

DOI: 10.12737/ 24389

КОМПАРТМЕНТНО-КЛАСТЕРНЫЕ МОДЕЛИ ПРОИЗВОЛЬНЫХ И НЕПРОИЗВОЛЬНЫХ ДВИЖЕНИЙ

Д.К. БЕРЕСТИН, Г.С. КОЗУПИЦА, Н.А. ЧЕРНИКОВ, О.А. ГЛАЗОВА

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

Аннотация. Принципиальная непредсказуемость и неповторимость динамики поведения сложных динамических систем (систем третьего типа – *complexity*) 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 (*glimmering property*), 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 таких особых систем была использована трёхкомпаратментная двухкластерная математическая модель, которая может быть использована для моделирования различных функциональных систем организма человека и в частности нервно-мышечной системы. Изменяя параметры модели интенсивность драйва, мы можем получить характеристики переменных x_i с хаотической динамикой поведения всего вектора состояния системы, что соответствует произвольным (теппинг) и непроизвольным (тремор) движениям в различных физиологических условиях испытуемого.

Ключевые слова: нервно-мышечная система, математическая модель, компартментно-кластерная система, биологическая динамическая система.

COMPARTMENT-CLUSTER MODEL VOLUNTARY AND INVOLUNTARY MOVEMENTS

D.K. BERESTIN, G.S. KOZUPITSA, N.A.CHERNIKOV, O.A. GLAZOVA

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

Abstract. The fundamental unpredictability and uniqueness of the dynamics of behavior of complex dynamic systems (systems of the third type of complexity) is 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.. Features of such complex biological systems are compartmenta - cluster structure and a constant state of flickering (*glimmering property*) when the continuous state vector of the system $x=x(t)$ shows movement in the form $dx/dt \neq 0$. Each time the detected indicators (signal) is unique and, moreover, the uniqueness everyone has time recordable dynamic signal. To solve the problem of modeling such special systems have been used tricompartmental two-cluster mathematical model that can be used to simulate the various functional systems of the human body and in particular the neuromuscular system. Changing the model parameters the intensity of the drive, we can obtain the characteristics of the variables x_i with chaotic dynamics behavior of the system state vector, which corresponds to an arbitrary (tapping) and involuntary (tremor) movements in different physiological conditions of the subject.

Key words: the neuromuscular system, mathematical model, compartment-cluster system, biological dynamic system.

Введение. Проблема моделирования сложных биосистем (*complexity*) является актуальной проблемой естествознания в целом и биомеханики, в частности, два нобелевских лауреата (*I.R. Prigogine, M. Gell-Mann, J.A. Wheeler*) 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 в условиях управления, можно рассматривать как примеры произвольных и непроизвольных процессов, т.к. в этих актах участвует сознание испытуемого. Однако, с позиций биомеханики и *теории хаоса – самоорганизации* (ТХС) любой вид движения, не может числиться произвольными процессами, т.к. они с физиологической (стохастической) точки зрения и с позиций ТХС выполняются непроизвольно, их характеристики (*тремограмм* (ТМР) и *теппинграмм* (ТПГ)) уникальны и неповторимы.

Для моделирования таких сложных систем мы сейчас применяем *компарментно-кластерную теорию биосистем* (ККТБ) [6,14]. 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 определяем 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) [4-10]. 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 [1-5]. Однако для СТТ мы не можем использовать понятие флуктуации (нет среднего значения, моды и медианы не устойчивы),

что и показывается в настоящем сообщении на примере СТТ [10-16].

1. Компарментно-кластерное моделирование. Для СТТ в этом случае мы всегда имеем неравномерное распределение случайной величины в отличие от активно разрабатываемой теории динамического 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 биологическую динамическую систему [15-19]. В стохастике такой вектор $x(t)$ должен иметь повторяющееся начальное значение $x(t_0)$ и функцию распределения $f(x)$ для всех конечных состояний $x(t_k)$. Если $x(t_0)$ воспроизвести невозможно, то стохастический подход применять нельзя (нет повторений испытаний, система уникальная и невозпроизводимая). Одновременно, если 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*, какие модели в рамках функционального анализа и стохастики возможны вообще?

Для решения задачи моделирования хаотических параметров непроизвольных движений человека (тремора) была использована двухкластерная трёхкомпарментная математическая модель, разработанная Еськовым В.М. в 80-х годах 20-го века [8-16]. Имитационное моделирование двухкластерной трёхкомпарментной системы управления *нервно-мышечной системой* (НМС) и *кардио-респираторной системы* (КРС) с использованием теории графов осуществлялось в среде моделирования *SimulinkMatLab*. Для исследования сигнала применялись методы ТХС, которые могут описывать такие хаотические процессы в рамках параметров *квазиаттракторов* (КА). Динамика поведения СТТ в этом слу-

чае описывается объемом (площадью) КА и координатами центра КА.

Система уравнений, описывающая такую двухкластерную модель, имеет вид:

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

здесь b – коэффициент диссипации (возбуждения, энергии) в мышцах или в системе регуляции КРС. Слагаемое Ud описывает внешние (управляющие) драйвы, например, для ЦНС это будет уровень возбуждения ретикулярной формации продолговатого мозга, которая в целом определяет регулирование «сон-бодрствование» для всего организма. Вектор y состоит из двух компонент y_1 – выход с 1-го кластера (у нас это ЦНС) и y_2 – выход со второго кластера (у нас это реальные параметры ТМГ или ТПГ).

Связи между кластерами представляет матрица $A = \begin{pmatrix} A_{11} & 0 \\ A_{21} & A_{22} \end{pmatrix}$, где A_{11} – матрица внутрикластерных связей для 1-го кластера, A_{22} – матрица внутрикластерных взаимоотношений для второго кластера и A_{21} – матрица связей (влияния) 1-го кластера на 2-ой кластер, y – функция выхода (y_1 – с 1-го кластера, y_2 – со второго кластера) в виде ТМГ $x_1(t)$.

2. Численное моделирование. Существенно, что нарастание драйва от 1-го кластера (нейросетей мозга – стриатума и паллидарного комплекса) способно перевести 2-ой кластер (нервно-мышечную систему) из режима повторяющихся 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.

Отметим, что в организме мы обычно имеем хаотические настройки в расчете нейросети. Это означает, что параметры нашей модели (1) могут задаваться при произвольном такте (настройки) из некото-

рого равномерного распределения (т.е. $b \in (b_{min}, b_{max})$).

Таблица 1

Матрица парного сравнения выборок модельных треморограмм при хаотическом изменении коэффициента диссипации b_1 для больших интервалов (вариаций) изменения $b_1 \in [1,14; 3,07](k=3)$

| | | | | | | | | | | | | | | | |
|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-----|------|------|------|------|
| b_1 | 2,73 | 2,21 | 1,37 | 2,18 | 1,56 | 1,87 | 1,39 | 2,06 | 1,24 | 1,14 | 1,5 | 3,09 | 2,65 | 3,07 | 3,04 |
| 2,73 | | ,00 | ,00 | ,00 | ,00 | ,00 | ,00 | ,00 | ,00 | ,00 | ,00 | ,00 | ,00 | ,00 | ,00 |
| 2,21 | ,00 | | ,00 | ,00 | ,00 | ,00 | ,00 | ,29 | ,00 | ,00 | ,00 | ,01 | ,00 | ,00 | ,00 |
| 1,37 | ,00 | ,00 | | ,00 | ,00 | ,00 | ,00 | ,00 | ,00 | ,00 | ,00 | ,00 | ,00 | ,00 | ,00 |
| 2,18 | ,00 | ,00 | ,00 | | ,00 | ,00 | ,00 | ,00 | ,00 | ,00 | ,00 | ,00 | ,00 | ,00 | ,00 |
| 1,56 | ,00 | ,00 | ,00 | ,00 | | ,00 | ,00 | ,00 | ,00 | ,00 | ,66 | ,00 | ,00 | ,00 | ,00 |
| 1,87 | ,00 | ,00 | ,00 | ,00 | ,00 | | ,00 | ,00 | ,00 | ,00 | ,00 | ,00 | ,00 | ,00 | ,00 |
| 1,39 | ,00 | ,00 | ,00 | ,00 | ,00 | ,00 | | ,00 | ,00 | ,00 | ,00 | ,00 | ,00 | ,00 | ,00 |
| 2,06 | ,00 | ,29 | ,00 | ,00 | ,00 | ,00 | ,00 | | ,00 | ,00 | ,00 | ,09 | ,00 | ,00 | ,00 |
| 1,24 | ,00 | ,00 | ,00 | ,00 | ,00 | ,00 | ,00 | ,00 | | ,00 | ,00 | ,00 | ,00 | ,00 | ,00 |
| 1,14 | ,00 | ,00 | ,00 | ,00 | ,00 | ,00 | ,00 | ,00 | ,00 | | ,00 | ,00 | ,00 | ,00 | ,00 |
| 1,5 | ,00 | ,00 | ,00 | ,00 | ,66 | ,00 | ,00 | ,00 | ,00 | ,00 | | ,00 | ,00 | ,00 | ,00 |
| 3,09 | ,00 | ,01 | ,00 | ,00 | ,00 | ,00 | ,00 | ,09 | ,00 | ,00 | ,00 | | ,00 | ,00 | ,00 |
| 2,65 | ,00 | ,00 | ,00 | ,00 | ,00 | ,00 | ,00 | ,00 | ,00 | ,00 | ,00 | ,00 | | ,00 | ,00 |
| 3,07 | ,00 | ,00 | ,00 | ,00 | ,00 | ,00 | ,00 | ,00 | ,00 | ,00 | ,00 | ,00 | ,00 | | ,00 |
| 3,04 | ,00 | ,00 | ,00 | ,00 | ,00 | ,00 | ,00 | ,00 | ,00 | ,00 | ,00 | ,00 | ,00 | ,00 | |

При помощи построения матрицы попарного сравнения выборок которые получаются 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. 1 для случая небольшого интервала коэффициентов диссипации b_1 друг от друга [12-17]. При этом, задание b_1 для наименьшей выборки было получено хаотично, т.е. выбирать значение $b_1 \in (1.5, 1.7)$.

Таким образом изменения во втором знаке после запятой для b_1 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 ТМГ одного человека при последовательной регистрации тремора по 5 секунд (подряд) в различных режимах работы НМС. При усилении управляющих воздействий со стороны ЦНС (на мышцы) увеличивается

число пар совпадений выборок. Это же мы имеем и при теппинге, как произвольном движении. Можно предположить, что механизм организации тремора, теппинга и ЭМГ подобен модельному процессу. Если во 2-м знаке после запятой будет варьироваться значение коэффициента диссипации b_1 (это эквивалентно усилению управления в режиме теппинга или усиления мышечного сокращения для ЭМГ со стороны ЦНС), то мы будем иметь большое число значений k , а при увеличении вариаций (в 1-ом знаке и даже в первой цифре вообще при треморе), то k будет резко уменьшаться, а система будет приближаться к хаосу в полном смысле.

Таблица 2

Матрица парного сравнения выборок модельных треморограмм при хаотическом изменении коэффициента диссипации b_1 для малых интервалов (вариаций) изменения $b_1 \in [1.5, 1.7]$ ($k=11$)

| | | | | | | | | | | | | | | | |
|-------|------|-----|------|------|------|------|-------|------|------|------|------|------|------|-----|------|
| b_1 | 1,55 | 1,5 | 1,69 | 1,64 | 1,59 | 1,63 | 1,58 | 1,68 | 1,65 | 1,62 | 1,52 | 1,53 | 1,54 | 1,7 | 1,68 |
| 1,55 | | ,00 | ,00 | ,00 | ,00 | ,00 | ,00 | ,00 | ,00 | ,00 | ,00 | ,00 | ,00 | ,00 | ,00 |
| 1,5 | ,00 | | ,00 | ,00 | ,00 | ,00 | ,00 | ,00 | ,00 | ,00 | ,92 | ,06 | ,00 | ,00 | ,00 |
| 1,69 | ,00 | ,00 | | ,00 | ,00 | ,00 | 0,005 | ,00 | ,00 | ,00 | ,00 | ,00 | ,00 | ,59 | ,00 |
| 1,64 | ,00 | ,00 | ,00 | | ,00 | ,00 | ,00 | ,00 | ,00 | ,00 | ,00 | ,00 | ,00 | ,00 | ,00 |
| 1,59 | ,00 | ,00 | ,00 | ,00 | | ,09 | ,00 | ,00 | ,00 | ,15 | ,00 | ,00 | ,00 | ,00 | ,00 |
| 1,63 | ,00 | ,00 | ,00 | ,00 | ,09 | | ,00 | ,00 | ,00 | ,10 | ,00 | ,00 | ,00 | ,00 | ,00 |
| 1,58 | ,00 | ,00 | ,00 | ,00 | ,00 | ,00 | | ,00 | ,00 | ,00 | ,00 | ,06 | ,69 | ,00 | ,00 |
| 1,68 | ,00 | ,00 | ,00 | ,00 | ,00 | ,00 | ,00 | | ,00 | ,00 | ,00 | ,00 | ,00 | ,06 | ,00 |
| 1,65 | ,00 | ,00 | ,00 | ,00 | ,00 | ,00 | ,00 | ,00 | | ,00 | ,00 | ,00 | ,00 | ,00 | ,00 |
| 1,62 | ,00 | ,00 | ,00 | ,00 | ,15 | ,10 | ,00 | ,00 | ,00 | | ,00 | ,00 | ,00 | ,00 | ,00 |
| 1,52 | ,00 | ,92 | ,00 | 0,00 | ,00 | ,00 | 0,002 | ,00 | ,00 | ,00 | | ,33 | ,03 | ,00 | ,00 |
| 1,53 | ,00 | ,06 | ,00 | 0,00 | ,00 | ,00 | ,06 | ,00 | ,00 | ,00 | ,33 | | ,18 | ,00 | ,00 |
| 1,54 | ,00 | ,00 | ,00 | 0,00 | ,00 | ,00 | ,69 | ,00 | ,00 | ,00 | ,03 | ,18 | | ,00 | ,00 |
| 1,7 | ,00 | ,00 | ,59 | 0,00 | ,00 | ,00 | ,00 | ,06 | ,00 | ,00 | ,00 | ,00 | ,00 | | ,00 |
| 1,68 | ,00 | ,00 | ,00 | 0,00 | ,00 | ,00 | ,00 | ,00 | ,00 | ,00 | ,00 | ,00 | ,00 | ,00 | |

В наших экспериментах регистрировались тремор и теппинг для одного и того же испытуемого (без изменения его функционального состояния) с многократным повторением регистрации тремора (в каждом, одном эксперименте $T=5$ сек или $T=1$ минута). Парное сравнение полученных выборок ТМГ для каждого испытуемого на предмет принадлежности всех этих выборок к общей генеральной совокупности у одного и того же испытуемого демонстрирует различия $f(x)$. Иными словами, две соседние выборки не могут демонстрировать

схожесть их функций $f(x)$, что представлено в табл. 3 и 4.

Стохастическая обработка результатов осуществлялась с использованием программных пакетов – «ExcelMSOffice-2003» и «Statistica 6.1». Выявление различий между конкретными (получаемыми непрерывно, при последовательном измерении) сравниваемыми попарно у одного испытуемого группами выполнялись при помощи критерия Вилкоксона при попарном сравнении 15-ти выборок треморограмм одного человека при последовательном измерении (по $T=5$ сек.), что представлено в табл. 3 в виде матриц парных сравнений выборок (от одного испытуемого, регистрация подряд).

В табл. 4 представлены результаты попарного сравнения выборок ТПГ для одного испытуемого ($k=15$), которые оценивались в виде матрицы по критерию Вилкоксона. Их тоже можно сравнить с тремором, т.е. с табл. 3, где число совпадений ($k=7$) меньше, чем в табл. 4. С позиции модели регуляции мы предполагаем, что хаотичные интервалы выборок (у нас для b_1 в модели (1) начинают сужаться из-за сознательного управления со стороны ЦНС. При болезни Паркинсона такая процедура может происходить из-за драйвов возбуждения со стороны черной субстанции и голубого пятна. Иными словами, интервалом (b_1^1, b_1^2) в модели можно управлять сознательно (ЦНС) или бессознательно за счёт

появления очагов возбуждения в ЦНС, которые создают специальные драйвы).

В итоге для 105 пар сравнения только 15 пар не имеют существенных различий между собой, а остальные 90 пар принадлежат разным генеральным совокупностям и различия между ними существенные. Это уже около 18%, что больше чем для тремора. В этом, и заключено статистическое различие между тремором и теппингом, т.е. между «непроизвольным» и «произвольным» движением. Однако, и там, и там мы имеем хаос и неповторяемость в движениях, а усеченное нормальное распределение даже

чаще встречается у тремора, чем у теппинга. Возникает проблема объяснения этих феноменов в рамках математических моделей.

Таблица 3

Результаты попарного сравнения по критерию Вилкоксона треморограмм одного испытуемого (БДК) при повторных измерениях (поряд) за короткое время ($T=5$ сек) (число «совпадений» пар $k_I=7$)

| | | | | | | | | | | | | | | | |
|----|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| | 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 | 0,00 | 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 | 0,18 | 0,34 | 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 | 0,18 | 0,00 | | 0,22 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 6 | 0,00 | 0,00 | 0,34 | 0,00 | 0,22 | | 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 | 0,03 | 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 | 0,00 | 0,67 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 9 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,03 | 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 | 0,00 | | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 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 |
| 12 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,67 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 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 |
| 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 | | 0,00 |
| 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 | |

Таблица 4

Результаты попарного сравнения по критерию Вилкоксона теппинграмм одного испытуемого (БДК) при повторных измерениях (поряд) за короткий интервал времени (число «совпадений» $k=15$)

| | | | | | | | | | | | | | | | |
|----|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 |
| 1 | | 0,43 | 0,00 | 0,02 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 2 | 0,43 | | 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 | 0,03 | 0,95 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 4 | 0,02 | 0,00 | 0,00 | | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,01 | 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 | 0,39 | 0,06 | 0,00 | 0,01 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 6 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | | 0,21 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,04 | 0,73 | 0,93 | 0,04 | 0,00 |
| 7 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,21 | | 0,00 | 0,00 | 0,01 | 0,00 | 0,17 | 0,04 | 0,83 | 0,00 |
| 8 | 0,00 | 0,00 | 0,03 | 0,00 | 0,39 | 0,00 | 0,00 | | 0,01 | 0,00 | 0,02 | 0,00 | 0,02 | 0,00 | 0,00 |
| 9 | 0,00 | 0,00 | 0,95 | 0,01 | 0,06 | 0,00 | 0,00 | 0,01 | | 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 | 0,01 | 0,00 | 0,00 | | 0,00 | 0,00 | 0,01 | 0,11 | 0,00 |
| 11 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,01 | 0,04 | 0,00 | 0,02 | 0,00 | 0,00 | | 0,06 | 0,12 | 0,00 | 0,00 |
| 12 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,73 | 0,17 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,06 | | 0,60 | 0,21 | 0,00 |
| 13 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,93 | 0,04 | 0,02 | 0,00 | 0,01 | 0,12 | 0,60 | | 0,27 | 0,00 |
| 14 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,04 | 0,83 | 0,00 | 0,00 | 0,11 | 0,00 | 0,21 | 0,27 | | 0,00 |
| 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 | |

Литература

1. Бетелин В.Б., Еськов В.М., Галкин В.А., Гавриленко Т.В. Стохастическая неустойчивость в динамике поведения сложных гомеостатических систем // Доклады Ака-

Увеличение количества «общих» пар ТПГ по сравнению с ТМГ говорит о частичном увеличении синхронизма за счет афферентации и привлечения мыслительной деятельности. Это свидетельствует о начале некоторого сдвига от хаотического режима к стохастическому. При этом увеличение общих пар теппинга возможно из-за изменения структуры колебаний. Как видно из полученных результатов тической обработки получается, что любой интервал регистрации тремора и теппинга будет уникальным и неповторимым, даже в случае, если испытуемый находится в комфортном состоянии.

Выводы. На модели (1) было установлено отсутствие возможности произвольного повторения не только двух произвольных движений, но и двух одинаковых серий таких (якобы произвольных) жений. Компаратментно-кластерная модель позволяет описать оба вида рассмотренных нами движений и позволяет объяснить механизм увеличения числа совпадений пар выборок k при теппинге. Именно такие математические модели и должны приблизить мир теоретических (модельных) динамик к миру реальных биомедицинских систем.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ №15-41-00034 р_урал_а «Разработка новых информационных моделей и вычислительных алгоритмов для идентификации параметров порядка в описании и прогнозах сложных медико-биологических систем»

References

Betelin VB, Es'kov VM, Galkin VA, Gavrilenko TV. Stokhasticheskaya neustoychivost' v dinamike povedeniya slozhnykh gomeostaticeskikh sistem [Stochastic instability in the dynamics of the behavior of

- демии Наук. Математическая физика. 2017. Т. 472, № 6. С. 1–3.
2. Буданов В.Г., Хадарцев А.А., Филатова О.Е., Попов Ю.М. Эволюция понятия гомеостаза в рамках трёх парадигм: от организма человека к социумам и биосфере земли // Сложность. Разум. Постнеклассика. 2015. № 2. С. 55–64.
 3. Буданов В.Г., Филатов М.А., Вохмина Ю.В., Журавлева О.А. Философия неустойчивости и синергетика // Сложность. Разум. Постнеклассика. 2016. № 2. С. 66–74.
 4. Вохмина Ю.В., Полухин Л.М., Бикмухаметова Л.М., Тотчасова М.В. Стационарные режимы поведения сложных биосистем в рамках теории хаоса-самоорганизации // Вестник новых медицинских технологий. 2014. Т. 21, № 1. С. 141–144.
 5. Вохмина Ю.В., Бuryкин Ю.Г., Филатова Д.Ю., Шумилов С.П. Стохастические и хаотические оценки непроизвольных движений человека // Вестник новых медицинских технологий. 2014. Т. 21, № 2. С. 10–15.
 6. Добрынина И.Ю., Даянова Д.Д., Козлов А.С., Умаров Б.К. Моделирование эволюции паталогических процессов при болезни паркинсона // Вестник новых медицинских технологий. 2015. Т. 22, № 2. С. 26–32.
 7. Степин В.С. Типы научной рациональности и синергетическая парадигма // Сложность. Разум. Постнеклассика. 2013. № 4. С. 45–59.
 8. Еськов В.В., Гараева Г.Р., Ватамова С.В., Горленко Н.П., Кошечев В.П. Возрастная эволюция организма человека как движение квазиаттракторов // Вестник новых медицинских технологий. 2014. Т. 21, № 4. С. 11–20.
 9. Еськов В.В., Гараева Г.Р., Синенко Д.В., Филатова Д.Ю., Третьяков С.А. Кинематические характеристики движения квазиаттракторов в оценке лечебных эффектов кинезотерапии.
- the complex homeostatic systems]. Doklady Akademii Nauk. Matematicheskaya fizika. 2017;472(6):1-3. Russian.
- Budanov VG, Hadarcev AA, Filatova OE, Popov JuM. Jevoljucija ponjatija gomeostaza v ramkah trjoh paradigm: ot organizma cheloveka k sociumam i biosfere zemli [From human organism to society and earth's biosphere: evolution of term of homeostasis within the framework of three paradigms]. Slozhnost'. Razum. Postneklassika. 2015;2:55-64. Russian.
- Budanov VG, Filatov MA, Vokhmina YuV, Zhuravleva OA. Filosofiya nestabil'nosti i sinergetika [Philosophy of instability and synergetics]. Slozhnost'. Razum. Postneklassika. 2016;2:66-74. Russian.
- Vokhmina YuV, Polukhin LM, Bikmukhametova LM, Totchasova MV. Statsionarnye rezhimy povedeniya slozhnykh biosistem v ramkakh teorii khaosa-samoorganizatsii. Vestnik novykh meditsinskih tekhnologiy. 2014;21(1):141-4. Russian.
- Vokhmina YuV, Burykin YuG, Filatova DYu, Shumilov SP. Stokhasticheskie i khaoticheskie otsenki neproizvol'nykh dvizheniy cheloveka [Stochastic and chaotic assessment of human involuntary movements]. Vestnik novykh meditsinskih tekhnologiy. 2014;21(2):10-5. Russian.
- Dobryнина ИЮ, Даянова ДД, Козлов АС, Умаров БК. Моделирование эволюции паталогических процессов при болезни паркинсона. Вестник новых медицинских технологий. 2015;22(2):26-32. Russian.
- Stepin VS. Tipy nauchnoy ratsional'nosti i sinergeticheskaya paradigma. Slozhnost'. Razum. Postneklassika. 2013;4:45-59.
- Es'kov VV, Garaeva GR, Vatamova SV, Gorlenko NP, Koshcheev VP. Vozrastnaya evolyutsiya organizma cheloveka kak dvizhenie kvaziattraktorov [The evolution of the human organism dependent on age as the motion of the quasis-attractor]. Vestnik novykh meditsinskih tekhnologiy. 2014;21(4):11-20. Russian.
- Es'kov VV, Garaeva GR, Sinenko DV, Filatova DYu, Tret'yakov SA. Kinematicheskie kharakteristiki dvizheniya kvaziattraktorov v otsenke lechebnykh effektiv kinezoterapii. Vestnik novykh meditsinskih

- незотерапии // Вестник новых медицинских технологий. 2015. Т. 22, № 1. С. 128–136.
10. Еськов В.М., Хадарцев А.А., Еськов В.В., Гавриленко Т.В., Филатов М.А. Complexity – особый тип биомедицинских и социальных систем // Вестник новых медицинских технологий. 2013. № 1. С. 17–22. Es'kov VM, Khadartsev AA, Es'kov VV, Gavrilenko TV, Filatov MA. Complexity – osobyy tip biomeditsinskikh i sotsial'nykh sistem [Somplexity as special type of biomedical and social systems]. Vestnik novykh meditsinskikh tekhnologiy. 2013;1:17-22. Russian.
 11. Еськов В.М., Королев В.В., Хадарцев А.А., Фудин Н.А. Моделирование динамики движения вектора состояния организма человека в условиях импульсной гипергравитационной физической нагрузки // Вестник новых медицинских технологий. 2013. Т. 20, № 4. С. 16–24. Es'kov VM, Korolev VV, Khadartsev AA, Fudin NA. Modelirovanie dinamiki dvizheniya vektora sostoyaniya organizma cheloveka v usloviyakh impul'snoy gipergravitatsionnoy fizicheskoy nagruzki [Simulation of the dynamics of the motion of the state vector of the human organism under the conditions of the pulse hyper-gravitational physical load]. Vestnik novykh meditsinskikh tekhnologiy. 2013;20(4):16-24. Russian.
 12. Еськов В.М., Хадарцев А.А., Козлова В.В., Филатова О.Е. Использование статистических методов и методов многомерных фазовых пространств при оценке хаотической динамики параметров нервно-мышечной системы человека в условиях акустических воздействий // Вестник новых медицинских технологий. 2014. Т. 21, № 2. С. 6–10. Es'kov VM, Khadartsev AA, Kozlova VV, Filatova OE. Ispol'zovanie statisticheskikh metodov i metodov mnogomernykh fazovykh prostranstv pri otsenke khaoticheskoy dinamiki parametrov nervnomyshechnoy sistemy cheloveka v usloviyakh akusticheskikh vozdeystviy. Vestnik novykh meditsinskikh tekhnologiy. 2014;21(2):6-10. Russian.
 13. Еськов В.М., Хадарцев А.А., Филатова О.Е., Хадарцева К.А., Литовченко О.Г. Проблема оценки эффективности кинематической характеристики вектора состояния организма // Вестник новых медицинских технологий. 2015. Т. 22, №1. С. 143–152. Es'kov VM, Khadartsev AA, Filatova OE, Khadartseva KA, Litovchenko OG. Problema otsenki effektivnosti kinematoicheskoy kharakteristiki vektora sostoyaniya organizma [Estimation problem of the effectiveness of the kinematic characteristic of the state vector of the organism]. Vestnik novykh meditsinskikh tekhnologiy. 2015;22(1):143-52. Russian.
 14. Еськов В.М., Полухин В.В., Дерпак В.Ю., Пашнин А.С. Математическое моделирование произвольных движений в норме и при патологии // Сложность. Разум. Постнеклассика. 2015. № 2. С. 75–86. Es'kov VM, Polukhin VV, Derpak VYu, Pashnin AS. Matematicheskoe modelirovanie neproizvol'nykh dvizheniy v norme i pri patologii. Slozhnost'. Razum. Postneklassika. 2015;2:75-86. Russian.
 15. Еськов В.М., Зинченко Ю.П., Филатов М.А., Еськов В.В. Эффект Еськова – Зинченко опровергает представления I.R. Prigogine, JA. Wheeler и M. Gell-Mann о детерминированном хаосе биосистем – complexity // Вестник новых медицинских технологий. 2016. Т. 23, №2. С. 34–43. Es'kov VM, Zinchenko YuP, Filatov MA, Es'kov VV. Effekt Es'kova – Zinchenko oprovergaet predstavleniya I.R. Prigogine, JA. Wheeler i M. Gell-Mann o determinirovannom khaose biosistem – complexity [The effect Of eskova – Zinchenko refutes the ideas I.R. Prigogine, JA. Wheeler and M. Gell-Mann on determined chaos of the biosystems – complexity]. Vestnik novykh meditsinskikh tekhnologiy. 2016;23(2):34-43. Russian.
 16. Еськов В.М., Еськов В.В., Гавриленко Т.В., Es'kov VM, Es'kov VV, Gavpilenko TV, Voxmi-

- Вохмина Ю.В. Формализация эффекта «Повторение без повторения» Н.А. Бернштейна // Биофизика. 2017. Т. 62, № 1. С. 168–176.
17. Филатова Д.Ю., Вохмина Ю.В., Гараева Г.Р., Синенко Д.В., Третьяков С.А. Неопределенность 1-го рода в восстановительной медицине // Вестник новых медицинских технологий. 2015. Т. 22, № 1. С. 136–143.
18. Филатова Д.Ю., Буров И.В., Поскина Т.Ю., Сидоренко Д.А. Термодинамическая оценка влияния акустических воздействий на психофизиологические показатели // Вестник новых медицинских технологий. 2015. Т. 22, № 3. С. 20–25.
19. Филатова О.Е., Хадартцева К.А., Филатова Д.Ю., Живаева Н.В. Биофизика сложных систем – complexity // Вестник новых медицинских технологий. 2016. Т. 23, №2. С. 9–17.
- na YuV. Fopmalizatsiya effekta «Povtopenie bez povtopeniya» N.A. Bepnshteyna [Fopmalizatsiya of effect “Povtopenie without povtopeniya” OF N.A. Bepnshteyna]. Biofizika. 2017;62(1):168-76. Russian.
- Filatova DYU, Vokhmina YuV, Garaeva GR, Sinenko DV, Tret'yakov SA. Neopredelennost' 1-go roda v vosstanovitel'noy meditsine [Uncertainty of the 1-st kind in regenerative medicine]. Vestnik novykh meditsinskikh tekhnologiy. 2015;22(1):136-43. Russian.
- Filatova DYU, Burov IV, Poskina TYu, Sidorenko DA. Termodinamicheskiye otsenki vliyaniya akusticheskikh vozdeystviy na psikhofiziologicheskiye pokazateli [Thermodynamic assessment of acoustic effects on psycho-physiological parameters]. Vestnik novykh meditsinskikh tekhnologiy. 2015;22(3):20-5. Russian.
- Filatova OE, Khadartseva KA, Filatova DYU, Zhivaeva NV. Biofizika slozhnykh sistem – complexity [Biophysics of the complex systems – complexity]. Vestnik novykh meditsinskikh tekhnologiy. 2016;23(2):9-17. Russian.