.
5. Еськов В.М., Зинченко Ю.П., Филатов М.А., Поскина Т.Ю. Эффект Н.А. Бернштейна в оценке параметров тремора при различных акустических воздействиях // Национальный психологический журнал. 2015. № 4(20). С. 66–73.
6. Еськов В.М., Филатова О.Е., Хадарцева К.А., Еськов В.В. Универсальность понятия «гомеостаз» // Клиническая медицина и фармакология. 2015. № 4 (4). С. 29–33.
7. Еськов В.М., Газя Г.В., Майстренко Е.В., Болтаев А.В. Влияние промышленных электромагнитных полей на параметры сердечно-сосудистой системы работников нефтегазовой отрасли // Экология и промышленность России. 2016. № 1. С. 59–63.
8. Еськов В.М., Еськов В.В., Вохмина Ю.В., Гавриленко Т.В. Эволюция хаотической динамики коллективных мод как способ описания поведения живых систем // Вестник Московского университета. Серия. 3. Физика и астрономия. 2016. № 2.

Bernshteyn NA. O postroenii dvizheniy. Moscow: Medgiz; 1947. Russian.

Veraksa AN, Gorbunov DV, Shadrin GA, Strel'tsova TV. Effekt Es'kova-Zinchenko v otsenke parametrov teppinga metodami teorii khaosa-samoorganizatsii i entropii. Slozhnost'. Razum. Postneklassika. 2016;1:17-24. Russian.

Danielyan VV, Karpin VA, Filatov MA. Postneklasicheskaya filosofiya kak metodologicheskoe osnovanie postroeniya sovremennoy evolyutsionnoy teorii. Filosofiya nauki. 2013;2(57):82-91. Russian.

Es'kov VV, Es'kov VM, Karpin VA, Filatov MA. Sinergetika kak tret'ya paradigma, ili ponyatie paradigmy v filosofii i nauke. Filosofiya nauki. 2011;4(51):126-8. Russian.

Es'kov VM, Zinchenko YP, Filatov MA, Poskina TY. Effekt N.A. Bernshteyna v otsenke parametrov tremora pri razlichnykh akusticheskikh vozdeystviyakh. Natsional'nyy psikhologicheskiy zhurnal. 2015;4(20):66-73. Russian.

Es'kov VM, Filatova OE, Khadartseva KA, Es'kov VV. Universal'nost' ponyatiya «gomeostaz». Klinicheskaya meditsina i farmakologiya. 2015;4(4):29-33. Russian.

Es'kov VM, Gazya GV, Maystrenko EV, Boltayev AV. Vliyanie promyshlennykh elektromagnitnykh poley na parametry serdechnososudistoy sistemy rabotnikov neftegazovoy otrasli. Ekologiya i promyshlennost' Rossii. 2016;1:59-63. Russian.

Es'kov VM, Es'kov VV, Vokhmina YV, Gavrilenko TV. Evolyutsiya khaoticheskoy dinamiki kolektivnykh mod kak sposob opisaniya povedeniya zhi-vykh system. Vestnik Moskovskogo universiteta. Seriya. 3. Fizika i astronomiya. 2016;2. Russian.

9. Еськов В.М., Зинченко Ю.П., Филатов М.А., Стрельцова Т.В. Стресс-реакция на холод: энтропийная и хаотическая оценка // Национальный психологический журнал. 2016. № 1(21). С. 45–52. Es'kov VM, Zinchenko YP, Filatov MA, Strel'tsova TV. Stress-reaktsiya na kholod: entropiynaya i khaoticheskaya otsenka // Natsional'nyy psikhologicheskiy zhurnal. 2016;1(21):45-52. Russian.
10. Зинченко Ю.П., Еськов В.М., Еськов В.В. Понятие эволюции Гленсдорфа-Пригожина и проблема гомеостатического регулирования в психофизиологии // Вестник Московского университета. Серия 14: Психология. 2016. № 1. С. 3–24. Zinchenko YP, Es'kov VM, Es'kov VV. Ponyatie evolyutsii Glensdorfa-Prigozhina i problema gomeostateskogo regulirovaniya v psikhofiziologii. Vestnik Moskovskogo universiteta. Seriya 14: Psikhologiya. 2016;1:3-24. Russian.
11. Карпин В.А., Еськов В.М., Филатов М.А., Филатова О.Е. Философские основания теории патологии: проблема причинности в медицине // Философия науки. 2012. № 1 (52). С. 118–128. Karpin VA, Es'kov VM, Filatov MA, Filatova OE. Filosofskie osnovaniya teorii patologii: problema prichinnosti v meditsine. Filosofiya nauki. 2012;1(52):118-28. Russian.
12. Розенберг Г.С. Введение в теоретическую экологию. В 2-х т.; Изд. 2-е, исправленное и дополненное. Тольятти: Кассандра, 2013. 565 с. Rozenberg GS. Vvedenie v teoreticheskuyu ekologiyu. V 2-kh t.; Izd. 2-e, ispravlennoe i dopolnennoe. Tol'yatti: Kassandra, 2013. Russian.
13. Степин В.С. Типы научной рациональности и синергетическая парадигма // Сложность. Разум. Постнеклассика. 2013. № 4. С. 45–59. Stepin VS. Tipy nauchnoy ratsional'nosti i sinergeticheskaya paradigm. Slozhnost'. Razum. Postneklassika. 2013;4:45-59. Russian.
14. Филатов М.А., Веракса А.Н., Филатова Д.Ю., Поскина Т.Ю. Понятие произвольных движений с позиций эффекта Еськова-Зинченко в психофизиологии движений // Сложность. Разум. Постнеклассика. 2016. №1. С. 24–32. Filatov MA, Veraksa AN, Filatova DY, Poskina TYu. Ponyatie proizvol'nykh dvizheniy s pozitsiy effekta Es'kova-Zinchenko v psikhofiziologii dvizheniy. Slozhnost'. Razum. Postneklassika. 2016;1:24-32. Russian.
15. Фудин Н.А., Еськов В.М., Белых Е.В., Троицкий А.С., Борисова О.Н. Избранные медицинские технологии в работе спортивного тренера (по материалам тульской и сургутской научных школ) // Клиническая медицина и фармакология. 2015. № 3 (3). С. 56–61. Fudin NA, Es'kov VM, Belykh EV, Troitskiy AS, Borisova ON. Izbrannye meditsinskie tekhnologii v rabote sportivnogo trenera (po materialam tul'skoy i surgutskoy nauchnykh shkol). Klinicheskaya meditsina i farmakologiya. 2015;3(3):56-61. Russian.
16. Хадартцев А.А., Еськов В.М., Хадартцев В.А., Иванов Д.В. Клеточные технологии с позиций синергетики // Вестник новых медицинских технологий. 2009. Т. 16. № 4. С. 7–9. Khadartsev AA, Es'kov VM, Khadartsev VA, Ivanov DV. Kletochnye tekhnologii s pozitsiy sinergetiki. Vestnik novykh meditsinskikh tekhnologiy. 2009;16(4):7-9. Russian.
17. Хадартцев А.А., Еськов В.М., Козырев К.М., Гонтарев С.Н. Медико-биологическая теория и практика. Тула, 2011. Khadartsev AA, Es'kov VM, Kozyrev KM, Gontarev SN. Mediko-biologicheskaya teoriya i praktika. Tula; 2011. Russian.
18. Хадартцев А.А., Несмеянов А.А., Еськов В.М., Кожемов А.А., Фудин Н.А. Принципы тренировки спортсменов на основе теории хаоса и самоорганизации // Теория и практика физической культуры. 2013. № 9. С. 87–93. Khadartsev AA, Nesmeyanov AA, Es'kov VM, Kozhemov AA, Fudin NA. Printsipy trenirovki sportsmenov na osnove teorii khaosa i samoorganizatsii. Teoriya i praktika fizicheskoy kul'tury. 2013;9:87-93. Russian.
19. Eskov V.M., Eskov V.V., Filatova O.E., Khadartsev A.A., Sinenko D.V. Neurocomputational identification of order parameters in gerontology // Advances in Gerontology. 2016. V.6(1). P. 24–28. Eskov VM, Eskov VV, Filatova OE, Khadartsev AA, Sinenko DV. Neurocomputational identification of order parameters in gerontology. Advances in Gerontology. 2016;6 (1):24-8.