

10.12737/article_5c220056f012a2.91662611

ИЕРАРХИЯ ХАОСА В СИСТЕМАХ УПРАВЛЕНИЯ ДВИЖЕНИЕМ

Ю.М. ПОПОВ¹, Н.В. ИВАНОВА², Д.В. БЕЛОЩЕНКО²,
О.И. ПОРОСИНИН², А.П. ИГНАТЕНКО²

¹ФГБОУ ВО «Самарский государственный социально-педагогический университет»,
ул. М. Горького, 65/67, Самара, Россия, 443099

²БУ ВО «Сургутский государственный университет», ул. Энергетиков, 22, Сургут, Россия,
628400, e-mail: d.beloshhenko@mail.ru

Аннотация. После доказательства эффекта Еськова-Зинченко в биомеханике, когда все параметры треморограмм или теппинграмм (от одного испытуемого в неизменном гомеостазе) демонстрируют отсутствие статистической устойчивости выборок, возникает глобальная проблема объяснения механизмов такого хаоса. Для биофизики и кибернетики принципиальная проблема заключается в нахождении источников такого хаоса. В настоящем сообщении на основе анализа параметров электроэнцефалограмм, электромиограмм и треморограмм делается заключение о возможной суперпозиции долей хаоса во всей сложной, иерархической системе организации движений. Показывается краткое (трехкратное) падение доли стохастики от 30-40% (в нейросетях мозга) до 3-4% на выходе системы регуляции (тремор конечности). Подобный статистический хаос полностью исключает возможности в описании работы мозга, мышц и опорно-двигательного аппарата с позиций стохастики. Этот хаос отличен и от детерминированного хаоса Лоренца. Это хаос гомеостатических систем.

Ключевые слова: эффекта Еськова-Зинченко, треморограммы, теппинграммы, гомеостаз, стохастика.

CHAOS HIERARCHY IN MOTION CONTROL SYSTEMS

YU.M. POPOV¹, N.V. IVANOVA², D.V. BELOSHCHENKO²,
O.I. POROSININ², A.P. IGNATENKO²

¹Samara State Social Pedagogical University, ul. M. Gorky, 65/67, Samara, Russia, 443099

²Surgut State University, Energetikov str., 22, Surgut, Russia, 628400,
e-mail: d.beloshhenko@mail.ru

Abstract. After the proof of the Eskova-Zinchenko effect in biomechanics, when all the parameters of tremorograms or tepinggrams (from one subject to unchanged homeostasis) demonstrate the lack of statistical stability of the samples, the global problem of explaining the mechanisms of such chaos arises. For biophysics and cybernetics, the fundamental problem lies in finding the sources of such chaos. In the present report, based on the analysis of the parameters of electroencephalograms, electromyograms and tremorograms, a conclusion is drawn about the possible superposition of chaos fractions in the entire complex, hierarchical system of movement organization. A brief (threefold) fall in the share of stochastics from 30–40% (in brain neural networks) to 3–4% at the output of the regulation system (tremor of the limb) is shown. Such statistical chaos completely eliminates the possibilities in describing the work of the brain, muscles and the musculoskeletal system from the standpoint of stochastics. This chaos is different from the deterministic chaos of Lorentz. This is a chaos of homeostatic systems.

Key words: Eskov-Zinchenko effect, tremorograms, tepinggrams, homeostasis, stochastics.

Введение. За последние 25-30 лет усилиями сургутской, самарской, московской и тульской школ в области разработки новой теории хаоса-самоорганизации (ТХС) доказана принципиальная неоднородность выборок параметров треморограмм (ТМГ) и теппинграмм (ТПГ) [5-8,14-21]. Динамика оказалась более сложной и не изучалась в рамках в рамках детерминистско-

стохастической науки – ДСН, но наблюдается хаос не только треморограмм был доказан эффект Еськова-Зинченко (ЭЭЗ) в биомеханике и физиологии сердечно-сосудистой системы (ССС) [8,11-14,19-24]. Предтечей этого эффекта является работа Н.А. Бернштейна [1] о «повторении без повторений», 1947г. Однако, в действительности ЭЭЗ сейчас распространяется и на многие другие

регуляторные системы, в частности, на *нейросети мозга* (НСМ) и на сердечно-сосудистую систему, как главную *функциональную систему организма* (ФСО) человека. Отметим, что ЭЭЗ впервые был доказан именно для *нервно-мышечной системы* (НМС) человека [1-9], но теперь он распространяется и на другие ФСО, НСМ и т.д. [8-15]. Любые регуляторные системы организма человека обладают гомеостатическими свойствами. В целом, речь сейчас идет об изучении особых *гомеостатических систем* (ГС) [2-5,26-30].

Особо следует выделить то, что сейчас ЭЭЗ мы распространяем на нейросети мозга, которые осуществляют управление любой ФСО человека (включая и НМС, и ССС). Во всех этих ФСО мы устойчиво наблюдаем невозможность подряд два раза повторять (статистически) выборки ТМГ, ТПГ, *кардиоинтервалов* (КИ), *электромиограмм* (ЭМГ) для одного и того же испытуемого (в одном, неизменном гомеостазе). Это составляет основу ЭЭЗ и окончательно разрушает миф об однородности выборок в биомеханике и теории ФСО. Все эти процессы происходят хаотически, а вероятность совпадения двух выборок x_i подряд не превышает $p_i \leq 0,05$. Более того, уже три подряд выборки ТМГ или ЭМГ не будут совпадать (их сложно отнести к одной генеральной совокупности). Совпадение наблюдается с вероятностью $p_2 \leq 10^{-5}$ [9-14].

Отметим, что для ЭЭГ, КИ (и для других параметров ССС [2-5] эти вероятности в 3-4 раза больше, но в любом случае это крайне малые величины. Эти закономерности распространяются и на группы испытуемых, если измерения их параметров ССС или НМС производить многократно (в неизменном гомеостазе). Одновременно возникает глобальная проблема однородности выборок, получаемых от одного объекта (в неизменном гомеостазе). Более того, возникает проблема изучения биофизических механизмов такой неустойчивости. В этой связи мы

предлагаем возможные механизмы такой хаотической регуляции. При этом используется *компарментно-кластерный подход* (ККП) [14-21], который был разработан В.М. Еськовым еще в 80-х и 90-х годах 20-го века [11,24,25,30].

1. Иерархия системы управления движением в рамках ККП. Прежде всего отметим, что проблема неустойчивости систем регуляции ФСО (и любых других живых систем) крайне интересовала нобелевских лауреатов М.Gell-Mann и I.R. Prigogine. Более того, вся термодинамика неравновесных систем I.R. Prigogine была направлена на изучение и моделирование таких систем, но нобелевский лауреат при этом не вышел за пределы стохастики и теории динамического хаоса Лоренца. Аналогичных ориентиров придерживался и М.Gell-Mann. При этом I.R. Prigogine был уверен, что живые системы являются нестабильными системами (они уникальны, а уникальные системы – не объект современной детерминистской и стохастической науки [4,12-16,22]. Особая роль уникальных (нестабильных) живых систем выделяется и Г.Р. Иваницким, который подчеркивал необходимость создания особой теории для описания живых систем [16,19].

Особую роль в развитии этих идей сыграл эффект Еськова-Зинченко, в котором доказана статистическая неустойчивость подряд получаемых выборок, например, ТМГ и ТПГ [6-15]. Если отсутствует статистическая устойчивость выборок ТМГ для одного человека или для целой группы испытуемых, то о какой однородности выборок тогда может идти речь? Для примера мы представляем одну (из сотен других, подобных) матрицу парных сравнений (выделены элементы матрицы $p_{jk} \geq 0,05$) выборок ТМГ, которые получены от одного испытуемого, находящегося в неизменном гомеостазе (человек спокойно сидел и пытался удерживать палец на определенном расстоянии от датчика перемещений).

Таблица 1

Матрица парного сравнения выборок ТМГ испытуемого Т.Д.А. (число повторов $N=15$), использовался критерий Вилкоксона (уровень значимости $p<0,05$, число совпадений $k_I=6$)

| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 |
|----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 1 | | ,00 | ,00 | ,00 | ,00 | ,00 | ,00 | ,00 | ,00 | ,00 | ,00 | ,00 | ,00 | ,00 | ,00 |
| 2 | ,00 | | ,00 | ,00 | ,00 | ,00 | ,00 | ,00 | ,00 | ,00 | ,95 | ,00 | ,24 | ,00 | ,00 |
| 3 | ,00 | ,00 | | ,00 | ,00 | ,00 | ,00 | ,00 | ,00 | ,00 | ,00 | ,00 | ,00 | ,00 | ,00 |
| 4 | ,00 | ,00 | ,00 | | ,11 | ,00 | ,00 | ,00 | ,00 | ,00 | ,00 | ,00 | ,00 | ,00 | ,00 |
| 5 | ,00 | ,00 | ,00 | ,11 | | ,00 | ,00 | ,00 | ,00 | ,00 | ,00 | ,00 | ,00 | ,00 | ,00 |
| 6 | ,00 | ,00 | ,00 | ,00 | ,00 | | ,00 | ,00 | ,00 | ,00 | ,00 | ,00 | ,00 | ,00 | ,00 |
| 7 | ,00 | ,00 | ,00 | ,00 | ,00 | ,00 | | ,00 | ,00 | ,00 | ,00 | ,00 | ,00 | ,00 | ,00 |
| 8 | ,00 | ,00 | ,00 | ,00 | ,00 | ,00 | ,00 | | ,00 | ,00 | ,00 | ,00 | ,00 | ,81 | ,00 |
| 9 | ,00 | ,00 | ,00 | ,00 | ,00 | ,00 | ,00 | ,00 | | ,00 | ,00 | ,02 | ,00 | ,00 | ,00 |
| 10 | ,00 | ,00 | ,00 | ,00 | ,00 | ,00 | ,00 | ,00 | ,00 | | ,00 | ,00 | ,00 | ,00 | ,00 |
| 11 | ,00 | ,95 | ,00 | ,00 | ,00 | ,00 | ,00 | ,00 | ,00 | ,00 | | ,00 | ,91 | ,00 | ,00 |
| 12 | ,00 | ,00 | ,00 | ,00 | ,00 | ,00 | ,00 | ,00 | ,02 | ,00 | ,00 | | ,00 | ,00 | ,00 |
| 13 | ,00 | ,24 | ,00 | ,00 | ,00 | ,00 | ,00 | ,00 | ,00 | ,00 | ,91 | ,00 | | ,00 | ,00 |
| 14 | ,00 | ,00 | ,00 | ,00 | ,00 | ,00 | ,00 | ,81 | ,00 | ,00 | ,00 | ,00 | ,00 | | ,00 |
| 15 | ,00 | ,00 | ,00 | ,00 | ,00 | ,00 | ,00 | ,00 | ,00 | ,00 | ,00 | ,00 | ,00 | ,00 | |

Примечание: p – достигнутый уровень значимости (критическим уровнем принят $p<0,05$)

Очевидно, что в табл. 1 мы имеем крайне малое число k пар, которые (эти две ТМГ) можно отнести к одной генеральной совокупности. Подчеркнем, что наддиагональные (или поддиагональные) элементы $a_{j,j+1}=0$, т.е. две соседние выборки (из всех 14-ти) статистически не совпадают. Если повторять эти опыты многократно (с одним и тем же испытуемым, в неизменном гомеостазе), то мы будем получать другие пары совпадений, для которых критерий Вилкоксона $P_{jk} \geq 0,05$ (в этом случае такие две выборки имеют одну общую, генеральную совокупность).

Мы подобные опыты повторяли по 225 раз (для одного испытуемого) и все 15 матриц, которые строились аналогично табл. 1, показывали разные $P_{jk} \geq 0,05$. Иными словами, выборки ТМГ не могут быть однородными. Возникает центральная проблема биофизики НМС, физиологии и естествознания в целом: каковы механизмы такой неустойчивости, где первопричина хаоса выборок ТМГ? Поскольку в рамках ККП ранее [11,23-26] мы описывали двух- и трехкластерные системы в организации НМС, то можно бы было рассмотреть в целом мышечный кластер, обеспечивающий движение (ТМГ) всей биомеханической системы.

2. Хаос мышечной системы – хаос ЭМГ. Очевидно, что движение пальца (в

виде тремора или теппинга) обеспечивается работой мышц. Но при этом биомеханика ТМГ или ТПГ включает и движение костного аппарата, сухожилий и даже кровеносных сосудов (находящихся в конечности). Все это тоже образует (третий) кластер НМС и демонстрирует хаос ТМГ. НСМ, мышцы, биомеханическая система конечности составляют трехкластерную систему, которая нам демонстрирует тремор. Мышцы при этом являются (за счет своего сокращения) некоторым мотором, который обеспечивает движение всего «автомобиля» (у нас это конечность). В этой связи очень важно изучить работу этого «мотора», что мы сейчас и произведем на основе анализа ЭМГ.

Действительно, если мы будем регистрировать биоэлектрическую активность (ЭМГ) какой-либо мышцы (у нас это был бицепс в режиме удержания груза с $F_I=100Н$, в виде удержания локтя под прямым углом), то будем наблюдать хаос и ЭМГ. Подобные исследования мы производили с разными мышцами (бицепс, отводящая мышца мизинца и т.д.) и везде закономерность была одинакова. Результаты этих многолетних исследований представлены в виде характерной таблицы 2.

Таблица 2

Матрица парных сравнений выборок ЭМГ (бицепс) без нагрузки для левой руки испытуемого Г.Д.В., использовался критерий Вилкоксона (число совпадений $k_2=12$)

| | | | | | | | | | | | | | | | |
|----|------|------|------|------|------|-------------|------|------|-------------|-------------|-------------|-------------|------|-------------|-------------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 |
| 1 | | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,40 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,37 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,29 |
| 2 | 0,00 | | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 3 | 0,00 | 0,00 | | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 4 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | | 0,02 | 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 | 0,02 | | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,71 | 0,00 | 0,00 | 0,11 | 0,00 | 0,04 | 0,00 |
| 6 | 0,40 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,04 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,94 |
| 7 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | | 0,00 | 0,00 | 0,78 | 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 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 9 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,01 | 0,71 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | | 0,00 | 0,00 | 0,28 | 0,00 | 0,13 | 0,00 |
| 10 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,78 | 0,00 | 0,00 | | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 11 | 0,37 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,04 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | | 0,04 | 0,00 | 0,45 | 0,22 |
| 12 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,11 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,28 | 0,00 | 0,04 | | 0,00 | 0,01 | 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 | 0,55 |
| 14 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,04 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,13 | 0,00 | 0,45 | 0,01 | 0,00 | | 0,00 |
| 15 | 0,29 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,94 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,22 | 0,00 | 0,55 | 0,00 | |

Здесь, в табл. 2, содержатся критерии Вилкоксона p при парном сравнении выборок ЭМГ бицепса испытуемого ГДВ при удержании груза $F_I=100Н$. Очевидно, что число k пар ЭМГ, которые (эти две выборки) можно отнести к одной генеральной совокупности не велико ($k_2=12$). Но это число всегда (во всех наших исследованиях) было в 3-4 раза больше, чем k , для ТМГ. Выборки ЭМГ испытуемых всегда в 3-4 раза более статистически устойчивы, чем параметры ТМГ (для любых испытуемых) [17-20,22-26].

Всегда параметры ЭМГ любого испытуемого статистически несколько более устойчивы, чем параметры ТМГ, но в любом случае $k_2 \leq 10-12\%$ от всех 105-ти разных пар сравнения в матрицах, которые подобны табл. 1 и табл. 2. Это общая закономерность поведения ЭМГ и ТПГ всех испытуемых (несколько сот человек, в наших исследованиях). Таким образом, мы сейчас можем говорить о хаосе биомеханической системы (ТМГ) и хаосе в работе мышц (ЭМГ), но эти хаосы имеют разную долю стохастики.

Для ЭМГ мы имеем $k_2 \leq 12\%$, а для ТМГ $k_1 \leq 5\%$. Доля стохастики падает при переходе от мышц к конечной биомеханической системе в виде регистрируемого тремора [16-23].

3. Первичный источник хаоса – мозг человека. Поскольку организация любого

движения происходит под действием *центральной нервной системы* (ЦНС), а ее активность может нами оцениваться активностью НСМ, то закономерно поставить вопрос о возможности регистрации статистической неустойчивости и параметров ЭЭГ. Эти параметры ЭЭГ мы наблюдали у одного и того же человека в режиме регистрации от одной и той же точки отведения. Результаты этих исследований (в виде примера) представлены в табл. 3.

Из этой табл.3 легко видеть, что и ЭЭГ в режиме 15-ти повторений регистрации в одном отведении (для одного испытуемого, регистрация в спокойном состоянии) показывают тоже статистическую неустойчивость выборок ЭЭГ. Однако, доля стохастики (число k , для пар с $P_{jk} \geq 0,05$) здесь уже существенно выше. В табл. 3 $k_3=37$, в остальных случаях мы имеем $k_3 \leq 40\%$ из всех 105 пар сравнения выборок ЭЭГ в таких матрицах парных сравнений выборок. Очевидно, что доля стохастики в табл. 3 уже в 3-4 раза выше, чем это мы имеем для ЭЭГ. Именно мышцы управляются – ЦНС и они более хаотичны (по параметрам ЭМГ), чем ЭЭГ. Периферия демонстрирует резкое снижение доли стохастики (и степени однородности) при сравнении с хаосом центральных структур (у нас речь идет о нейросетях мозга – ЭЭГ).

Таблица 3

Матрица парного сравнения ЭЭГ одного и того же здорового человека (число повторов $N=15$) в период фотостимуляции в отведении $T6-Ref$, использовался критерий Вилкоксона (значимость $p<0,05$, число совпадений $k_3=37$)

| | | | | | | | | | | | | | | | |
|----|------|------|-------------|------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| | 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 | 0.19 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.01 | 0.00 | 0.01 | 0.00 | 0.04 |
| 2 | 0.00 | | 0.99 | 0.00 | 0.06 | 0.93 | 0.02 | 0.25 | 0.33 | 0.57 | 0.00 | 0.03 | 0.04 | 0.00 | 0.00 |
| 3 | 0.00 | 0.99 | | 0.00 | 0.09 | 0.75 | 0.03 | 0.21 | 0.50 | 0.95 | 0.00 | 0.10 | 0.10 | 0.00 | 0.00 |
| 4 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.02 | 0.00 | 0.03 | 0.00 | 0.51 | 0.00 | 0.15 | 0.00 |
| 5 | 0.00 | 0.06 | 0.09 | 0.00 | | 0.28 | 0.29 | 0.00 | 0.88 | 0.11 | 0.00 | 0.00 | 0.65 | 0.00 | 0.00 |
| 6 | 0.00 | 0.93 | 0.75 | 0.00 | 0.28 | | 0.11 | 0.07 | 0.57 | 0.39 | 0.00 | 0.09 | 0.40 | 0.00 | 0.00 |
| 7 | 0.19 | 0.02 | 0.03 | 0.00 | 0.29 | 0.11 | | 0.00 | 0.09 | 0.10 | 0.00 | 0.00 | 0.58 | 0.00 | 0.01 |
| 8 | 0.00 | 0.25 | 0.21 | 0.02 | 0.00 | 0.07 | 0.00 | | 0.05 | 0.71 | 0.00 | 0.43 | 0.07 | 0.00 | 0.00 |
| 9 | 0.00 | 0.33 | 0.50 | 0.00 | 0.88 | 0.57 | 0.09 | 0.05 | | 0.08 | 0.00 | 0.00 | 0.60 | 0.00 | 0.00 |
| 10 | 0.00 | 0.57 | 0.95 | 0.03 | 0.11 | 0.39 | 0.10 | 0.71 | 0.08 | | 0.00 | 0.18 | 0.60 | 0.00 | 0.00 |
| 11 | 0.01 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.30 |
| 12 | 0.00 | 0.03 | 0.10 | 0.51 | 0.00 | 0.09 | 0.00 | 0.43 | 0.00 | 0.18 | 0.00 | | 0.00 | 0.01 | 0.00 |
| 13 | 0.01 | 0.04 | 0.10 | 0.00 | 0.65 | 0.40 | 0.58 | 0.07 | 0.60 | 0.60 | 0.00 | 0.00 | | 0.00 | 0.00 |
| 14 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.15 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.01 | 0.00 | | 0.00 |
| 15 | 0.04 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.01 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.30 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | |

Такая закономерность устойчивого падения доли стохастики прослеживается во всех наших многочисленных исследованиях как с ЭЭГ, так и с ЭМГ и ТМГ. Отсюда возникает возможность построения определенной трехкластерной иерархической системы регуляции НМС, что представлено на рисунке 1 в виде графа. Отметим, что подобные двухкластерные и трехкластерные системы были изучены весьма подробно более 30 лет назад В.М. Еськовым [11,23-25,28].

В рамках ККТБ можно изучать первичный хаос в мышцах (как нижнем кластере управления), который определяется активностью иерарха (1-го кластера в виде НСМ). Такие двухкластерные системы в виде уравнений с разрывной правой частью уже способны генерировать матрицы, подобные таблицам 1 и 2. На рис. 1 представлено два кластера (нейросети мозга – 1-й кластер и мышцы – 2-й кластер, ими управляемые).

Здесь $x=x(t)$ в общем виде имеет размерность $m=6$, где первые $m_1=3$ компартмента описывают активность НСМ, а нижний кластер ($m_2=3$ с 4-го по 6-й) описывает работу НМС на спинальном уровне. Этот нижний кластер имеет афферентную часть (рецепторы мышцы и сухожилий), центральное звено (нейроны спинного мозга) и эффекторную часть (мотонейроны и мышцы) [12,17-21,29-31].

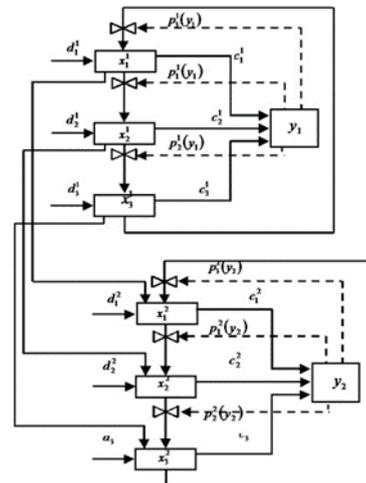


Рис. 1. Граф двухкластерной двухкомпарментной модели ГС

В общем виде такая двухкластерная система имеет графовую структуру рис. 1. Здесь верхний уровень – ЦНС и нижний уровень НМС (спинальный уровень). Важно то, что такие системы дают хаотические сигналы на выходе (в виде функций $y(t)$ – у нас это ЭМГ), которые в режиме резких переключений дают хаос $y(t)$, весьма похожий (по таблицам) на хаос табл.2.

На рис. 2 представлен фазовый портрет ЭМГ (реальный), который весьма похож на фазовый портрет модельной ЭМГ в режиме 15-ти переключений. При этом мы отмечаем, что повторная регистрация ЭМГ уже получается (у одного и того же

испытуемого) в результате некоторого (хаотического) переключения работы и НСМ, и мышц. Эти переключения могут происходить скачкообразно (как σ -функции) в различные моменты времени (хаотически). Такие перестройки НСМ и мышц в итоге и дают нам неустойчивость, которая начинается с ЭЭГ (см. табл. 3) и далее усиливается в ЭМГ (см. табл. 2).

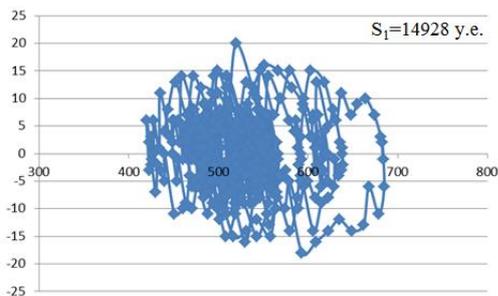


Рис. 2. Фазовый портрет ЭМГ (реальный) в режиме 15-ти повторений

Хаос и непрерывная самоорганизация в работе НСМ и мышц (НМС) приводит к непрерывной перестройке связей (их силы, например) между элементами системы управления НМС. Это и приводит в итоге к статистической неустойчивости ЭЭГ, ЭМГ и ТМГ.

Выводы

1. Эффект Еськова-Зинченко, как статистическая неустойчивость выборок ТМГ и ТПГ для одного и того же испытуемого (в неизменном гомеостазе), порождает низкие значения k_1 в выборках ТМГ. Однако, этот статистический хаос имеет более широкие связи со всей системой регуляции НМС.

2. Хаос ТМГ связан с хаосом ЭМГ, где выборки x_i демонстрируют число k пар статистически совпадающих (для них p Вилкоксона – $p \geq 0,05$) тоже весьма небольшое ($k_2 \leq 12\%$). Очевидно, что хаос ЭМГ усиливается в неустойчивости ТМГ, где $k_1 \leq 5\%$.

3. Первоисточником общей статистической неустойчивости ЭМГ и ТМГ можно считать неустойчивость в работе нейросетей мозга. (НСМ), которые генерируют ЭЭГ. Они имеют долю стохастичности $k_2 \leq 40\%$, что в 3-4 раза больше, чем $k_2 \leq 12\%$ и почти в 9-10 раз больше, чем $k_3 \leq 5\%$ для ТМГ. При переходе от ЦНС к

периферии мы имеем нарастание доли хаоса (до 95% для ТМГ).

4. В ККТБ становится возможным (на основе уравнений с разрывной правой частью) моделирование статистической неустойчивости, если мы будем использовать двухкластерные или трехкластерные модели. В таких моделях можно создавать эффект «встряивания» – резкого изменения параметров модели. При этом получают модельные таблицы, которые весьма похожи на табл.1 и табл.2 для ТМГ и ЭМГ.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ мол_а 18-37-00113

Литература

1. Бернштейн Н.А. О построении движений - М.: Медгиз, 1947. – 254 с.
2. Гараева Г.Р., Еськов В.М., Еськов В.В., Гудков А.Б., Филатова О.Е., Химикова О.И. Хаотическая динамика кардиоинтервалов трех возрастных групп представителей коренного населения Югры // Экология человека. – 2015. – № 9. – С. 50-55.
3. Денисова Л.А., Прохоров С.А., Шакирова Л.С., Филатова Д.Ю. Хаос параметров сердечно-сосудистой системы школьников в условиях широтных перемещений // Вестник новых медицинских технологий. – 2018. – Т. 25. – № 1. – С. 133-142.
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. – Т. 51. – № 4. – С. 126-128.
5. Еськов В.В., Вохмина Ю.В., Гавриленко Т.В., Зимин М.И. Модели хаоса в физике и теории хаоса-самоорганизации // Сложность. Разум. Постнеклассика. – 2013. – № 2. – С. 42-56.
6. Еськов В.В., Белощенко Д.В., Баженова А.Е., Живаева Н.В. Влияние локального холодового воздействия на параметры электромиограмм у женщин // Экология человека. – 2018. – № 9. – С. 42-47.

7. Еськов В.В., Пятин В.Ф., Ключ Л.Г., Миллер А.В. Гомеостатичность нейросетей мозга // Вестник новых медицинских технологий. – 2018. – Т. 25. – № 1. – С. 102-113.

8. Еськов В.В. Проблема статистической неустойчивости в биомеханике и в биофизике в целом // Вестник новых медицинских технологий. – 2018. – Т. 25. – № 2. – С. 166-175.

9. Еськов В.В., Пятин В.Ф., Еськов В.М., Григорьева С.В. Особенности регуляции сердечно-сосудистой системы организма человека нейросетями мозга // Вестник новых медицинских технологий. – 2018. – Т. 25. – № 2. – С. 188-199.

10. Еськов В.В., Еськов В.М., Вохмина Ю.В. Гипотеза Н. А. Бернштейна и статистическая неустойчивость выборок параметров треморограмм // Вестник кибернетики. – 2018. – Т. 29. – № 1. – С. 33-38.

11. Еськов В.М. Компаративно-кластерный подход в исследованиях биологических динамических систем (БДС) / В. М. Еськова; Рос. акад. наук, Науч. совет по проблемам биол. физики. Самара: изд-во НТЦ, 2003. – 20 с.

12. Еськов В.М., Зилов В.Г., Хадарцев А.А. Новые подходы в теоретической биологии и медицине на базе теории хаоса и синергетики // Системный анализ и управление в биомедицинских системах. – 2006. – Т. 5. – № 3. – С. 617-622.

13. Еськов В.М., Еськов В.В., Филатова О.Е., Хадарцев А.А. Фрактальные закономерности развития человека и человечества на базе смены трёх парадигм // Вестник новых медицинских технологий. – 2010. – Т. 17. – № 4. – С. 192-194.

14. Еськов В.М., Еськов В.В., Филатова О.Е. Особенности измерений и моделирования биосистем в фазовых пространствах состояний // Измерительная техника. – 2010. – № 12. – С. 53-57.

15. Еськов В.М., Хадарцев А.А., Гудков А.В., Гудкова С.А., Сологуб Л.А. Философско-биофизическая интерпретация жизни в рамках третьей парадигмы // Вестник новых медицинских технологий. – 2012. – Т. 19. – № 1. – С. 38-41.

16. Еськов В.М., Хадарцев А.А., Козлова В.В., Филатов М.А. и др. Системный анализ, управление и обработка информации в биологии и медицине. Том XI Системный синтез параметров функций организма жителей Югры на базе нейрокомпьютинга и теории хаоса-самоорганизации в биофизике сложных систем: монография. Самара: изд-во ООО "Офорт", 2014. – 192 с.

17. 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. – Т. 20. – № 4. – С. 66-73.

18. 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.

19. Еськов В.М., Филатова О.Е., Еськов В.В., Гавриленко Т.В. Эволюция понятия гомеостаза: детерминизм, стохастика, хаос-самоорганизация // Биофизика. – 2017. – Т. 62. – № 5. – С. 984-997.

20. Еськов В.М., Зинченко Ю.П., Филатов М.А., Иляшенко Л.К. Теорема Гленсдорфа - Пригожина в описании хаотической динамики тремора при холодном стрессе // Экология человека. – 2017. – № 5. – С. 27-32.

21. Еськов В.М., Белощенко Д.В., Башкатова Ю.В., Иляшенко Л.К. Параметры кардиоинтервалов испытуемых в условиях гипотермии // Экология человека. – 2018. – № 10. – С. 39-45.

22. Хадарцев А.А., Еськов В.М., Филатова О.Е., Хадарцева К.А. Пять принципов функционирования сложных систем, систем третьего типа // Вестник новых медицинских технологий. Электронное издание. – 2015. – № 1. – С. 1-2.

23. Eskov V.V., Gavrilenko T.V., Eskov V.M., Vokhmina Y.V. Phenomenon of statistical instability of the third type systems-complexity // Technical Physics. The Russian Journal of Applied Physics. – 2017. – Vol. 62. – No. 11. – Pp. 1611-1616.

24. Eskov V.M., Filatova O.E. Respiratory rhythm generation in rats: the importance of inhibition // *Neurophysiology*. – 1993. – Vol. 25. – No. 6. – Pp. 348-353.

25. Eskov V.M., Filatova O.E. A compartmental approach in modeling a neuronal network. role of inhibitory and excitatory processes // *Biofizika*. – 1999. – Vol. 44. – No. 3. – Pp. 518-525.

26. Leonov B.I., Grigorenko V.V., Eskov V.M., Khadartsev A.A., and Ilyashenko L.K. Automation of the Diagnosis of Age-Related Changes in Parameters of the Cardiovascular System // *Biomedical Engineering*. – 2018. – Vol. 52. – No. 3. – Pp. 210-214.

27. Filatova O.E., Bazhenova A.E., Ilyashenko L.K., Grigorieva S.V. Estimation of the Parameters for Tremograms According to the Eskov–Zinchenko Effect Biophysics // *Biophysics*. – 2018. – Vol. 63. – No. 2. – Pp. 125–130.

28. Vokhmina Y.V., Eskov V.M., Gavrilenko T.V., Filatova O.E. Medical and biological measurements: measuring order parameters based on neural network technologies // *Measurement Techniques*. – 2015. – Vol. 58. – No. 4. – Pp. 65-68.

29. Zilov V.G., Khadartsev A.A., Eskov V.V. and Eskov V.M. Experimental Study of Statistical Stability of Cardiointerval Samples // *Bulletin of experimental biology and medicine*. – 2017. – Vol. 164. – No. 2. – Pp. 115-117.

30. Zilov V.G., Khadartsev A.A., Ilyashenko L.K., Eskov V.V., Minenko I.A. Experimental analysis of the chaotic dynamics of muscle biopotentials under various static loads // *Bulletin of experimental biology and medicine*. – 2018. – Vol. 165. – No. 4. – Pp. 415-418.

References

1. Bernstein N.A. On the construction of movements - M.: Medgiz, 1947. – 254 p.

2. Garaeva G.R., Es'kov V.M., Es'kov V.V., Gudkov A.B., Filatova O.E., Khimikova O.I. Khaoticheskaya dinamika kardiointervalov trekh vozrastnykh grupp predstaviteley koren'nogo naseleniya Yugry [Chaotic dynamics of cardiointervals in three age groups of indigenous people of Ugra] //

Ehkologiya cheloveka [Human Ecology]. – 2015. – № 9. – S. 50-55.

3. Denisova L.A., Prohorov S.A., Shakirova L.S., Filatova D.Yu. Haos parametrov serdechno-sosudistoy sistemy shkol'nikov v usloviyah shirotnykh peremeshchenij [Percutaneous biliary interventions in patients with obstructive jaundice performed on an outpatient basis] // *Vestnik novykh medicinskih tekhnologij [Journal of new medical technologies]*. – 2018. – T. 25. – № 1. – S. 133-142.

4. Es'kov V.V., Es'kov V.M., Karpin V.A., Filatov M.A. Sinergetika kak tret'ya paradigma, ili ponyatie paradigmy v filosofii i nauke [Synergetics as the third paradigm?] // *Filosofiya nauki [Philosophy of science]*. – 2011. – T. 51. – № 4. – S. 126-128.

5. Es'kov V.V., Vokhmina Yu.V., Gavrilenko T.V., Zimin M.I. Modeli khaosa v fizike i teorii khaosa-samoorganizatsii [The chaos modeling in physics and theory chaos self-organization] // *Slozhnost'. Razum. Postneklassika [Complexity. Mind. Postnonclassic]*. – 2013. – № 2. – S. 42-56.

6. Es'kov V.V., Beloshchenko D.V., Bazhenova A.E., Zhivaeva N.V. Vliyanie lokal'nogo holodovogo vozdejstviya na parametry ehlektromiogramm u zhenshchin [The influence of local cold effects on electromyogram parameters in women] // *Ehkologiya cheloveka [Human Ecology]*. – 2018. – № 9. – S. 42-47.

7. Es'kov V.V., Pyatin V.F., Klyus L.G., Miller A.V. Gomeostatichnost' nejrosetej mozga [Homeostasis of brain neural network] // *Vestnik novykh medicinskih tekhnologij [Journal of new medical technologies]*. – 2018. – T. 25. – № 1. – S. 102-113.

8. Es'kov V.V. Problema statisticheskoy neustojchivosti v biomekhanike i v biofizike v celom [The problem of statistical instability in biomechanics and biophysics in general] // *Vestnik novykh medicinskih tekhnologij [Journal of new medical technologies]*. – 2018. – T. 25. – № 2. – S. 166-175.

9. Es'kov V.V., Pyatin V.F., Es'kov V.M., Grigor'eva S.V. Osobennosti regulyatsii serdechno-sosudistoy sistemy organizma cheloveka neyrosetyami mozga [Peculiarities of regulation of the cardiovascular system of the human organism by neural networks of the

brain] // Vestnik novykh meditsinskikh tekhnologiy [Journal of new medical technologies]. – 2018. – Т. 25. – № 2. – S. 188-199.

10. Es'kov V.V., Es'kov V.M., Vohmina Yu.V. Gipoteza N. A. Bernshtejna i statisticheskaya neustojchivost' vyborok parametrov tremorogramm [N.A. Bernstein hypothesis and statistical samplings instability of tremorogram's parameters] // Vestnik kibernetiki [Herald of cybernetics]. – 2018. – Т. 29. – № 1. – S. 33-38.

11. Es'kov V.M. Kompartmentno-klasternyy podkhod v issledovaniyakh biologicheskikh dinamicheskikh sistem (BDS) / V. M. Es'kova; Ros. akad. nauk, Nauch. sovet po problemam biol. fiziki. Samara: izd-vo NTTS, 2003. – 20 s.

12. Es'kov V.M., Zilov V.G., Khadartsev A.A. Novye podkhody v teoreticheskoy biologii i meditsine na baze teorii khaosa i sinergetiki [New directions in clinical cybernetics from position of the theory of the chaos] // Sistemnyy analiz i upravlenie v biomeditsinskikh sistemakh [System analysis and management in biomedical systems]. – 2006. – Т. 5. – № 3. – S. 617-622.

13. Es'kov V.M., Es'kov V.V., Filatova O.E., Khadartsev A.A. Fraktal'nye zakonomernosti razvitiya cheloveka i chelovechestva na baze smeny tryokh paradigm [Synergetic paradigm at fractal description of man and human] // Vestnik novykh meditsinskikh tekhnologiy [Journal of new medical technologies]. – 2010. – Т. 17. – № 4. – S. 192-194.

14. Es'kov V.M., Es'kov V.V., Filatova O.E. Osobennosti izmereniy i modelirovaniya biosistem v fazovykh prostranstvakh sostoyaniy [Features of measurements and modeling of biosystems in phase spaces of conditions] // Izmeritel'naya tekhnika [Measurement Techniques]. – 2010. – № 12. – S. 53-57.

15. Es'kov V.M., Khadartsev A.A., Gudkov A.V., Gudkova S.A., Sologub L.A. Filosofsko-biofizicheskaya interpretatsiya zhizni v ramkakh tret'ey paradigmy [Philosophical and biophysical interpretation of life within the framework of third paradigm] // Vestnik novykh meditsinskikh tekhnologiy [Journal of new medical

technologies]. – 2012. – Т. 19. – № 1. – S. 38-41.

16. Es'kov V.M., Khadartsev A.A., Kozlova V.V., Filatov M.A. i dr. Sistemnyy analiz, upravlenie i obrabotka informatsii v biologii i meditsine. Tom XI Sistemnyy sintez parametrov funktsiy organizma zHITELEY Yugry na baze neyrokomp'yutinga i teorii khaosa-samoorganizatsii v biofizike slozhnykh sistem: monografiya. Samara: izd-vo OOO "Ofort", 2014. – 192 s.

17. Es'kov V.M., Zinchenko Yu.P., Filatov M.A., Poskina T.Yu. Effekt N.A. Bernshtejna v ocenke parametrov tremora pri razlichnykh akusticheskikh vozdeystviyakh [The effect of N.A. Bernstein in the evaluation of tremor parameters for different acoustic effects] // Nacional'nyj psihologicheskiy zhurnal [National Psychological Journal]. – 2015. – Т. 20. – № 4. – S. 66-73.

18. Es'kov V.M., Filatova O.E., Provorova O.V., Khimikova O.I. Neyroehmulyatory pri identifikatsii parametrov poryadka v ehkologii cheloveka [Neural emulators in identification of order parameters in human ecology] // Ehkologiya cheloveka [Human Ecology]. – 2015. – № 5. – S. 57-64.

19. Es'kov V.M., Filatova O.E., Es'kov V.V., Gavrilenko T.V. Ehvolyutsiya ponyatiya gomeostaza: determinizm, stokhastika, khaos-samoorganizatsiya [The Evolution of the Idea of Homeostasis: Determinism, Stochastics and Chaos-Self-Organization] // Biofizika [Biophysics]. – 2017. – Т. 62. – № 5. – S. 984-997.

20. Es'kov V.M., Zinchenko Yu.P., Filatov M.A., Ilyashenko L.K. Teorema Glensdorfa - Prigozhina v opisaniy haoticheskoy dinamiki tremora pri holodovom stresse [Glansdorff-Prigogine theorem in the description of tremor chaotic dynamics in cold stress] // Ehkologiya cheloveka [Human Ecology]. – 2017. – № 5. – S. 27-32.

21. Es'kov V.M., Beloshchenko D.V., Bashkatova Yu.V., Ilyashenko L.K. Parametry kardiointervalov ispytuemykh v usloviyakh gipotermii [Cardiointervals parameters of human body in response to hypothermia] // Ehkologiya cheloveka [Human Ecology]. – 2018. – № 10. – S. 39-45.

22. Hadarcev A.A., Es'kov V.M., Filatova O.E., Hadarceva K.A. Pyat' principov

funkcionirovaniya slozhnyh sistem, sistem tret'ego tipa [The five principles of the functioning of complex systems, systems of the third type] // Vestnik novykh medicinskih tekhnologij. Ehlektronnoe izdanie [Journal of new medical technologies, eEdition]. – 2015. – № 1. – S. 1-2.

23. Eskov V.V., Gavrilenko T.V., Eskov V.M., Vokhmina Y.V. Phenomenon of statistical instability of the third type systems-complexity // Technical Physics. The Russian Journal of Applied Physics. – 2017. – Vol. 62. – No. 11. – Pp. 1611-1616.

24. Eskov V.M., Filatova O.E. Respiratory rhythm generation in rats: the importance of inhibition // Neurophysiology. – 1993. – Vol. 25. – No. 6. – Pp. 348-353.

25. Eskov V.M., Filatova O.E. A compartmental approach in modeling a neuronal network. role of inhibitory and excitatory processes // Biofizika. – 1999. – Vol. 44. – No. 3. – Pp. 518-525.

26. Leonov B.I., Grigorenko V.V., Eskov V.M., Khadartsev A.A., and Ilyashenko L.K. Automation of the Diagnosis of Age-Related Changes in Parameters of the Cardiovascular System // Biomedical Engineering. – 2018. – Vol. 52. – No. 3. – Pp. 210-214.

27. Filatova O.E., Bazhenova A.E., Ilyashenko L.K., Grigorieva S.V. Estimation of the Parameters for Tremograms According to the Eskov–Zinchenko Effect Biophysics // Biophysics. – 2018. – Vol. 63. – No. 2. – Pp. 125–130.

28. Vokhmina Y.V., Eskov V.M., Gavrilenko T.V., Filatova O.E. Medical and biological measurements: measuring order parameters based on neural network technologies // Measurement Techniques. – 2015. – Vol. 58. – No. 4. – Pp. 65-68.

29. Zilov V.G., Khadartsev A.A., Eskov V.V. and Eskov V.M. Experimental Study of Statistical Stability of Cardiointerval Samples // Bulletin of experimental biology and medicine. – 2017. – Vol. 164. – No. 2. – Pp. 115-117.

30. Zilov V.G., Khadartsev A.A., Ilyashenko L.K., Eskov V.V., Minenko I.A. Experimental analysis of the chaotic dynamics of muscle biopotentials under various static loads // Bulletin of experimental biology and

medicine. – 2018. – Vol. 165. – No. 4. – Pp. 415-418.