

О Б З О Р БИОФИЗИКА И МЕДИЦИНСКАЯ ФИЗИКА

Эволюция хаотической динамики коллективных мод как способ описания поведения живых систем

В. М. Еськов^a, В. В. Еськов^b, Ю. В. Вохмина^b, Т. В. Гавриленко^b

Сургутский государственный университет, Институт естественных и технических наук, кафедра биофизики и нейрокибернетики. Россия, 628405, Сургут, пр. Ленина, д. 1.

E-mail: ^avalery.eskov@gmail.com, ^btaras.gavrilenko@gmail.com

Статья поступила 09.11.2015, подписана в печать 02.12.2015.

Человекомерные системы, так называемые complexity, обладают уникальным свойством — непрерывным, хаотическим движением многих компонент вектора состояния $x = x(t)$ таких живых систем. Учет этого свойства приводит к отрицанию любых известных видов стационарных режимов (например, в виде $dx/dt = 0$) и требует пересмотра понятия хаоса. Предлагаются новый подход в понимании живых систем (в виде третьей парадигмы естествознания) и новые методы изучения живых систем (в виде теории хаоса-самоорганизации). Выделены точки соприкосновения физики и теории хаоса-самоорганизации в виде обобщенного принципа неопределенности и ограничений на параметры квазиаттракторов.

Ключевые слова: теория хаоса и самоорганизации, квазиаттрактор, параметр порядка, системы третьего типа.

УДК: 613.1, 612.014. PACS: 87.10.-e, 87.18.-h, 87.18.Vf.

Введение

Начиная от двух известных публикаций российских ученых [1, 2], связанных с попыткой обобщения и трактовки нового научного понимания жизни, особенностей живых систем, в России открыта новая дискуссия в виде серии работ, связанных с главной темой всего естествознания — понимания человеком самого себя и других живых систем. Очевидно, что момент начала формирования нового подхода и понимания этой глобальной проблемы настал, так как накопилось достаточное количество новых фактов, которые создают почву для новых размышлений, теорий и понятий. Детальное обоснование этого утверждения будет представлено ниже. Для начала следует отметить только два главных момента во всем этом новом калейдоскопе событий.

Во-первых, в американской научной печати уже появился ряд провокационных (для детерминистско-стохастического подхода (ДСП) и всей традиционной науки) работ, понятий и фактов. Речь идет в первую очередь о публикации группы ученых Stanford University в журнале Nature [3]. Внешне публикации [1, 2] и [3] — это разные работы, но речь идет об одном — о реальности систем третьего типа (СТТ), которые существенно отличаются от традиционных ДСП-систем, изучаемых в физике, химии, технике.

Официального признания реальности СТТ авторы этих строк добиваются вот уже на протяжении 40 лет, но пока особых успехов на этом пути не достигнуто. Однако вслед за признанием СТТ как со стороны биофизиков, так и со сто-

роны ученых в области «чистой» физики, химии, техники (т.е. ДСП-наук) должны последовать два других вопроса и ответы на них: «Как описывать и моделировать такие системы?» и «Имеет ли это все (реальность СТТ и их модели) какое-либо прагматическое (практическое) значение?» Последние 20–30 лет авторы настоящей статьи вместе со своими коллегами на многочисленных примерах демонстрировали положительные ответы на все три вопроса. Очевидно, что наши усилия, усилия биофизиков России, совместно с американскими коллегами, которые пытаются встать на позиции признания СТТ, должны привести к определенному научному результату [4, 5]. Во-вторых, расширяется круг ученых, которые демонстрируют ограниченность и даже невозможность применения ДСП для описания СТТ, их особых свойств и динамики поведения.

В первую очередь следует отметить серии работ Г. Р. Иваницкого и его коллег по проблеме биолого-иерархического отбора (БИО) и моделей возникновения хаотических структур в жидких средах (теплофизика камер, инфракрасные картины мира, модели хаотической эволюции в системах с памятью) [6, 7]. Вся серия этих работ связана с важнейшей проблемой эволюции живых систем, эволюцией, направленной на усложнение, на упорядочивание. Проблема возникновения порядка из хаоса очень волновала и И. Р. Пригожина [8, 9], однако нобелевский лауреат не уделял особого внимания самоорганизации (самоструктурированию, которое Г. Р. Иваницкий и его коллеги демонстрирует уже на уровне молекул воды и далее на уровне кристаллогидратов).

Однако еще 65 лет назад на это обратил внимание Warren Weaver [10], но дальнейшего продолжения усилия этого ученого не получили — «организованная сложность» [10] остается неизученной и в настоящее время [11].

Известная дискуссия между синергетикой (Н. Хакен) и complexity (I. R. Prigogine) в рамках разрабатываемой нами сейчас третьей парадигмы [5, 6, 11] и теорией хаоса и самоорганизации — это иллюзия противоречивости, так как и Хакен, и Пригожин оставались в рамках понятий и определений ДСП [11–16]. В разрабатываемой сейчас теории хаоса–самоорганизации [5, 6, 11] нами постулируется, что хаос — это главнейшее свойство живых систем, равно как и самоорганизация, а вместе они образуют жизнь как антиэнтропийный процесс (по крайней мере, здесь энтропия ведет себя иначе, чем в ДСП-системах). Хаос и порядок (за счет самоорганизации), определенность и неопределенность, предсказуемость и принципиальная непредсказуемость (для живых систем) — все это составляет основу нового подхода, который должна развить и биофизика, и физика (как фундамент науки о живых системах), и новые научные направления, которые мы определяем как теорию хаоса–самоорганизации [11–16]. Именно на то обращал внимание и М. Gell-Mann в своем известном выступлении по проблеме непредсказуемости [17].

1. В чем отличие систем третьего типа (сложных биосистем) от традиционных физических, химических и технических систем?

Сразу отметим, что попытки выделить и описать системы третьего типа [5, 6, 11–16] производились давно. Если не считать ученых древней Греции («Все течет, все изменяется») и Китая (Конфуций и даосизм), то все разработчики общей теории систем (А. Богданов, Т. Котарбинский, Л. фон Берталанфи, Н. Винер и др.) многократно пытались формализовать описание СТТ, так как без этих систем нет живой природы, нет социумов, общества, нет теории сложных систем. Наиболее кратко и футурологически верно всю эту ситуацию описал Warren Weaver в своей выдающейся по качеству прогноза статье «Science and Complexity» [10]. Однако за прошедшие 66 лет с момента ее опубликования ничего существенного в науке в плане глобализации и всеобщего признания не произошло. Именно об этом один из авторов этих строк высказался в журнале «Emergence: Complexity and Organization» в память об этом выдающемся ученом, которого можно поставить в один ряд с Шенноном и Пригожиным [16]. Все современные достижения в изучении complexity остаются в рамках ДСП, а решение трех задач, указанных во введении (признание СТТ, создание их моделей и возможности прогноза, практическое внедрение методов теории хаоса–самоорганизации и других технологий на базе СТТ), остается без вни-

мания. Возникает вопрос: это постоянное состояние всей нашей российской биологической (биофизической) науки? Таков удел всех наших достижений (вспомним непризнанные приоритеты в области изучения автоволновых процессов, алгоритма обучения нейроэмуляторов и т. д.)? Мы что-то создаем и демонстрируем первые, а потом приоритеты отдаются другим?

Ответы на эти вопросы мы увидим в ближайшем будущем, а сейчас рассмотрим, в чем принципиальное отличие СТТ от ДСП-систем. При этом не будем детально останавливаться на особых свойствах СТТ и их 13 отличий от ДСП-объектов, так как все это было уже изложено в предыдущих работах авторов и наших коллег [11–16], а выделим принципиальный момент, связанный с понятием науки вообще и борьбой с ненаукой в частности. И. Р. Пригожин в своем обращении к потомкам [9] указывал, что наука не занимается уникальными системами. С позиций ДСП (и третьей парадигмы, которая все это систематизировала [5, 6, 11, 16]) следует, что наука занимается повторяющимися, воспроизводимыми объектами, процессами, системами, которые можно описывать формальным аппаратом (наука требует моделей и математики) и на основе этих первых трех принципов (научности знаний) наука должна обеспечить прогноз будущего (при этом не отрицается возможность релятивизма, т. е. отрицания предыдущих моделей, теорий, прогнозов) [2, 11, 15, 16].

Все эти пять принципов или свойств (повторяемость, воспроизводимость, формализация (моделируемость), прогнозируемость и релятивизм) являются необходимыми атрибутами любых научных знаний, а уникальные биологические процессы, действительно, под это все не попадают. Однако они, т. е. уникальные системы и процессы, реально существуют и находятся в природе в большинстве (это все живые и социальные системы, биосфера Земли, Вселенная). ДСП-системы не столь всеобщы и существуют локально (вообще говоря, в пределах наших допущений). При этом для СТТ отсутствует любая возможность произвольного (по желанию экспериментатора) или непроизвольного (повторяющиеся самостоятельно процессы в природе) воспроизведения не только промежуточных, но и конечных значений вектора состояния системы $x = x(t) = (x_1, x_2, \dots, x_m)^T$ в фазовом пространстве состояний, а также и любого начального состояния $x = x(t_0)$. Иными словами, ни $x(t_0)$, ни $x_i(t)$, как любые промежуточные значения вектора состояния, ни конечное состояние $x(t_k)$ для СТТ неповторимы и невозпроизводимы в принципе. Все это их существенно отличает от систем, изучаемых в физике, химии, технике. Однако уже в рамках компартментно-кластерной теории биосистем удалось создать новую теорию устойчивости биосистем, теорию идентификации степени синергизма в биосистемах и три

новых метода идентификации параметров порядка (они отсутствуют в ДСП полностью) [18–25].

Для СТТ справедлив 2-й постулат теории хаоса–самоорганизации: любое конкретное состояние биосистемы (точка в m -мерном фазовом пространстве) произвольно не повторяемо и не воспроизводимо. Более того, любое $x_i(t)$ непрогнозируемо, а это уже свойство хаотических систем, как отмечал М. Гелл-Манн в своем известном выступлении [17]. Повторяемые и воспроизводимые системы с хаотической динамикой движения их вектора состояния в фазовом пространстве не являются объектом моделирования в ДСП (здесь тогда необходимо иметь возможность воспроизведения хотя бы начального состояния вектора $x(t_0)$). Второй постулат теории хаоса–самоорганизации (или свойство непрерывного мерцания) принципиально отделяет СТТ от ДСП, но еще больший водораздел составляет свойство самоорганизации, которое обеспечивает хаотическую динамику вектора состояния в пределах определенных объемов V_G фазовых пространств состояний. Эти V_G мы представляем как квазиаттракторы (КА), и они являются количественной характеристикой не только поведения, но и конкретного состояния СТТ [5, 6]. Более того, на базе понятия КА мы сейчас вводим некоторые аналоги принципа неопределенности Гейзенберга, общеизвестного в физике элементарных частиц, которые все-таки в физике можно описывать стохастическими функциями (в отличие от СТТ, где стохастика неэффективна) [5, 6, 16].

В теории хаоса–самоорганизации постулируется, что долго удерживать биосистему в пределах КА невозможно (из-за 3-го свойства СТТ — эволюции), так как сами КА хаотически движутся в фазовом пространстве (это движение образует макрохаос, или хаос второго рода в других временных интервалах) [11–25].

Одновременно любая СТТ имеет компартментно-кластерную структуру, которую на молекулярном уровне с 1982 г. развивает Г. Р. Иваницкий с коллегами, вводя понятия иерархичности и дискретности в правило БИО (биолого-иерархического отбора), и с 1969 Н. Накеп, развивая синергетику для макро-систем. Специально для первого постулата Н. Накеп (мы не работаем с отдельными элементами системы, а только с пулами (кластерами, компартментами)) одним из авторов настоящего сообщения была разработана компартментно-кластерная теория биосистем [16–25], которая математически реализовала только один (первый) принцип теории хаоса — самоорганизации из всех пяти, которые декларируются в рамках третьей парадигмы [11, 16]. Однако уже реализация только этого принципа обеспечила получение целого ряда новых результатов в идентификации стационарных режимов СТТ, свойств их синергизма, параметров порядка и ряда других свойств, которые

сейчас отсутствуют в ДСП для описания complexity [11–16, 17–28].

В целом эти пять принципов (или свойств СТТ) в виде: компартментно-кластерной организации, glimmering property, эволюции, телеологичности и возможности выхода за пределы 3 сигм (имеются примеры выхода за 20 сигм) — все эти базовые пять свойств приводят физику и биофизику к необходимости признания реальности СТТ. Эти пять свойств, их отличия от ДСП-систем, требуют особых теорий и моделей для описания и прогноза СТТ. В рамках третьей парадигмы и разрабатываемой сейчас теории хаоса–самоорганизации такие модели строятся и используются в практической работе врача, биолога-исследователя. Основу здесь составляет расчет параметров порядка, которые в медицине можно трактовать как наиболее важные диагностические признаки x_i , составляющие координаты вектора состояния системы $x = x(t) = (x_1, x_2, \dots, x_m)^T$. Последний находится в непрерывном и хаотическом движении в пределах некоторых ограниченных объемов фазовых пространств состояний, которые в разрабатываемой нами теории хаоса–самоорганизации мы определяем как квазиаттракторы. Как вводятся эти понятия и в чем их отличия и сходство с общепринятыми в физике понятиями? На эти вопросы мы уже отвечали в [5, 6, 15, 16] и поэтому остановимся здесь кратко. Более подробно с некоторыми практическими приложениями можно ознакомиться в ряде публикаций авторов [11, 16, 18–33].

Итак, в рамках теории хаоса–самоорганизации сейчас постулируется непрерывное хаотическое движение вектора $x(t)$ в фазовом пространстве состояний, но за счет самоорганизации биосистем это движение происходит в пределах КА. Смысл КА несколько подобен смыслу частоты $P^*(A)$ события A , которая может представлять вероятность события A , т.е. $P(A)$, но в рамках теоремы Бернулли это представление весьма приблизительное (особенно при малых выборках). Для нормального распределения частота $P^*(A)$ сходится по вероятности к вероятности $P(A)$. Однако если в рамках детерминистско-стохастического подхода число испытаний мы можем повторять сколь угодно большое число раз n (т.е. $n \rightarrow \infty$), то в теории хаоса–самоорганизации любая сложная биосистема не может долго находиться в пределах одного КА. С течением времени сам КА, его параметры эволюционируют (вместе с эволюцией самой биологической динамической системы). Эта эволюция (движение КА в фазовом пространстве) носит хаотический характер и в теории хаоса–самоорганизации мы постулируем наличие двух видов хаоса — двух темпоральных видов: как кратковременное мерцание (микрохаотическое движение вектора состояния в фазовом пространстве за период времени τ) в пределах краткосрочного КА, а на больших интервалах времени T ($T \gg \tau$) как эволюцию КА в фазовом пространстве,

при которой конечное состояние биосистемы полностью не определено (нет информации о моменте прекращения жизни объекта, о его состоянии перед смертью). При этом сам КА «дрейфует» в другие области фазового пространства и этот дрейф демонстрирует макрохаотическую динамику СТТ [11, 16].

В целом для любых живых организмов невозможно повторить дважды не только конечное состояние ($x(t_k)$), но и любое начальное состояние ($x(t_0)$). Все сложные биосистемы являются уникальными системами, о которых И.Р. Пригожин говорил как об объектах, не изучаемых наукой [9]. Однако сейчас в рамках теории хаоса–самоорганизации мы такие СТТ исследуем, описываем параметрами квазиаттракторов и изучаем динамику эволюции этих КА в фазовом пространстве состояний на больших интервалах времени T . В этой связи возникает базовый вопрос: как теория хаоса–самоорганизации связана с традиционной ДСП-наукой или имеются ли какие-либо отличия между физикой, химией, техникой и теорией хаоса–самоорганизации? Для ответа на этот вопрос достаточно рассмотреть два базовых понятия квантовой физики: определенность (или неопределенность) и прогнозируемость (или непрогнозируемость) [5, 6, 9, 15, 16].

2. Квазиаттракторы в теории хаоса–самоорганизации и их физические аналогии

В своем известном выступлении М. Гелл-Манн [17] акцентировал внимание на возможности прогнозируемости (или непрогнозируемости) в динамике сложных систем. При этом в квантовой механике имеются принципиальные ограничения на динамику поведения сопряженных (для биосистем это обычные фазовые координаты x_i любого вектора состояния) физических величин в виде условия неопределенности Гейзенберга [5, 6]. Например, для фазовых координат в виде координаты частицы $x_1 = x$ и ее скорости $x_2 = dx/dt$ в фазовом пространстве вектора $x(t) = (x_1, x_2)^T$ мы имеем нижнюю границу $\Delta x_1 \Delta x_2 \geq \hbar/4\pi$. В терминах ТХС это означает наличие некоторого объема фазового пространства — квазиаттрактора (КА), площадь которого ограничивает движение x_1 и x_2 снизу за счет особых свойств элементарных частиц (их неопределенности, которая характерна и для СТТ).

Для биологических динамических систем мы также имеем сходные ограничения, но обычно и снизу, и сверху, т.е. существуют нижние границы квазиаттрактора $\Delta S_{\min} = \Delta x_1^1 \Delta x_2^1$ и верхние границы квазиаттрактора $\Delta S_{\max} = \Delta x_1^2 \Delta x_2^2$. Нижние и верхние границы КА определяют динамику поведения конкретного объекта (биосистемы) и являются характеристикой самого биообъекта. При этом теряется универсальность, свойственная физическим объектам (принцип неопределенности универсален для всех элементарных частиц). В теории хаоса–самоорганизации постулируется: все биосистемы уни-

кальны и для них необходимо определять индивидуальные параметры (КА, их динамику изменения). Иными словами, биофизика отличается от физики индивидуальностью систем, но понятие КА можно ввести и в физике, и в биофизике. Всегда для биосистем можно определить объемы фазовых пространств, внутри которых происходит непрерывное хаотическое движение вектора состояния конкретной биосистемы. И если в физике компонентами этого вектора могут быть сопряженные величины (например, координата положения частицы $x_1 = x(t)$ и ее импульс (он содержит скорость $x_2 = dx_1/dt$ при условии, что массу конкретной частицы гипотетически мы нормируем, т.е. $m = 1$)), то для биологических систем мы имеем множество примеров такого же фазового пространства с координатами x и dx/dt . В частности, для треморограмм, кардиограмм, электроэнцефалограмм и электромиограмм мы вводим $x = x(t) = (x_1, x_2, \dots, x_m)^T$ в виде аналогичной обобщенной координаты (x_1) и скорости (x_2). Для многих других типов фазового пространства мы повышаем размерность фазового пространства ($m > 2$) и получаем некоторый критический (ограничивающий) объем граничного квазиаттрактора в виде произведений вариационных размахов Δx_i :

$$V_G = \prod_{i=1}^m \Delta x_i. \quad (1)$$

В целом с математической точки зрения мы вводим понятие квазиаттрактора в виде следующего определения: квазиаттрактор — ненулевое подмножество Q фазового m -мерного пространства D ($l = 1, m$) динамической биологической системы, являющееся объединением всех значений $f(t_i)$ состояния биологической динамической системы на конечном отрезке времени $[t_j, \dots, t_e]$ ($j \ll e$), где t_j — начальный момент времени, а t_e — конечный момент времени состояний БДС:

$$Q = \bigcup_{l=1}^m \bigcup_{i=j}^e f^l(t_i); \quad (2)$$

где m — количество пространственных измерений, $Q \neq 0$; $Q \in D$.

В качестве основной меры квазиаттрактора используется объем (V_G) области Q m -мерного пространства, внутри которого заключены все значения $f(t_i)$ состояния биологической динамической системы в промежутке времени $[t_j, \dots, t_e]$:

$$V_G = \text{mes}(Q) = \prod_{i=1}^m (\max(f^l(t_j), \dots, f^l(t_e)) - \min(f^l(t_j), \dots, f^l(t_e))). \quad (3)$$

Во многих случаях координатами фазового пространства могут быть просто биохимические параметры крови или других биологических жидкостей, параметры гомеостаза в целом. Любые параметры вектора состояния организма человека, которые

характеризуют гомеостаз организма человека, могут образовывать m -мерное фазовое пространство состояний, внутри которого мы будем наблюдать хаотическое и непрерывное движение этого вектора. При этом для каждого организма и для каждого особого состояния этого организма (находящегося в состоянии нормогенеза гомеостаза или в состоянии патогенеза) мы будем иметь свои константы ограничения на параметры квазиаттракторов (объемы Q , внутри которых хаотически движется $x(t)$). При этом КА будет являться некоторым аналогом частоты события $P^*(A)$, но истинный аттрактор $x(t)$ мы никогда не определим из-за эволюции сложной биосистемы [5, 6].

Хаос биосистем фундаментален, но параметры этого хаоса в виде констант V_G являются реальными характеристиками физического (психического, экологического) состояния любой функциональной системы организма человека и гомеостаза в целом [5, 6, 16].

Сохраняя идеологию квантовой физики в виде ограничений на размеры аттракторов ($\Delta x_1 \Delta x_2 \geq h/4\pi$), мы для каждой биосистемы будем иметь свои особые значения аналогов $h/4\pi$, которые мы сейчас будем обозначать как V_G . Эти значения V_G (константы биосистем для их конкретного состояния) при этом будут характеристиками постоянными, т. е. они будут характеризовать данный организм (конкретный $x(t)$) и условия, в которых данная биосистема находится. Это не универсальные физические константы, а постоянные величины для данного организма, находящегося в данных физических, химических, экологических условиях (или в данных условиях нормогенеза или патогенеза). Сколько человек на Земле, столько будет таких биоконстант V_G для каждой особой биосистемы (системы регуляции тремора, состояния мозга данного человека — его электроэнцефалограммы, его электромиограммы, его биохимических показателей крови). С этого начинается индивидуальная медицина, психология, физиология, экология человека [11, 16].

Ограничения на параметры квазиаттракторов для реальных биосистем при этом мы будем накладывать не только снизу, но и сверху, т. е. можем представлять две константы $V_{G\min}$ и $V_{G\max}$, если биосистема претерпевает какие-либо внутренние изменения. Например, по конкретной треморограмме мы всегда можем указать верхнюю границу $\Delta x_1 \Delta x_2 < V_{G\max}$. Однако при этом будет существовать и нижняя граница в регистрируемой треморограмме, так как Δx_1 и Δx_2 не могут принимать нулевые значения, $\Delta x_i \neq 0$. Нулевые значения интервала любой фазовой координаты x_i любой биосистемы обозначают переход от жизни к смерти, когда все градиенты выравниваются и организм становится обычным термодинамическим объектом (достигает максимума энтропии) [9–13]. При этом для не живых систем будет $dx/dt = 0$, что для живых СТТ невозможно!

Стремление к термодинамическому равновесию — базовое свойство физического тела, а живые системы, конкретно СТТ, должны уходить от таких стационарных значений. Для живых систем энтропия S должна минимизироваться, а число управлений, сложность и упорядоченность (за счет самоорганизации) должны нарастать, как это отмечают и Г. Р. Иваницкий [1] и В. В. Смолянинов [2]. Чем больше внутренних связей и управляющих контуров, тем сложнее система и тем дальше она отстоит от термодинамического равновесия, особенно если эта система обладает памятью, как отмечается в [1]. Неравновесность, хаос вместе с самоорганизацией, нарастание сложности и число внутренних связей и состояний — это характеристики жизни [2]. Рекордсменом таких систем (с памятью!) является мозг человека, который, по нашим расчетам, имеет число состояний, превышающих 10^{100} , так как последние годы произошла переоценка общего числа нейронов мозга (из-за мозжечка). Огромное число независимых состояний нейросетей мозга порождает огромное число (разнообразие) управляющих воздействий на эфферентные системы. Последние, в свою очередь, и сами тоже могут демонстрировать бесконечное (собственное) разнообразие своих состояний и поведения $x(t)$ в фазовом пространстве. Хаос нейросетей мозга (но в пределах квазиаттракторов) как систем управления порождает хаос в управляемых системах и никакой определенности и прогнозируемости мы для СТТ получить в принципе не можем. В этом заключается некоторая общность с динамикой поведения элементарных частиц: их аттракторы (объемы ФПС) известны, но конкретное состояние не имеет смысла, а состояние покоя, когда $dx/dt = 0$, для частицы недостижимо, как и для любой СТТ (всегда $dx/dt \neq 0$!). Недостижимость нуля для СТТ аналогична недостижимости абсолютного нуля в физике, и это является еще одним аналогом для биосистем, так как для них абсолютный покой (в виде $dx/dt = 0$) соответствует смерти организма — потери свойств живого. Сложные живые системы должны находиться в непрерывном движении по своим фазовым координатам, но в пределах квазиаттракторов. Представим практические примеры использования такого подхода.

3. Параметры квазиаттракторов в биомедицине: диагностика и прогноз

Поскольку в рамках нового подхода в изучении СТТ мы доказываем существование непрерывного хаотического движения вектора состояния $x = x(t)$ любой сложной биосистемы, в том числе и биомеханической, как сложной системы (complexity), то это означает отсутствие стационарных режимов биосистем в принципе (т. е. $dx/dt \neq 0$ всегда) и принципиальной невозможности любого произвольного движения. Например, человек пытается удержать в данной точке пространства палец, к которому прикреплен металлическая пластина, взаимодей-

ствующая с токовихревым датчиком, но стационарный режим (в виде $dx/dt = 0$) неосуществим для такой биосистемы. Это означает, что произвольное движение (в данном случае произвольное (по цели) удержание пальца в точке пространства) не может быть в принципе реализовано произвольно — оно реализуется хаотически, в виде $dx/dt \neq 0$. Аналогично мы имеем картину хаотической динамики и при теппинге, когда испытуемый в максимальном по скорости режиме совершает периодические колебательные движения пальцем. По цели теппинг — это произвольное движение, но по реализации — характерный пример хаотического движения [3]. В целом в рамках теории хаоса-самоорганизации мы постулируем непрерывную хаотическую динамику поведения вектора состояния в фазовом пространстве, но в пределах квазиаттракторов для любых биосистем [5, 6, 11–16].

Возникает вопрос об информационной значимости параметров измерения хаоса в таких (якобы произвольных) движениях. Целью серии таких исследований было доказательство информационной значимости измерения параметров хаоса в оценке якобы (в трактовке современной биомеханики и физиологии) произвольных движений — теппинга и на основании разрабатываемого нового метода измерений параметров движения демонстрация клинической значимости подобных измерений для идентификации нормы и патологии. Одновременно мы демонстрируем произвольность любого «произвольного» движения человека!

Испытуемому предъявлялось два типа заданий по произвольному движению пальца в вертикальном направлении (теппинг). В первом случае палец испытуемого должен был касаться поверхности токовихревого датчика, который взаимодействовал с пластиной (крепится к кончику пальца). Фактически испытуемый ударял этой пластиной по поверхности датчика и эти движения производились с максимально возможной частотой движения в вертикальном направлении. Во втором случае испытуемый не должен был касаться поверхности датчика, двигая пальцем по вертикали с максимальной частотой.

Фактически эти два движения различаются степенью произвольности: в первом случае имеется физическое ограничение в нижней точке (из-за удара о датчик), во втором случае степень произвольности резко возрастает, здесь уже произвольно (по цели) испытуемый ограничивает движение пальца сам как в верхней точке, так и в нижней. С физической точки зрения испытуемый имеет одну степень свободы, т. е. по оси y . Однако движение в первом случае жестко управляется (ограничивается) в нижней точке, а во втором испытуемый произвольно ограничивает движения пальца и в нижней, и верхней точке. При этом наша экспериментальная установка прецизионно регистрирует и координату $x_1 = y(t)$, и координату $x_2 = dy(t)/dt$. Однако на фазовой плоскости

строились фазовые траектории, которые ограничивались прямоугольником сверху $\Delta S = \Delta x_{1 \max} \Delta x_{2 \max}$, где отрезки по осям x_1 и x_2 определялись как границы интервалов измерения координат x_1 и x_2 (рис. 1, 2).

Исходя из принципов теории хаоса-самоорганизации, которые мы изложили ранее [5, 6, 11, 16], мы постулируем, что предельные площади квазиаттракторов ΔS являются индивидуальными характеристиками каждого испытуемого (они зависят и от физиологического, психического, физического состояния обследуемого). С физической точки зрения эти параметры $x(t)$ — биологический аналог для принципа неопределенности Гейзенберга, когда на сопряженные координаты (x и dx/dt) вводится ограничение не сверху, а снизу [5, 6]. В соотношении Гейзенберга известное неравенство может быть индивидуальным для каждого объекта, если его массу m перенести в правую часть неравенства и записать

$$\Delta x \Delta v \geq h/(4\pi m), \quad (4)$$

где $x = x_1$ — координата, $v = x_2$ — скорость изменения этой координаты.

Таким образом, аналогии между квантовой механикой и теорией хаоса-самоорганизации весьма выразительны и основываются на неопределенности координаты и скорости объекта, которые эквивалентны координате и скорости изменения параметра любого биологического объекта. При этом неравенство (4) имеет выраженный индивидуальный смысл (для каждой частицы с массой m имеем свой предел аттрактора неопределенности в виде $h/4\pi m$). Применительно к теппингу (впрочем, и для тремора, и для любых других, якобы «произвольных», движений) мы получаем сходную картину в виде индивидуальных квазиаттракторов V_G .

При частичном ограничении (за счет поверхности датчика) «произвольности» движения, мы должны констатировать два важных результата. Во-первых, любой такой теппинг для любого человека на планете Земля принципиально как в виде механограммы, так и ее амплитудно-частотной характеристики (АЧХ) неповторим, невозпроизводим, непредсказуем. Иными словами, мы не сможем воспроизвести (точно) эти произвольные движения как физический процесс. На рис. 1 представлены примеры механограмм (A) двух испытуемых без физических ограничений (слева испытуемый D — без патологий и внешних воздействий, т. е. при теппинге он не касается плоскости датчика, и справа испытуемый C с патологией — болезнь Паркинсона). Ниже механограмм представлены фазовые плоскости (B) для этих испытуемых (с величинами площадей КА S_{WD} и S_{WC}).

Параметры квазиаттракторов для испытуемых D и C (для теста без ограничений рис. 1) имеют значения $S_{WD} = 3.21 \cdot 10^{-5}$ и $S_{WC} = 1.08 \cdot 10^{-4}$ соответственно. На рис. 2 представлены результа-

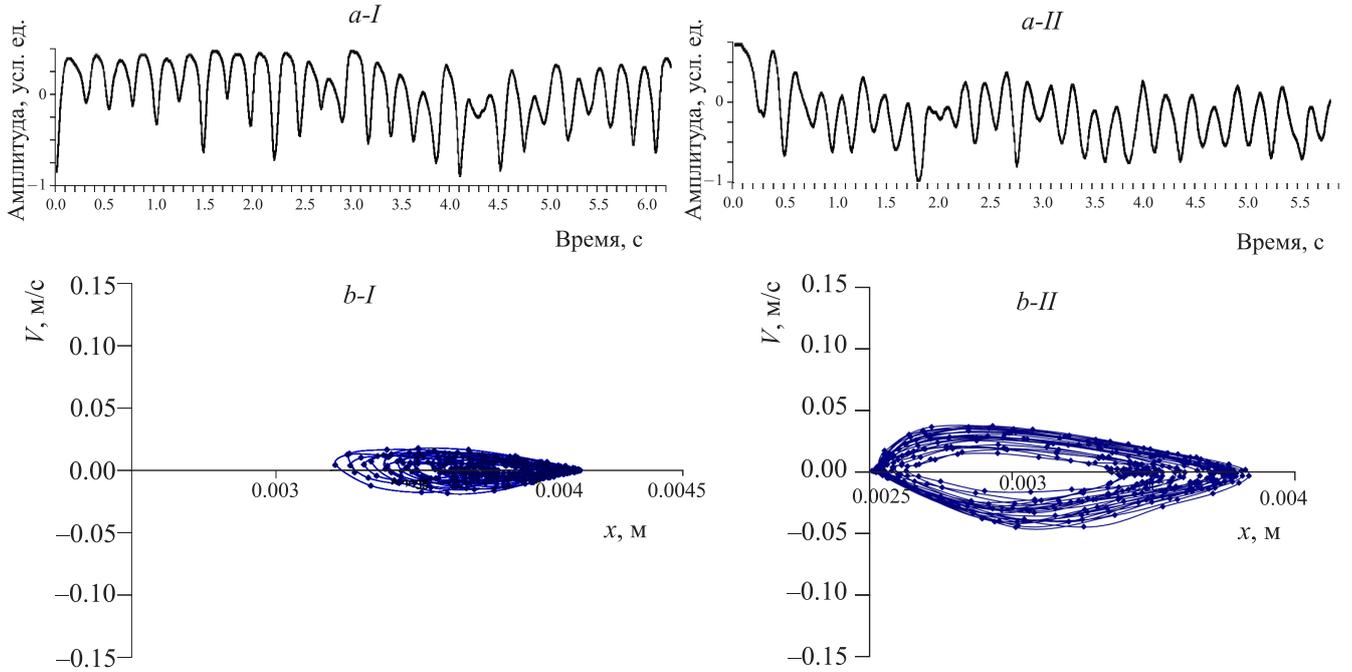


Рис. 1. а — регистрируемый сигнал теппинг-теста без физических ограничений ($S_{WD} = 3.21 \cdot 10^{-5}$); б — фазовая плоскость вектора c координатами x_1, x_2 , где $x_1 = x_1(t)$ (X, м) и $x_2 = dx_1/dt$ (V, м/с), для испытуемых: I — испытуемый D, возраст 30 лет, без патологий; II — испытуемый С, возраст 48 лет, диагноз — болезнь Паркинсона ($S_{WC} = 1,08 \cdot 10^{-4}$)

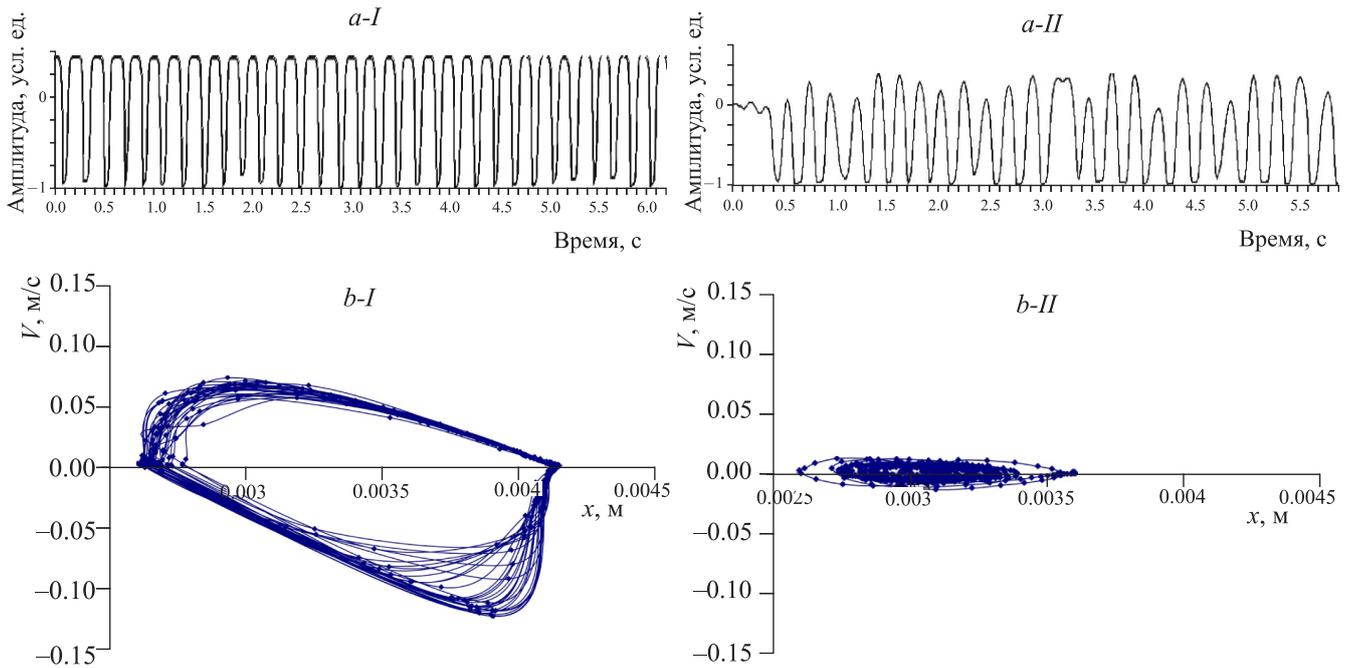


Рис. 2. а — регистрируемый сигнал теппинг-теста в условиях физических ограничений (в виде удара пальца о поверхность датчика; $S_{FD} = 3.33 \cdot 10^{-4}$); б — фазовая плоскость вектора c координатами x_1, x_2 , где $x_1 = x_1(t)$ (X, м) и $x_2 = dx_1/dt$ (V, м/с), для испытуемых: I — испытуемый D, возраст 30 лет, без патологий; II — испытуемый С, возраст 48 лет, диагноз — болезнь Паркинсона ($S_{FC} = 2.27 \cdot 10^{-5}$)

ты для этих же испытуемых, но при ограничении в нижней части движения по координате $y = x_1(t)$.

Если обозначить S_W — площадь квазиаттрактора для теппинг-теста без физических ограничений, а S_F — площадь квазиаттрактора для теппинг-теста в условиях физических ограничений, то результаты расчета площадей квазиаттракторов для двух этих

тестов показывают следующие закономерности. Численные значения площадей квазиаттракторов для здорового и больного существенно отличаются друг от друга. В частности, у здорового испытуемого площадь $S_{WD} < S_{FD}$, а у испытуемого с диагнозом «паркинсонизм» имеем обратное отношение: $S_{WC} > S_{FC}$. Рассчитав отношение S_W/S_F , получаем следующие

значения: $S_{WD}/S_{FD} = 0,1$; $S_{WC}/S_{FC} = 4.76$. В результате исследований выяснилось (при сравнении здоровых испытуемых и испытуемых с диагнозом «паркинсонизм»), что для здоровых испытуемых всегда $S_W/S_F < 1$, а для испытуемых с диагнозом «паркинсонизм» $S_W/S_F > 1$. Мы провели серии опытов в рамках различных исследований и выяснили с позиций теории хаоса–самоорганизации, что имеются существенные и закономерные различия между теппингом у человека без двигательных патологий и человеком с нарушением двигательных функций (например, при болезни Паркинсона). Фазовые портреты теппинга у здорового человека и у больного паркинсонизмом различаются на порядок в абсолютных и относительных величинах (см. рис. 1, 2).

Подобный подход продемонстрировал свою эффективность применительно к различным патологиям организма человека и исследованиям различных воздействий на организм человека. В частности, изучалось влияние алкоголя, акустических сигналов, статической и динамической нагрузок, температурных перепадов на параметры тремора, теппинга и других компонент ВСС для человека в различных состояниях. Фактически это были параметры хаотической динамики вектора состояния в фазовом пространстве [26–33].

Поскольку теппинг и тремор по своим параметрам — это примеры механических систем (обычные физические характеристики их динамики), то уместно представить примеры других биосистем, но в рамках анализа квазиаттракторов. В целом, следует отметить, что все параметры гомеостаза (включая и биохимические показатели) демонстрировали хао-

тическую и закономерную динамику, которая измерялась параметрами КА. Для примера представим практическое использование аналога принципа неопределенности для биосистем при изучении работы сердца.

У испытуемых исходно регистрировались параметры кардиоинтервалов в спокойном состоянии (при отсутствии выраженных воздействий) и после употребления алкогольного напитка в объеме 250 мл с содержанием спирта 4.2%. Через 5 мин после употребления алкогольного напитка повторно регистрировались параметры сердечно-сосудистой системы (момент первичного алкогольного опьянения). Информация о состоянии параметров variability сердечного ритма была получена с использованием пульсоксиметра ЭЛОКС-01М. В устройстве ЭЛОКС-01М используется фотооптический датчик, с помощью которого регистрируется пульсовая волна с одного из пальцев испытуемого в положении сидя, в течение интервала 5 мин. Данные обрабатывались методами теории хаоса–самоорганизации (кардиоинтервалы преобразовывались в непрерывную кривую (рис. 3, а)). Были рассчитаны площади квазиаттракторов ($S = \Delta x_1 \Delta x_2$) для оценки уровня variability сердечных сокращений. В качестве основного параметра $x_1(t)$ были взяты значения межпульсовых интервалов сердечных сокращений — кардиоинтервалы, $x_2(t) = dx_1/dt$, Δx_i — вариационные размахи.

Полученная реакция сердечно-сосудистой системы человека в ответ на воздействие слабоалкогольных напитков в виде значений S является сейчас характерным тестом на раннее алкогольное опьяне-

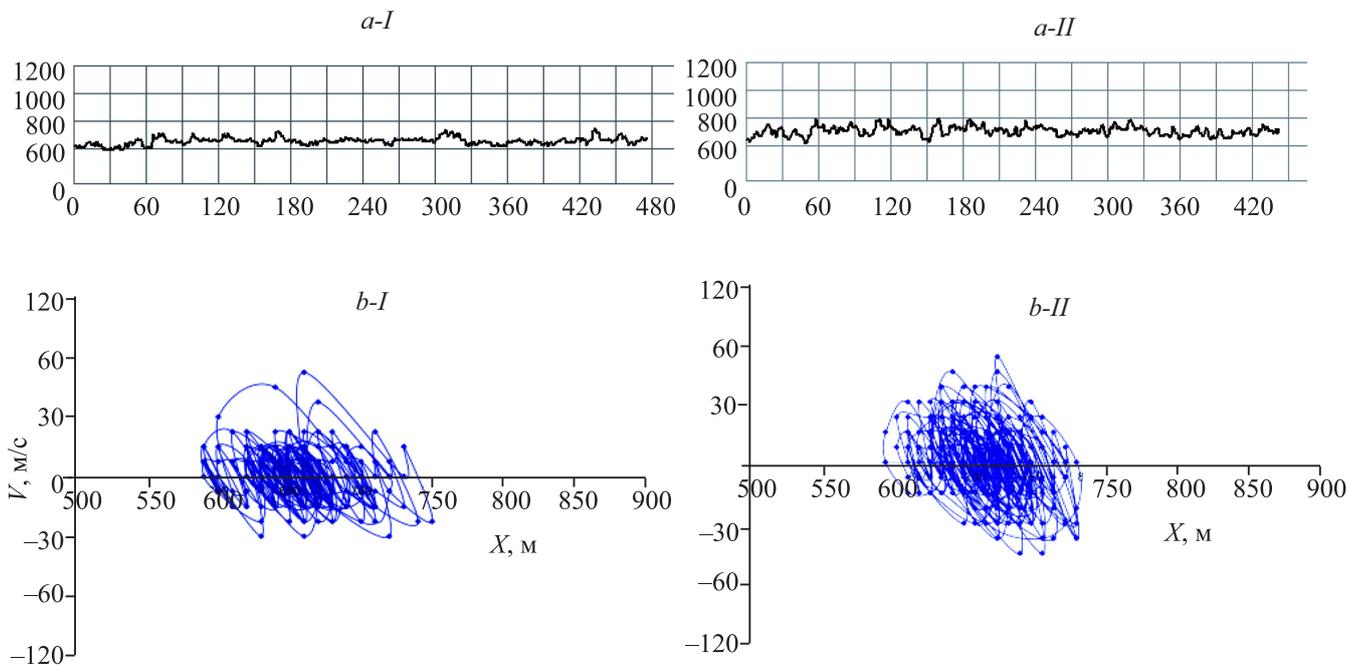


Рис. 3. а — ритмограмма кардиоинтервалов по данным пульсоинтервалографии (NN — длительность кардиоинтервала, мс); б — фазовый портрет сигнала на плоскости с координатами x_1 (X , м), $x_2 = dx_1/dt$ (V , м/с), для испытуемого Yu : I — до употребления алкоголя ($S_1 = 17600$); II — через 5 мин после употребления 250 мл слабоалкогольного напитка ($S_2 = 22100$)

ние (для такого теста применимы даже мобильные телефоны). На рис. 3 представлена реакция сердечно-сосудистой системы человека при воздействии слабоалкогольных напитков в сравнении с состоянием без такого воздействия. Бытует мнение, что малые дозы алкоголя несущественны для организма, но параметры КА говорят об обратном.

Из рис. 3 видно, что на втором этапе исследования квазиаттрактор расширился и повысилась вариабельность сердечных сокращений (это можно видеть и по ритмограммам на рис. 1). До употребления слабоалкогольного напитка площадь КА $S_1 = 17\,600$, после употребления слабоалкогольного напитка площадь КА увеличилась до $S_2 = 22\,100$. В рамках теории хаоса-самоорганизации увеличение площади свидетельствует об увеличении в системе регуляции уровня вариабельности, что связано с характером действия алкоголя на сердечно-сосудистую систему.

В результате многочисленных проведенных исследований в различных областях биофизики сложных систем, биомеханики, физиологии спорта, психофизиологии, различных разделах медицины [11–16, 26–31] были показаны значительные изменения в динамике поведения различных параметров функциональных систем организма человека и гомеостаза в целом в рамках теории хаоса-самоорганизации. При разных воздействиях на организм, в состоянии нормы или патологии самые значительные изменения наблюдаются при измерении именно параметров квазиаттракторов.

При физических воздействиях на слуховые или зрительные анализаторы (шум, резкие изменения освещенности, физические нагрузки и т. д.) размеры квазиаттракторов, как числовые характеристики хаотической динамики поведения биомеханических систем (тремор, теппинг), ритмов сердца, электроэнцефалограмм, миограмм и многих других диагностических признаков (измеряются в физиологии, медицине), могут реально характеризовать норму или патологию. Хаотическая динамика поведения параметров (компонент x_i) вектора состояния организма человека — важнейшая характеристика любых живых систем (и не только человека). Хаос биосистем — их основное свойство, а аналог принципа неопределенности Гейзенберга в биологии и медицине (в виде неопределенности вектора состояния в фазовом пространстве) реально может быть использован для диагностики и измерения: степени тренированности или детренированности в спорте [23, 24], идентификации нормы и патологии [25, 26] психического и психофизиологического статуса человека, находящегося в условиях стресса [27] или при широтных перемещениях [28].

Параметры квазиаттракторов, расчет матриц межаттракторных расстояний для различных групп испытуемых (или больных с различной тяжестью заболевания) сейчас активно используются в медицине, физиологии, психологии. Количественные

характеристики непрерывного хаоса — важные диагностические параметры состояния любых сложных биосистем.

4. Возможные механизмы микрохаоса биосистем заключены в особой динамике нейросетей мозга

Поскольку все указанные системы находятся под управлением нейронных структур мозга, то закономерно поставить вопрос о хаосе в нейросетях мозга. Для объяснения реальности хаоса в работе мозга рассмотрим только один пример влияния управляющих воздействий мозга на постуральный тремор. Подчеркнем, что задача удержания конечности в пространстве (именно так мы и наблюдаем тремор человека) является частью общей задачи любого двигательного акта. Перемещение руки человека в пространстве, которое мы физиологически рассматриваем как произвольное движение, на самом деле состоит из набора задач удержания руки в последовательно изменяющихся, условно фиксированных точках пространства. Иными словами, совершая рукой произвольные движения (в соответствии с нашим произвольным выбором цели) мы можем в каждой точке пространства зафиксировать руку и наблюдать эффект постурального тремора (в каждой точке траектории произвольного движения). В этой связи размеры квазиаттракторов, их параметров в целом для каждой такой условно фиксированной точки будут различны. Именно этим и объясняется общий хаос якобы произвольного движения, произвольность которого заключается в цели, но в самом выполнении действия мы имеем абсолютную непроизвольность, т. е. хаос. Реально любое движение при детальном рассмотрении является суммой произвольного и непроизвольного движения, т. е. хаоса и самоорганизации, которая удерживает хаос в пределах квазиаттракторов, а сами эти квазиаттракторы возникают и изменяются в рамках достижения конечной цели [11–16, 33–40].

Учитывая сказанное, можно утверждать, что постуральный тремор — произвольное движение, так как мы произвольно (по нашему желанию, по командам от мозга) пытаемся удержать конечность в конкретной точке пространства. Вся произвольность определяется конечной целью движения. Если мы с определенной целью (по командам из мозга) пытаемся двигать рукой (ногой, туловищем и т. д.), то нас не интересуют промежуточные состояния биомеханической системы (руки или туловища). В этом двигательном акте нужна цель этого движения, которая произвольна (фактически у человека вся произвольность заключена в выборе цели, а сами движения — сумма произвольности и непроизвольности). Однако характер выполнения любого такого произвольного (якобы) движения будет хаотическим по сути. Это справедливо сразу для двух уровней организации движения: по своей внутренней организации со стороны мозга (там полный самоорганизу-

ющийся хаос) и по характеру выполнения этих задач эффекторными системами. Мышцы всегда хаотически будут выполнять внешне одинаковые (предположительно) движения (реально тремор есть везде). Иными словами, мы всегда можем наблюдать хаос в системе управления — нейросетях мозга и хаос в эффекторных системах (мышцах, например), и это не только в работе мышц, но и во всех системах гомеостаза. Хаос в организме глобален, а «тремор» параметров гомеостаза всего организма является единственной реальностью, которую мы должны изучать и моделировать. До нашего исследования (и создания теории хаоса-самоорганизации) никто в мире не представлял хаос в каждом движении человека и тем более не представлялись методы его измерения.

Если миллион раз человек будет целенаправленно двигать рукой, совершая внешне одно и то же движение, то каждый раз подобное движение будет выполняться по-разному. Из миллиона «одинаковых» движений не будет ни одного подобного (ни по уравнению, ни по исполнению), и все они будут выполняться различным образом. Причина этого хаоса (уникальности в выполнении движений) заключается в уникальности (хаотичности) работы мозга и в хаотичности выполнения команд мозга, т.е. в хаосе работы миофибрилл, двигательных единиц, отдельных мышц, групп мышц. Все это — глобальный хаос, с которым мы столкнулись при изучении более тонкой структуры любого двигательного акта. А начались эти исследования у нас с регистрации работы дыхательных мышц, дыхательных нервов и вообще биомеханических параметров работы всего дыхательного аппарата 40 лет назад. Сейчас ученые Стенфордского университета [3] представляют эти данные как уникальные, но около 30 лет назад мы изучали особые свойства дыхательного центра, мышц, мозга в целом и 30 лет назад была создана специальная компартментно-кластерная теория нейронных сетей мозга [18–25].

Регистрируя отдельные миограммы дыхательных мышц (межреберных мышц или диафрагмы), легко увидеть, что при кажущейся, якобы периодической (и как бы одинаковой) работе дыхательных мышц ни сам мышечный паттерн (интегрированная миограмма, например), ни биоэлектрическая активность дыхательных нервов (инициирующих сокращение дыхательных мышц) никогда не имеют идентичного рисунка. Паттерны всегда все различные и у разных животных в эксперименте, и даже у одного и того же животного. На протяжении всей своей жизни ни один человек не сможет сделать два одинаковых вдоха или выдоха. Мы не можем сделать два одинаковых движения рукой, прожить два одинаковых часа своей жизни. Работа сердца, биохимические параметры крови, гомеостаза в целом имеют всегда свой неповторимый паттерн на любом интервале исследования, свою уникальную динамику измене-

ния любых параметров вектора состояния организма человека $x = x(t) = (x_1, x_2, \dots, x_m)^T$. Иными словами, не бывает не только одинаковых траекторий в фазовом пространстве состояний (хотя они могут и пересекаться, но здесь экспоненты Ляпунова не работают, так как это не тот модельный хаос, который мы имеем в ДСП), но даже и отрезков этих траекторий в фазовом пространстве.

Динамика изменения параметров $x(t)$, т.е. координат x_i , неповторима, невоспроизводима на любом интервале времени τ из всего нашего интервала жизни $[0, T]$, где T — продолжительность жизни каждого человека. Сама продолжительность жизни T каждого из нас — хаотическая величина, так как повторить свою жизнь несколько раз мы не в состоянии. Тогда возникает вопрос: как моделировать такие хаотические системы? И главное — как они вообще работают? Ответ на этот вопрос представлен на примере работы искусственных нейросетей, которые мы использовали (различные нейроэмуляторы) как диагностические системы в биомедицине.

Если любой (а мы использовали 12 типов нейроэмуляторов) искусственной нейросети (нейроЭВМ) представить на вход два набора выборок (образов, параметров $x(t)$ для двух разных групп пациентов) и поставить задачу бинарной классификации, т.е. заставить нейроэмулятор выявить различия между этими двумя обучающими выборками, то нейросеть может решить задачу (если она решаемая) или не решить ее (тогда две группы, две выборки невозможно разделить с помощью нейроэмулятора). Однако если мы будем пытаться выяснить, как нейросеть эту задачу выполнила (т.е. какова при этом была ее внутренняя конфигурация, каковы были веса диагностических признаков x_i , т.е. координат $x(t)$), то мы получим хаотическую картину распределения весов признаков. При каждой новой настройке нейросети (запуск решения задачи заново при одинаковой обучающей выборке) мы будем получать новый набор весов (значимости динамических признаков в идентификации различий между двумя исходными выборками).

Решение задачи разделения групп, т.е. обучающих выборок (задача бинарной классификации) будет выполняться в итоге (по результатам) миллион раз одинаково (группы разделились). Однако одна и та же биологическая нейросеть миллион раз эту задачу будет решать различным образом (веса признаков будут различны). Для иллюстрации сказанному представим пример решения одинаковой задачи бинарной классификации (были взяты две группы пациентов), которая повторялась 50 раз, и 50 раз мы получали разные наборы весовых коэффициентов и разные наборы значимости x_i . В ряде случаев получалось даже, что отдельные признаки вообще не требовались для разделения этих двух групп (рис. 4).

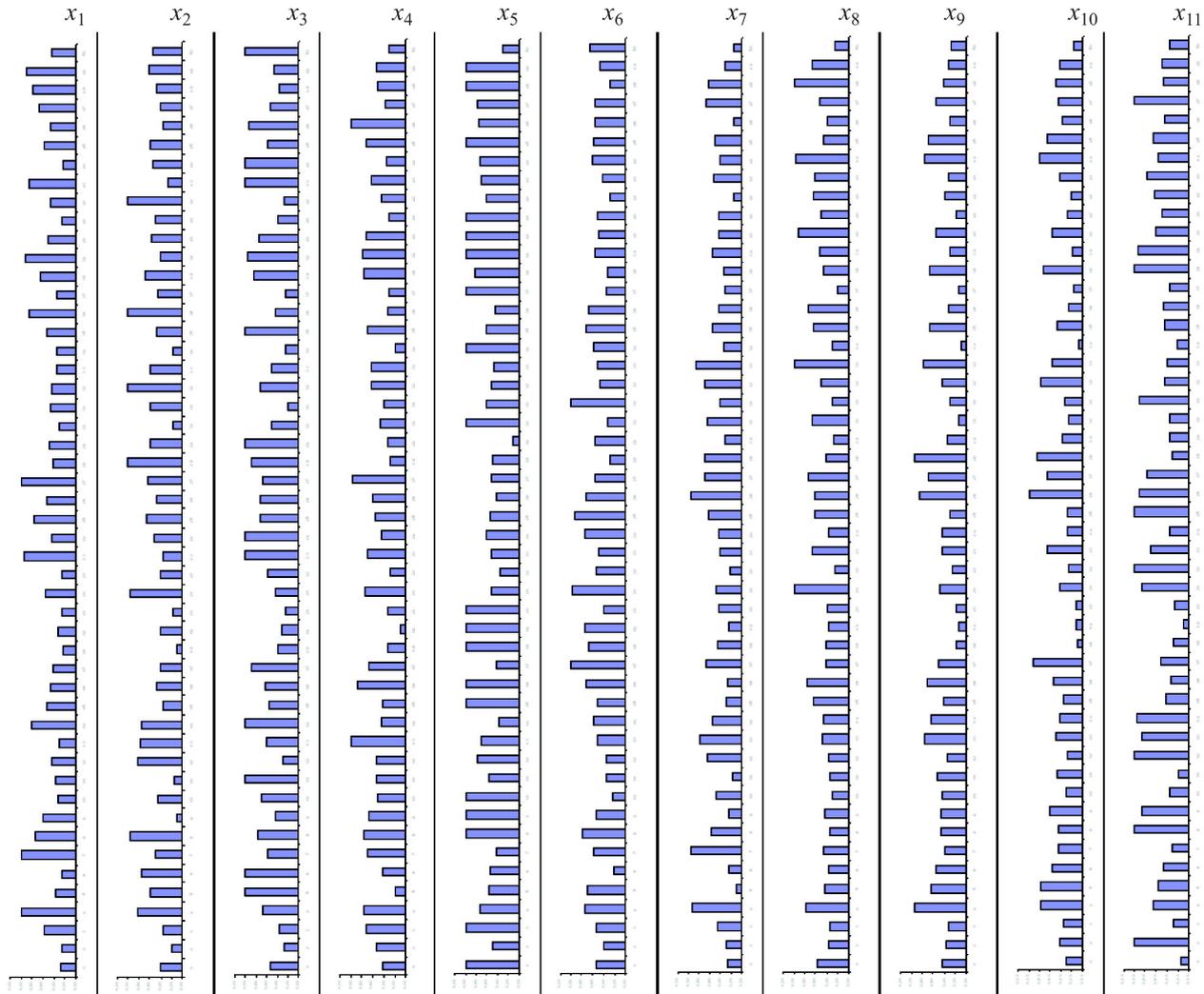


Рис. 4. Диаграмма распределения весовых коэффициентов каждого из параметров (x_i) для каждого j -го обучения (квазинытоновский метод) искусственной нейронной сети ($j = 1, \dots, 50$). x_1 — NN, мс; x_2 — SpO₂, %; x_3 — SIM, у.е.; x_4 — PAR, у.е.; x_5 — SDNN, мс; x_6 — HRV, мс²/Гц; x_7 — IB, у.е.; x_8 — VLF, мс²/Гц; x_9 — LF, мс²/Гц; x_{10} — HF, мс²/Гц; x_{11} — LF/HF, у.е.

Такой результат демонстрирует две догмы. Во-первых, нейроэмуляторы в режиме базовой (одноразовой) настройки нельзя использовать для идентификации параметров порядка, т.е. наиболее важных диагностических признаков (а сейчас в медицине это делают часто). В одном цикле будут важны одни x_i , а в другом цикле x_i другие. Во-вторых, даже искусственная нейросеть показывает, что она не может повторить свое внутреннее состояние даже два раза. Все уникально, неповторимо и невоспроизводимо на уровне уже искусственных нейросетей и тем более на уровне головного мозга. И тем более это все усугубляется, когда команды от нейросетей мозга запускают другие, периферические процессы. Например, движение рукой или дыхание (инспираторная и экспираторная мышечная активность), т.е. и вдох и выдох не могут быть повторены, идентично воспроизведены не только в виде команд от мозга, но и на уровне миофибрилл, двигательных единиц, работы групп мышц в сложном, якобы произвольном двигательном акте. Все такие движения

хаотичны по сути, но они имеют ограничения и эти ограничения мы обозначили как квазиаттракторы — области в фазовом пространстве состояний, внутри которых хаотически движутся все векторы состояния или работает нейросеть мозга человека.

Заключение

Подводя итоги всему сказанному выше, можно уверенно утверждать, что для эффекторных органов, например мышц, хаотическая работа нейросетей мозга всегда будет создавать некоторый квазиаттрактор управляющих воздействий. Этот квазиаттрактор, внешний по отношению к мышцам, порождает хаотическую динамику уже внутри кластера исполнительных систем. Иными словами, сами мышцы являются генератором хаоса, при этом механизмы внутренней самоорганизации работы мышц удерживают их внутри некоторых (мышечных) квазиаттракторов и эти внутренние генераторы управляются внешними хаотическими генераторами в пределах своих, нейросетевых квазиаттракторов,

которые формируются за счет постоянной хаотической (но в пределах квазиаттракторов) работы нейросетей мозга.

Мозг в целом постоянно организует положительные и отрицательные прямые и обратные связи и за счет этих связей постоянно мониторирует эффекторные органы, удерживая эффекторные сигналы в пределах нужных квазиаттракторов. Одновременно мышцы (или любые другие эффекторы) выполняют целевые функции (удержание, движение и др.), но делают это тоже в пределах своих квазиаттракторов. Мозг и вся афферентно-эфферентная система постоянно подстраивает свои квазиаттракторы в пределах телеологических задач (нужных целей в данный момент времени). Телеологические задачи могут быть произвольными, но их реализация всегда будет только непровольной, хаотической. Хаос на фоне самоорганизации — основное свойство живого! Однако хаос СТТ не является детерминированным хаосом Арнольда–Тома.

Вся такая иерархическая система способна в режиме постоянного мониторинга образовывать и удерживать многоуровневые квазиаттракторы в приемлимых для гомеостаза пределах (объемах и центрах квазиаттракторов). Фактически мы имеем дело с постоянно мерцающей, самоподстраивающейся системой. Тогда задача любого исследователя в области работы мозга, организации движений, поддержания висцеральных функций и гомеостаза в целом будет сводиться к наблюдению и фиксации параметров всех таких квазиаттракторов. Мы будем вынуждены следить за изменением их (квазиаттракторов) параметров в тех или иных условиях пребывания организма человека. В том числе к таким функциям можно отнести и психофизиологические функции человека. Именно этими исследованиями мы и занимаемся вот уже около 40 лет. В рамках же медицины — последние 20 лет.

Однако сейчас такой подход мы осуществляем не только в медицине и биологии, но и в психологии, социологии, политологии [11, 13, 22–37], в анализе любых процессов, которые можно отнести к системам третьего типа (СТТ), т. е. с хаотической динамикой их поведения. Все такие системы подчиняются 2-му свойству СТТ в теории хаоса — самоорганизации (glimmering property), и для всех таких систем их $x = x(t)$, т. е. все векторы состояния системы, всегда $x \neq \text{const}$ и $dx/dt \neq 0$. Применение детерминистских или стохастических моделей для таких биосистем (complexity) становится весьма проблематичным (любая модель — одна конкретная реализация из миллиона).

Список литературы

1. *Иваницкий Г.Р.* // УФН. 2010. **180**, № 4. Р. 337.
2. *Смолянинов В.В.* // Биофизика. 2010. **55**, № 3. Р. 563.
3. *Churchland M.M. et al.* // Nature. 2012. **487**. Р. 51.
4. *Иваницкий Г.Р., Есипова Н.Г., Абагян Р.А., Шноль С.Э.* // Биофизика. 1986. **30**, № 3. Р. 418.
5. *Еськов В.М., Еськов В.В., Гавриленко Т.В., Зимин М.И.* // Вестн. Московского ун-та. Физ. Астрон. 2014. **5**. Р. 41.
6. *Еськов В.М., Еськов В.В., Гавриленко Т.В., Вохмина Ю.В.* // Вестн. Московского ун-та. Физ. Астрон. 2015. **2**. Р. 62.
7. *Иваницкий Г.Р.* // Наука. 2011. Р. 327.
8. *Prigogine I.R.* // Futures. 2000. **25**, N 4. Р. 17.
9. *Prigogine I.R.* // Futures. 1989. **21**, N 4. Р. 396.
10. *Weaver W.* // Science and Complexity. American Scientist. 1948. **36**. Р. 536.
11. *Еськов В.М.* // Офорт. 2011. С. 240.
12. *Eskov V.M., Eskov V.V., Filatova O.E.* // Measurement Techniques. 2011. **53**, N 12. Р. 1404.
13. *Eskov V.M.* // Measurement Techniques. 2011. **54**, N 7. Р. 832.
14. *Eskov V.M.* // Measurement Techniques. 2012. **55**, N 9. Р. 1096.
15. *Eskov V.M.* // Journal of Biomedical Science and Engineering. 2012. **5**, N 10. Р. 602.
16. *Eskov V.M.* // Emergence: Complexity and Self-organization. 2014. **16**, N 2. Р. 107.
17. *Gell-Mann M.* // Complexity. 1997. **3**, N 1. Р. 9.
18. *Eskov V.M., Zaslavsky B.G.* // Neural Network World. 1993. **4**. Р. 425.
19. *Eskov V.M.* // Neural Network World. 1994. **6**. Р. 655.
20. *Eskov V.M.* // Neural Network World. 1994. **6**. Р. 663.
21. *Eskov V.M., Filatova O.E., Ivashenko V.P.* // Measurement Techniques. 1994. **37**, N 8. Р. 967.
22. *Еськов В.М.* // Наука. 1994. Р. 176.
23. *Eskov V.M.* // Modelling, Measurement and Control. 1995. **48**, N 2. Р. 47.
24. *Eskov V.M.* // Modelling, Measurement and Control. 1995. **48**, N 3. Р. 1.
25. *Eskov V.M.* // Neurocomputing. 1996. **11**, N 9. Р. 203.
26. *Гавриленко Т.В.* // Сложность. Разум. Постнеклассика. 2012. **1**. Р. 86.
27. *Балтикова А.А.* // Вестник новых медицинских технологий. 2013. **20**, № 1. Р. 256.
28. *Филатов М.А.* // Информатика и системы управления. 2009. **4**. Р. 15.
29. *Филатов М.А.* // Сложность. Разум. Постнеклассика. 2012. **1**. Р. 21.
30. *Буров И.В.* // Вестник новых медицинских технологий. 2012. **19**, № 2. Р. 424.
31. *Коваленко Л.В.* // Вестник новых медицинских технологий. 2012. **19**, № 2. Р. 423.
32. *Хадарцев А.А.* // Физиотерапевт. 2013. **2**, № 9. Р. 30.
33. *Еськов В.М.* // Теория и практика физической культуры. 2011. **10**. Р. 92.
34. *Еськов В.М., Козлова В.В., Голушков В.Н.* // Теория и практика физической культуры. 2011. **11**. Р. 88.
35. *Еськов В.М.* // Сложность. Разум. Постнеклассика. 2013. **1**. Р. 59.
36. *Еськов В.М.* // Системный анализ и управление в биомедицинских системах. 2010. **9**, № 3. Р. 687.
37. *Еськов В.М.* // Системный анализ и управление в биомедицинских системах. 2010. **9**, № 4. Р. 787.
38. *Карпин В.А.* // Системный анализ и управление в биомедицинских системах. 2012. **11**, № 4. Р. 862.
39. *Еськов В.М.* // Системный анализ и управление в биомедицинских системах. 2013. **12**, № 1. Р. 21.

The evolution of the chaotic dynamics of collective modes as a method for the behavioral description of living systems**V. M. Eskov^a, V. V. Eskov^b, J. V. Vochmina^b, T. V. Gavrilenko^b***Department of Biophysics and Neurocybernetics, Institute of Natural and Technical Sciences, Surgut State University, Surgut 628415, Russia.**E-mail: ^avalery.eskov@gmail.com, ^btaras.gavrilenko@gmail.com.*

Human-scaled (in complexity) systems possess a unique feature, viz., the continuous random motion of many components of the state vector $x = x(t)$ of such living systems. Taking this property into consideration causes the rejection of any of the known types of stationary modes (e. g., $dx/dt = 0$) and requires revision of the concept of chaos. A new approach to the understanding of living systems (as a third paradigm of the natural sciences) and new methods for the study of living systems (as a theory of chaos and self-organization) are proposed. Common grounds of physics and theory of chaos and self-organization are revealed as a generalized uncertainty principle and a limit on the parameters of quasi-attractors.

Keywords: theory of chaos and self-organization, quasi-attractor, order parameter, third-type systems.

PACS: 87.10.-e, 87.18.-h, 87.18.Vf.

Received 9 November 2015.

English version: *Moscow University Physics Bulletin*. 2016. **71**, No. 2. Pp. 143–154.

Сведения об авторах

1. Еськов Валерий Матвеевич — докт. физ.-мат. наук, профессор, зав. лабораторией; тел.: (3462) 763088, e-mail: valery.eskov@gmail.com.
2. Еськов Валерий Валерьевич — канд. мед. наук, доцент, доцент; тел.: (3462) 763079, e-mail: z.asconcrete@gmail.com.
3. Вохмина Юлия Владимировна — аспирант; тел.: (3462) 763090, e-mail: vachmina@mail.ru.
4. Гавриленко Тарас Владимирович — канд. тех. наук, доцент, ст. науч. сотрудник; тел.: (3462) 763090, e-mail: taras.gavrilenko@gmail.com.