DOI: 12737/ 14978

ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТЬ КОМПАРТМЕНТНО-КЛАСТЕРНЫХ МОДЕЛЕЙ ТРЕМОРОГРАММ К ВАРИАЦИЯМ ПАРАМЕТРОВ

Д.К. БЕРЕСТИН, А.Н. БУЛДИН, И.В. КЛЮС, Е.С. ШЕРСТЮК

БУ ВО «Сургутский государственный университет»
пр. Ленина д.1.,г. Сургут, Россия, 628400

Аннотация. Характерными особенностями таких 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. Такая неопределенность требует введения исходной неопределенности и в структуру, и в функции изучаемых биосистем. Сейчас это обеспечивается именно компартментно-кластерным подходом. Для решения задачи моделирования непроизвольных движений человека (тремора) была использована трёхкомпартментная двухкластерная математическая модель. Имитационное моделирование двухкластерной трёхкомпартментной системы управления нервно-мышечной системой в рамках теории графов осуществлялось в среде моделирования *Simulink MatLab*, 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.

SENSITIVITY KOMPARTMENTNO-CLUSTER MODEL TREMOROGRAMM BY PARAMETER VARIATIONS

D.K. BERESTIN, A.N. BULDIN, I.V. KLYUS, E.S. SHERSTYUK

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

Abstract. The characteristic features of biological systems is their kompartmentno - 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. This ambiguity requires the introduction of the initial uncertainty in the structure and function of biological systems studied. Now it is providedkompartmentno - cluster approach. To solve the problem of modeling human involuntary movements (tremor) was used trëhkompartmentnaya two-cluster mathematical model. Simulation trëhkompartmentnoy 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, compartmentae – cluster approach, tremor, dissipation coefficient.

Введение. Построение адекватной, изоморфной модели реального объекта всегда сопровождается формализацией и потерей сопутствующей информации. Вместе с тем модель не только должна идентифицировать связи, закономерности признаков, присущих объекту, но и компактно хранить максимум информации о динамике объекта, а также легко воспроизводить всю эту информацию. В этом смысле любая статья в физиологическом журнале, магнитные регистрация сигнала или фотопленки с записями электронейрограмм итерационной стимуляции нерва *repetitive nervestimulation* (*RNS*) – это уже некоторые модели реальных *нейронных сетей* (НС). Однако такой способ хранения и воспроизведения информации далек от совершенства. Использование языка схем, карт, чертежей во много раз менее эффективно в сравнении с моделями в виде уравнений, в частности, дифференциальных уравнений. Действительно, решив последние по определенным правилам, мы получаем описание динамики объекта и попутно получаем информацию о функциональных связях исследуемых динамических переменных.

Таким образом, любая математическая модель – это максимально возможная плотность хранения информации, максимальный уровень абстрагирования и максимальная скорость воспроизводства информации. Все это связано с тем, что, незначительно изменяя параметры математической модели (представляемой, например, в виде дифференциальных уравнений), можно существенно менять динамику моделируемых процессов, охватывать большое разнообразие таких динамик.

При различных исследованиях довольно несложных предметных областей, или технических систем получить описание данной области – очень сложная задача, хотя процедура получения описания общеизвестна и хорошо отработана. При этом результаты, которые можно получить, хорошо согласуются с наблюдаемыми значениями вектора состояния системы $x(t)$ для реальных физических или технических объектов. Изучение же сложных биологических систем, процессов, объектов сопряжено с некоторыми дополнительными усилиями и обычно требует нестандартных решений, которые не ограничиваются традиционными *детерминистскими или стохастическими подходами* (ДСП). Исследование *complexity* выходит за рамки ДСП-наук. Характерными особенностями таких биосистем являются их компартментно-кластерная структура и состояние постоянного мерцания (*glimmering property*), когда непрерывно *вектор состояния системы* (ВСС) $x=x(t)$ демонстрирует движение в виде $dx/dt\neq 0$. Моделированию этих систем и посвящена настоящая работа.

1. Описание сложных систем (*complexity*) в рамках компартментно-кластерного подхода. Одно из основных направлений в науке и технике – это поиск формальных моделей, закономерностей и алгоритмов, описывающих те или иные сложные объекты, системы, процессы, явления. Как следствие, большинство современных научных исследований посвящено вопросам формализации в описании динамики особых *систем третьего типа – complexity* или сложных биосистем. Результаты таких исследований имеют практическую значимость и востребованность для любого научного направления и позволяют осуществить переход на новый уровень понимания и оперирования сложных систем в окружающем мире. Перспективным направлением в области описания сложных систем является компартментно-кластерный подход, при котором мы можем не детализировать число и характер связей внутри пула (компармента) [7-13,15-19].

С развитием вычислительной техники и созданием эффективного математического аналитического и *программного обеспечения* (ПО) для компьютерного эксперимента появилась возможность исследовать очень сложные объекты, процессы, явления. Использование для практических целей таких сложных формальных моделей и алгоритмов их реализации не исключает всё-таки признания эффективности и достаточно простых методов обработки данных медико-биологических исследований.

При этом довольно часто различные режимы *complexity* представляются наборами моделей, что не характерно для самих биосистем, которые не претерпевают существенных внутренних изменений [1-4,10-15]. В этом случае мы ставим задачу описания эволюции биосистемы в рамках одной математической модели [3,7,11-19].

Сложные биологические системы в первую очередь представлены регуляторными системами организма человека, который является, фактически, комплексом сложных систем (сложных *биологических динамических системам* (БДС)), как с точки зрения описания динамики поведения их вектора состояния $x(t)=(x_1,x_2,\ldots,x_m)^T$, так и в смысле описания особых состояний *функциональных систем организма* (ФСО), составляющих основу организма. Наибольшую сложность представляет исследование и оценка состояния организма человека по таким измерениям как нейрограмма, электроэнцефалограмма, электрокардиограмма, теппинграмма, треморограмма, то есть измерения динамических параметров вектора состояния человека на некотором промежутке времени Δt. В связи с особой сложностью БДС их моделей, адекватно описывающих подобные процессы в широких динамических диапазонах, крайне мало, а в описании хаотической динамики нейросетей мозга и биомеханического движения они практически отсутствуют [3-6, 7-10].

Одной из причин, по которой крайне сложно создавать такие модели поведения вектора состояния организма человека является невоспроизводимость точных результатов экспериментов (невозможно получить идентичные динамики вектора состояния организма человека даже при одинаковых условиях эксперимента). Каждый раз регистрируемые показатели (сигналы) уникальны и, более того, уникальностью обладает каждый временной участок регистрируемого динамического сигнала. Такая неопределенность требует введения исходной неопределенности и в структуру, и в функции изучаемых биосистем. Сейчас это обеспечивается именно *компартментно-кластерным подходом* (ККП) и моделями на основе этого подхода из-за исходной неопределённости числа и связей элементов внутри компармента (на этой основе H. Haken создавал синергетику). Реализация ККП может обеспечить даже моделирование эволюционных процессов, связанных с развитием патологий или возрастными изменениями организма, что составило главную задачу настоящего исследования. В этой связи одной из наиболее сложных задач в изучении *complexity* является задача моделирования произвольных и непроизвольных движений человека [7-14].

На сегодняшний день в традиционном ДСП отсутствуют эффективные модели, которые бы описывали хаотическую динамику поведения биомеханической системы (конкретно, постуральный тремор) в различных режимах якобы произвольного управления. Также нет адекватных моделей других динамических систем с хаотической динамикой поведения – уникальных *систем третьего типа* (СТТ). Другими словами, детерминистско-стохастические модели не могут представлять разнообразие регуляторных влияний мозга (нейросетей мозга) на динамику поведения, например, постурального тремора.

Отсутствие таких возможностей объясняется тем, что при этом описании и моделировании необходимо моделировать сам хаос, с учетом того, что эти траектории могут сходиться, расходиться и даже пересекаться в ФПС в пределах *квазиаттракторов*, а не в рамках экспонент Ляпунова с их расходящимися фазовыми траекториями, и не на основе анализа автокорреляционных функций [15-19]. Хаос СТТ отличен от хаоса в физике, технике, химии! Его нельзя моделировать уравнениями, он не описывается свертками и преобразованиями. Это другой хаос, других систем (не ДСП), о которых говорил M. Gell-Mann в известном сообщении по проблеме неопределённости для СТТ (известное выступление «*Fundamental Sources of Unpredictability*», 1997) [7-11].

Исходя из вышесказанного, можно сделать вывод, что фундаментальная задача биофизики и биомеханики на современном этапе развития теории *complexity* сводится к изучению хаотической динамики поведения сложных биомеханических систем с

максимальной неопределенностью. Эта задача актуальна не только для биофизики и биомеханики, но и для всего естествознания, так как речь идет о СТТ, отличных от ДСП-систем. Если проводить такие исследования, то можно получить результаты, которые создадут положительную динамику для дальнейшего продвижения методов *теории хаоса-самоорганизации* (ТХС) в биологических и медицинских науках. Это очень важно для естествознания в целом, и для биофизики и биомеханики сложных систем, в частности. В настоящем исследовании производится попытка соединения детерминистских моделей (компартментно-кластерных) и хаотичных моделей (в виде *квазиаттракторов*) для описания сложной динамики произвольных (или непроизвольных?) движений человека. При этом ставится задача выявления чувствительности моделей к вариациям параметров (например, к коэффициентам диссипации и внешних драйвов) [10-19].

На сегодняшний день остается мало исследованной и весьма дискуссионной проблема моделирования произвольных и непроизвольных движений человека и животных. Работы ряда авторов в рамках компартментного подхода и стохастического описания двигательных функций человека позволяют объяснить флуктуационные характеристики движений под действием статических и динамических нагрузок. Однако квазипериодический режим, наблюдаемый при регистрации непроизвольных движений, объяснить в рамках таких подходов затруднительно. В этой связи возникает потребность в моделировании произвольных и непроизвольных движений, выполняемых человеком в различных условиях, а также организацию двигательных функций в аспекте филогенеза.

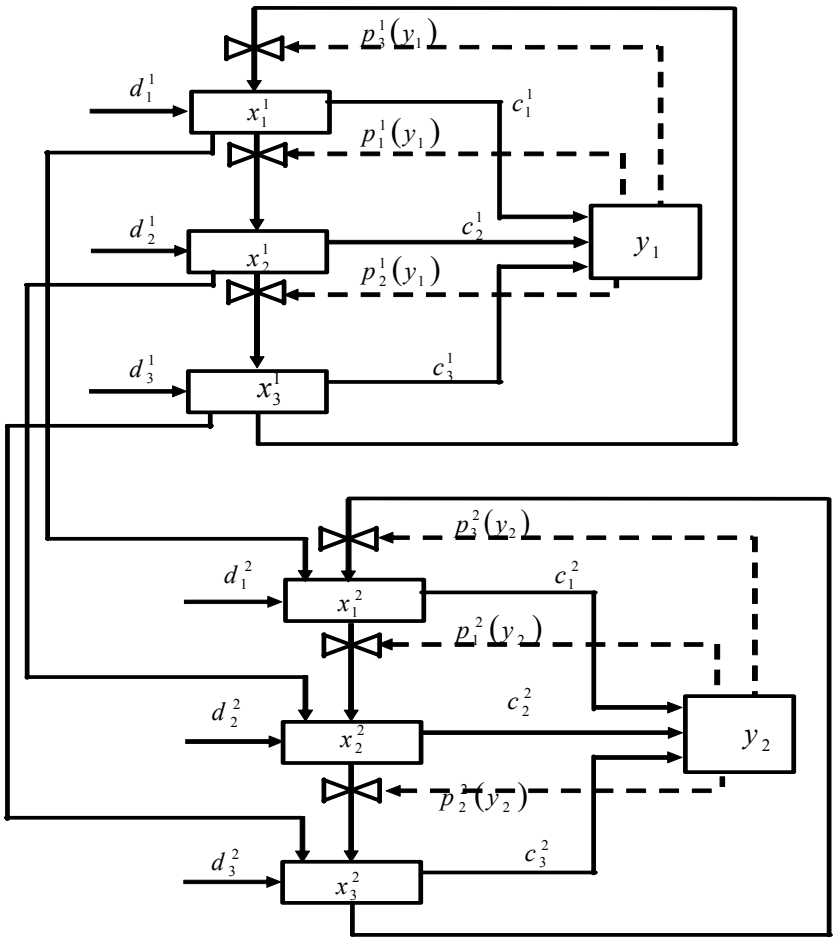

Рис. 1. Графическое представление двухкластерной трехкомпартментной модели, описывающей иерархическую организацию и принципы управления непроизвольными микроперемещениями конечности человека

Для решения задачи моделирования непроизвольных движений человека (тремора) была использована трёхкомпартментная двухкластерная математическая модель (рис.1.), разработанная Еськовым В.М. Имитационное моделирование двухкластерной трёхкомпартментной системы управления *нервно-мышечной системой* (НМС), которая представлена в виде графа, осуществлялось в среде моделирования SimulinkMatLab, для исследования сигнала применялись методы ТХС.

Система уравнений, описывающая такую двухкластерную модель, имеет вид:

$$\begin{aligned} \dot{x}_1 &= A_{11}(y_1)x_1 - bx_1 + U_1 d_1, \\ \dot{x}_2 &= A_{21}x_1 + A_{22}(y_2)x_2 - bx_2 + U_2 d_2, \\ y_1 &= c_{11}^T x_1, \\ y_2 &= c_{21}^T x_1 + c_{22}^T x_2. \end{aligned} \qquad (1)$$

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, ud – функция внешних управляющих драйвов, статические b_x представляют процесс диссипации (у нас – возбуждения) в исследуемых структурах.

На исследуемой модели вида (рис. 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 *квазиаттрактора* приблизительно сохраняются). На модели это выглядит в виде нестационарных динамик треморограмм, если мы не будем изменять параметры систем уравнений.

Таблица 1

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

Таблица 2

Матрица попарного сравнения значений модельных треморограмм при коэффициентах диссипации b_1^1=1,111 и b_1^2=1,121 для выявления чувствительности модели к вариациям (число совпадений *k*=144)

b_1^1=1,111 / b_1^2=1,121	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1	0,02	0,03	0,01	0,07	0,04	0,00	0,07	0,07	0,16	0,15	0,02	0,20	0,20	0,04	0,22
2	0,50	0,14	0,36	0,24	0,41	0,41	0,32	0,33	0,54	0,70	0,32	0,97	0,76	0,75	0,57
3	0,02	0,01	0,01	0,04	0,02	0,01	0,01	0,02	0,11	0,08	0,01	0,06	0,19	0,05	0,09
4	0,17	0,08	0,04	0,09	0,02	0,08	0,08	0,06	0,23	0,17	0,04	0,31	0,24	0,13	0,26
5	0,10	0,07	0,05	0,05	0,07	0,08	0,04	0,04	0,30	0,17	0,01	0,44	0,31	0,05	0,09
6	0,02	0,04	0,04	0,11	0,08	0,01	0,02	0,03	0,16	0,02	0,03	0,26	0,18	0,07	0,17
7	0,07	0,06	0,08	0,03	0,09	0,07	0,01	0,14	0,26	0,12	0,04	0,43	0,43	0,08	0,16
8	0,02	0,03	0,03	0,08	0,04	0,03	0,01	0,06	0,08	0,06	0,01	0,07	0,09	0,04	0,19
9	0,02	0,07	0,06	0,01	0,01	0,02	0,03	0,08	0,17	0,05	0,01	0,07	0,07	0,02	0,08
10	0,12	0,28	0,24	0,11	0,37	0,09	0,04	0,28	0,23	0,14	0,03	0,43	0,42	0,05	0,27
11	0,20	0,03	0,12	0,05	0,08	0,15	0,06	0,14	0,27	0,37	0,01	0,45	0,65	0,18	0,14
12	0,03	0,10	0,09	0,04	0,03	0,02	0,01	0,03	0,20	0,08	0,03	0,25	0,14	0,05	0,17
13	0,30	0,12	0,04	0,03	0,09	0,07	0,02	0,07	0,13	0,10	0,01	0,53	0,11	0,06	0,06
14	0,06	0,06	0,21	0,12	0,15	0,16	0,01	0,09	0,19	0,09	0,03	0,47	0,14	0,04	0,33
15	0,09	0,09	0,03	0,06	0,05	0,04	0,01	0,12	0,04	0,03	0,03	0,25	0,09	0,06	0,08

Таблица 3

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

2. Анализ чувствительности моделей к вариациям *ud* и b_x. При помощи построения матрицы попарного сравнения выборок которые получаются на модели (1) в виде значений функций выхода *y=y(t)* при сравнении 15 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.

Из табл. 1 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 %).

В табл. 2 представлена матрица парного сравнения выборок, но уже при увеличенном интервале коэффициента диссипации b_1, т.е. мы получаем модельную зависимость выхода *y* от интервалов вариации параметров b_1.

Из табл. 2 видно, что из 225 пар сравнения 144 пары выборок принадлежат одной генеральной совокупности, т.е. частота совпадений равна 64 %. В этом случае получается, что изменения в системе уже существенные и чуть больше 1/3 (36 %).

В табл. 3 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.

Как следует из наших 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. 2., диссипации b_1 в этом случае приводит в итоге к полному несовпадению.

Таким образом, получается, что изменяя интенсивность драйва, мы получили характеристики с хаотической динамикой поведения ВСС, что соответствует нормальному функционированию НМС человека. Невозможно предсказать значение биоэлектрической активности эффекторных органов в последующий момент времени.

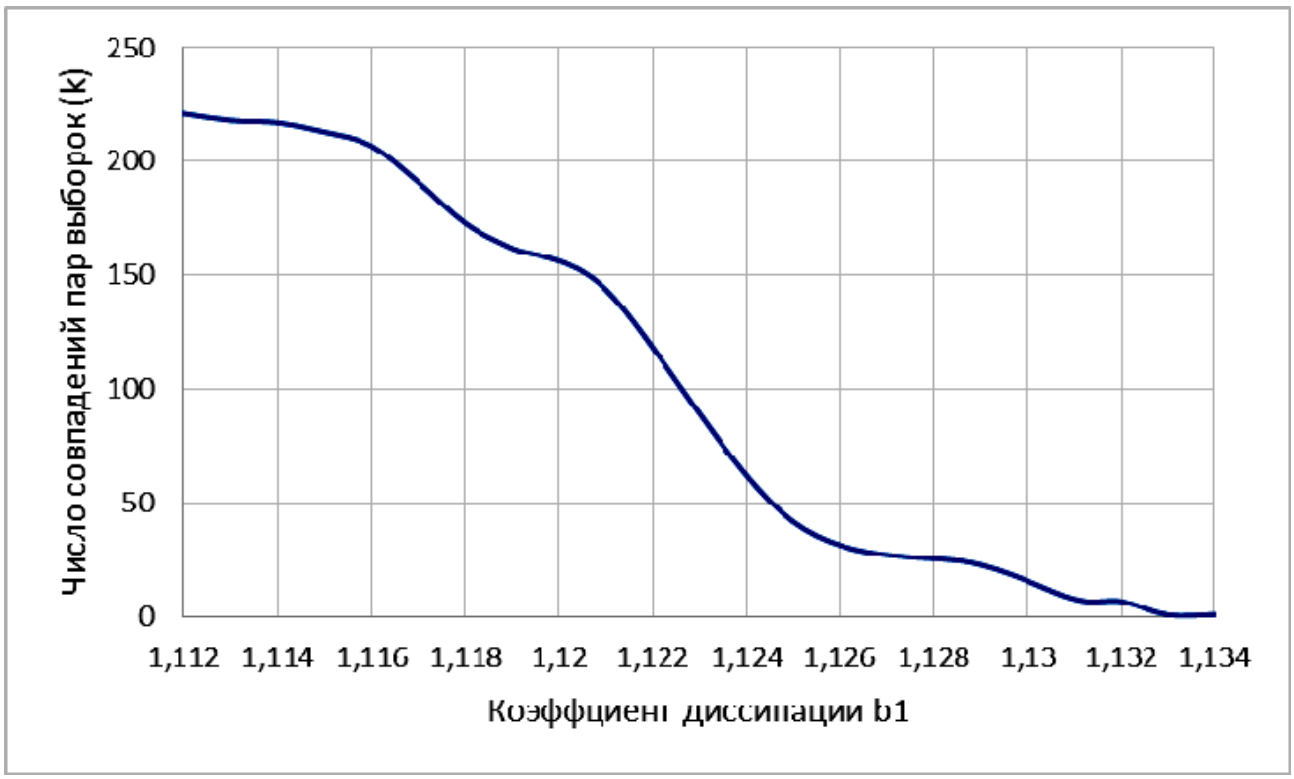

Рис. 2. Зависимость числа совпадений пар выборок (*k*) от вариаций коэффициентов диссипации b_1согласно расчетам матриц парных сравнений и изменение коэффициента

Таким образом, компартментно-кластерная модель позволяет описывать разнообразные динамические режимы функционирования НМС при постуральном треморе от хаотических режимов до квазипериодических и далее – стационарных режимов.

Литература

1. Адайкин В.А., Еськов В.М., Добрынина И.Ю., Дроздович Е.А., Полухин В.В. Оценка хаотичной динамики параметров вектора состояния организма человека с нарушениями углеводного обмена // Вестник новых медицинских технологий.– 2007.– Т. 14, № 3.– С. 17–19.

2. Брагинский М.Я., Балтикова А.А., Козлова В.В., Майстренко Е.В. Исследование функциональных систем организма студентов югры в условиях мышечной нагрузки методом фазового пространства // Современные наукоемкие технологии.– 2010.– № 12.– С. 23–24.

3. Вохмина Ю.В., Еськов В.М., Гавриленко Т.В., Филатова О.Е. Измерение параметров порядка на основе нейросетевых технологий // Измерительная техника.– 2015.– № 4.– С. 65–68.

4. Хаотическая динамика кардиоинтервалов трёх возрастных групп представителей коренного населения Югры / Гараева Г.Р., Еськов В.М., Еськов В.В. [и др.] // Экология человека.– 2015.– № 09.– С. 50–55.

5. Добрынина И.Ю., Еськов В.М., Живогляд Р.Н., Зуевская Т.В. Гирудотерапевтическое управление гомеостазом человека при гинекологических патологиях в условиях Севера РФ // Вестник новых медицинских технологий.– 2005.– Т. 12, № 2.– С. 25–27.

6. Добрынина И.Ю., Еськов В.М., Живогляд Р.Н., Чантурия С.М., Шипилова Т.Н. Системный кластерный анализ показателей функций организма женщин с опг- гестозом в условиях Севера РФ // Вестник новых медицинских технологий.– 2006.– Т. 13, № 4.– С. 60–62.

7. Еськов В.В., Филатова О.Е., Гавриленко Т.В., Химикова О.И. Прогнозирование долгожительства у российской народности ханты по хаотической динамике параметров сердечно-сосудистой системы // Экология человека.– 2014.– № 11.– С. 3–8.

8. Еськов В.М., Ананченко Е.А, Козлова В.В., Климов О.В., Майстренко Е.В. Параметры квазиаттракторов поведения вектора

состояния организма пловцов // Вестник новых медицинских технологий.– 2009.– Т. 16, № 4.– С. 24–26.

9. Еськов В.М., Добрынина И.Ю., Дрожжин Е.В., Живогляд Р.Н. Разработка и внедрение новых методов в теории хаоса и самоорганизации в медицину и здравоохранения // Северный регион: наука, образование, культура.– 2013.– Т. 27, № 1.– С. 150.

10. Еськов В.М., Гавриленко Т.В., Вохмина Ю.В. и др. Измерение хаотической динамики двух видов теппинга как произвольных движений // Метрология.– 2014.– № 6.– С. 28–35.

11. Еськов В.М., Еськов В.В., Гавриленко Т.В., Зимин М.И. Неопределенность в квантовой механике и биофизике сложных систем // Вестник Московского университета. Серия 3: Физика. Астрономия.– 2014.– № 5.– С. 41–46.

12. Еськов В.М., Еськов В.В., Гавриленко Т.В., Вохмина Ю.В. Кинематика биосистем как эволюция: стационарные режимы и скорость движения сложных систем – complexity // Вестник Московского университета. Серия 3: Физика. Астрономия.– 2015.– № 2.– С. 62–73.

13. Еськов В.М., Филатова О.Е., Проворова О.В., Химикова О.И. Нейроэмуляторы при идентификации параметров порядка в экологии человека // Экология человека.– 2015.– №5.– С. 57–64.

14. Филатов М.А., Филатова Д.Ю., Поскина Т.Ю., Стрельцова Т.В. Методы теории хаоса-самоорганизации в психофизиологии // Сложность. Разум. Постнеклассика.– 2014.– № 1.– С. 13–28.

15. Eskov V.M., Filatova O.E. Respiratory rhythm generation in rats: the importance of inhibition // Neurophysiology.– 1993.– Т. 25, № 6.– С. 420.

16. Eskov V.M., Eskov V.V., Filatova O.E. Characteristic features of measurements and modeling for biosystems in phase spaces of states // Measurement Techniques.– 2010.– Т. 53, № 12.– С. 1404.

17. Eskov V.M. Evolution of the emergent properties of three types of societies: the basic law of human development // E:CO Emergence: Complexity and Organization.– 2014.– Т. 16, № 2.– С. 107–115.

18. Eskov V.M., Gavrilenko T.V., Vokhmina Y.V. Measurement of chaotic dynamics for two types of tapping as voluntary movements // Measurement Techniques. 2014.– Т. 57, № 6.– С. 720–724.

19. Eskov V.M., Khadartsev A.A., Eskov V.V., Filatova O.E. Quantitative registration of the degree of the voluntariness and involuntariness (of the chaos) in biomedical systems // Journal of Analytical Sciences, Methods and Instrumentation.– 2013.– № 3.– С. 67–74.

References

1. Adaykin VA, Es'kov VM, Dobrynina IYu, Drozdovich EA, Polukhin VV. Otsenka khaotichnoy dinamiki parametrov vektora sostoyaniya organizma cheloveka s narusheniyami uglevodnogo obmena. Vestnik novykh meditsinskikh tekhnologiy. 2007;14(3):17-9. Russian.

2. Braginskiy MYa, Baltikova AA, Kozlova VV, Maystrenko EV. Issledovanie funktsional'nykh sistem organizma studentov yugry v usloviyakh myshechnoy nagruzki metodom fazovogo prostranstva. Sovremennye naukoemkie tekhnologii. 2010;12:23-4. Russian.

3. Vokhmina YuV, Es'kov VM, Gavrilenko TV, Filatova OE. Izmerenie parametrov poryadka na osnove neyrosetevykh tekhnologiy. Izmeritel'naya tekhnika. 2015;4:65-8. Russian.

4. Garaeva GR, Es'kov VM, Es'kov VV, et al. Khaoticheskaya dinamika kardiointervalov trekh vozrastnykh grupp predstaviteley korennogo naseleniya Yugry. Ekologiya cheloveka. 2015;09:50-5. Russian.

5. Dobrynina IYu, Es'kov VM, Zhivoglyad RN, Zuevskaya TV. Girudoterapevticheskoe upravlenie gomeostazom cheloveka pri ginekologicheskikh patologiyakh v usloviyakh Severa RF. Vestnik novykh meditsinskikh tekhnologiy. 2005;12(2):25-7. Russian.

6. Dobrynina IYu, Es'kov VM, Zhivoglyad RN, Chanturiya SM, Shipilova TN. Sistemnyy klasternyy analiz pokazateley funktsiy organizma zhenshchin s opg- gestozom v usloviyakh Severa RF. Vestnik novykh meditsinskikh tekhnologiy. 2006;13(4):60-2. Russian.

7. Es'kov VV, Filatova OE, Gavrilenko TV, Khimikova OI. Prognozirovanie dolgozhitel'stva u rossiyskoy narodnosti khanty po khaoticheskoy dinamike parametrov serdechno-sosudistoy sistemy. Ekologiya cheloveka. 2014;11:3-8. Russian.

8. Es'kov VM, Ananchenko EA, Kozlova VV, Klimov OV, Maystrenko EV. Parametry kvaziattraktorov povedeniya vektora sostoyaniya

organizma plovtsov. Vestnik novykh meditsinskikh tekhnologiy. 2009;16(4):24-6. Russian.

9. Es'kov VM, Dobrynina IYu, Drozhzhin EV, Zhivoglyad RN. Razrabotka i vnedrenie novykh metodov v teorii khaosa i samoorganizatsii v meditsinu i zdravookhraneniya. Severnyy region: nauka, obrazovanie, kul'tura. 2013;27(1):150. Russian.

10. Es'kov VM, Gavrilenko TV, Vokhmina YuV, et al. Izmerenie khaoticheskoy dinamiki dvukh vidov teppinga kak proizvol'nykh dvizheniy. Metrologiya. 2014;6:28-35. Russian.

11. Es'kov VM, Es'kov VV, Gavrilenko TV, Zimin MI. Neopredelennost' v kvantovoy mekhanike i biofizike slozhnykh sistem. Vestnik Moskovskogo universiteta. Seriya 3: Fizika. Astronomiya. 2014;5:41-6. Russian.

12. Es'kov VM, Es'kov VV, Gavrilenko TV, Vokhmina YuV. Kinematika biosistem kak evolyutsiya: statsionarnye rezhimy i skorost' dvizheniya slozhnykh sistem – complexity. Vestnik Moskovskogo universiteta. Seriya 3: Fizika. Astronomiya. 2015;2:62-73. Russian.

13. Es'kov VM, Filatova OE, Provorova OV, Khimikova OI. Neyroemulyatory pri identifikatsii parametrov poryadka v ekologii cheloveka. Ekologiya cheloveka. 2015;5:57-64. Russian.

14. Filatov MA, Filatova DYu, Poskina TYu, Strel'tsova TV. Metody teorii khaosa-samoorganizatsii v psikhofiziologii. Slozhnost'. Razum. Postneklassika. 2014;1:13-28. Russian.

15. Eskov VM, Filatova OE. Respiratory rhythm generation in rats: the importance of inhibition. Neurophysiology. 1993;25(6):420.

16. Eskov VM, Eskov VV, Filatova OE. Characteristic features of measurements and modeling for biosystems in phase spaces of states. Measurement Techniques. 2010;53(12):1404.

17. Eskov VM. Evolution of the emergent properties of three types of societies: the basic law of human development. E:CO Emergence: Complexity and Organization. 2014;16(2):107-15.

18. Eskov VM, Gavrilenko TV, Vokhmina YV. Measurement of chaotic dynamics for two types of tapping as voluntary movementsyu Measurement Techniques. 2014;57(6):720-4.

19. Eskov VM, Khadartsev AA, Eskov VV, Filatova OE. Quantitative registration of the degree of the voluntariness and involuntariness (of the chaos) in biomedical systems. Journal of Analytical Sciences, Methods and Instrumentation. 2013;3:67-74.