

III. МАТЕМАТИКА В ОПИСАНИИ ХАОСА И СИНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМ

DOI: 10.12737/13567

ПРИНЦИП ОТНОСИТЕЛЬНОСТИ ПОКОЯ И ДВИЖЕНИЯ ГОМЕОСТАТИЧЕСКИХ СИСТЕМ ИЛИ ЯВЛЯЕТСЯ ЛИ БИОМЕХАНИКА РАЗДЕЛОМ ФИЗИЧЕСКОЙ МЕХАНИКИ И ТЕРМОДИНАМИКИ?

О.Е. ФИЛАТОВА, В.В. ЕСЬКОВ, Ю.В. ВОХМИНА, М.И. ЗИМИН

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

Аннотация. В связи с возникновением третьей парадигмы и теории хаоса-самоорганизации возникает главная проблема естествознания: имеется ли возможность описывать системы третьего типа – *complexity* в рамках современного детерминистского или стохастического подходов? В работе показывается нецелесообразность использования термодинамического подхода в расчетах параметров треморограмм с позиций расчета энтропии и нового метода расчета матриц парного сравнения выборок. Показывается низкая эффективность термодинамического подхода и четкие различия в параметрах квазиаттракторов и матриц парных сравнений выборок. Доказывается целесообразность использования методов теории хаоса и самоорганизации в оценке физиологического состояния испытуемых, находящихся в различных функциональных состояниях. Очевидно, что новый подход может найти применение там, где традиционные стохастические подходы не имеют эффективности. В первую очередь речь идет об описании систем третьего типа – *complexity*.

Ключевые слова: системы третьего типа – *complexity*, вектор состояния системы, энтропия Шеннона.

THE PRINCIPLE OF RELATIVITY OF REST AND MOTION HOMEOSTATIC SYSTEMS OR WHETHER THE BIOMECHANICS SECTION OF PHYSICAL MECHANICS AND THERMODYNAMICS?

O.E. FILATOVA, V.V. ESKOV, YU.V. VOHMINA, M.I. ZIMIN

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

Abstract. In connection with the emergence of the third paradigm of chaos theory, self-organization arises the main problem of natural science: Is it possible to describe the system of the third type - *complexity* in the modern deterministic and stochastic approaches. The paper shows the inappropriateness of using the thermodynamic approach in the calculation of the parameters tremorogram from the standpoint of calculating the entropy and the new method of calculating the pairwise comparison matrix samples. It shows low efficiency of the thermodynamic approach and clear differences in the parameters of quasi-attractors and paired comparisons matrix samples. It proved the feasibility of using the methods of TCS in the evaluation of the physiological state of the subject, in different functional states. It is obvious that the new approach can be used where traditional stochastic approaches are not effective.

Key words: the third type of systems – *complexity*, state vector, Shannon entropy.

Введение. Согласно эволюции развития физики, механика Архимеда и И. Ньютона – это первое, что было создано на заре

интеллектуального развития человечества. И если в механике Архимеда мы выделяем, в основном, прикладные аспекты, то меха-

ника Ньютона с ее законами (включая и гравитацию) составляет фундамент современной физики и с нее начинается изучение всей физики в учебных заведениях разного уровня. Поэтому биомеханика должна была бы образовать фундамент всей биофизики. Сейчас можно твердо говорить о реализации этого принципа, но при условии создания реальной механики живых систем (что пока отсутствует в биофизике), а не только приписка физической механики в описании сложных биосистем – *complexity*, которые сейчас традиционно изучаются в *детерминистско-стохастическом подходе* (ДСП), т.е. в современной науке.

Сейчас очевидно, что биомеханика с позиций третьей парадигмы и *теории хаоса-самоорганизации* [12,13,15] действительно составила основу физики живых систем, но не по законам, а по принципам организации *систем третьего типа* (СТТ) и по фундаментальным явлениям, которые существенно изменяют наши знания (и сознание) о живом, наши представления о СТТ, законах их организации и функционирования. Именно биомеханика легко и убедительно представляет все базовые законы и особенности СТТ, которые столь отличны от законов поведения физических (технических, химических) систем. Более того, биомеханика представляет всю динамику поведения сложных живых систем, которая существенно отлична от динамики поведения гипотетических (математических) динамических процессов, описываемых стохастическими свойствами динамического хаоса [1,3-8].

Необычность биомеханики (как раздела биофизики) заключается в том, что мы вынуждены для описания реальных живых систем формировать термины и понятия, которые в физике используются в квантовой механике и физике элементарных частиц. Речь идет в первую очередь о принципе неопределенности Гейзенберга, где вместо привычных для механики уравнений (равенств) используются неравенства. Одновременно для крайне редких событий в биомеханике мы вынуждены обращаться к таким редким явлениям как туннельный эффект. Известно, что туннельный эффект

имеет очень малую вероятность, но такие события все-таки происходят (например, К-захват ядер) и они реально регистрируются. К этой серии редкостей относится и взаимодействие нейтрино с веществом. Для СТТ – это выход за пределы 10, 20-ти или 100-а сигм, т.е. крайне редкие явления! Именно такие крайне редкие события мы и наблюдаем в третьей парадигме и ТХС. Их не изучают в традиционной ДСП-науке, но они составляют основу 5-го принципа организации СТТ в разрабатываемой ТХС.

Необычность динамики поведения биомеханических систем еще проявляется и в том, что мы будем вынуждены в корне поменять наши представления (общепринятые в физической механике) о состоянии покоя, движения, относительности движения, наши представления о скорости движения и об ускорении. Оказывается, что многие состояния движения в биомеханике, которые в механике Ньютона действительно являются движениями, в биомеханике, построенной на законах и принципах ТХС, не являются движениями. Они в ТХС характеризуются как покой (стационарные состояния). Рассмотрим более подробно понятия покоя и движения для биосистем [2,5,6,9-13] с позиций нового принципа относительности движения для гомеостатических систем – *complexity* (или СТТ), который сразу уводит такие системы из области ДСП-науки [8, 18-20].

1. Движение СТТ в ТХС. Привычные понятия движения для трех основных компонент *вектора состояния системы* (ВСС) в виде $x=x(t)=(x_1, x_2, x_3)^T$ механического движения точки или тела в пространстве в виде x_1 – координата, $x_2=dx_1/dt$ – скорость и $x_3=dx_2/dt$ – ускорение в *биомеханике ТХС* (БТХС) принимают совершенно другой вид (и смысл). Тело (например, конечность человека) может демонстрировать относительно неподвижного датчика непрерывное движение (его $dx/dt \neq 0$ постоянно), но в БТХС мы можем говорить о покое (или о стационарном, неизменном состоянии) конечности. Все три компонента вектора состояния биомеханической системы $x_c=x_c(t)=(x_1, x_2, x_3)^T$ в этом случае будут непрерывно изменяться, но с позиций БТХС

мы будем говорить о неизменности (покое) в состоянии исследуемой биомеханической системы. Иными словами сам тремор (как регуляторный процесс) может находиться в «покое» или эволюционировать в *фазовом пространстве состояний* (ФПС) и тогда мы будем говорить о движении СТТ. Иными словами для СТТ движение – это эволюция *квазиаттрактора* (КА) в ФПС, а покой – неизменность параметров КА.

Возможна и обратная ситуация в биомеханике, когда даже статистические функции распределения $f(x)$, описывающие состояния биообъекта (системы), постоянно изменяются (и тем более все компоненты $x(t)$ в виде $x_i, i=1, 2, 3$), а с позиций ТХС мы будем говорить о неизменности (покое) биомеханической системы. Понятия движения и покоя в БТХС приобретают совершенно другие значения и смысл. Более того, в новой биомеханике происходит инверсия физиологических понятий произвольных и непроизвольных движений. Это разительно изменяет наши представления не только с позиций физики, но и с позиций физиологии движений. А если сюда добавить раздел медицины, который изучает патологические типы движений, например, болезнь Паркинсона, то окажется, что в БТХС изменяются наши представления о периодических и непериодических движениях [12,13,15-17].

Биомеханика реальных биосистем приобретает совершенно иной ракурс и иные представления о характере движения тела и его частей, чем мы ранее представляли в отношении движения человека и частей его тела. Оказывается, что движения, традиционно считающиеся произвольными, в действительности реализуются непроизвольно (хаотически). При этом они мало чем отличаются от непроизвольных движений (тремора). В 2012 году группа ученых из университета в Стэнфорде в журнале *Nature* пыталась обозначить этот факт, но никаких количественных методов описания (которые мы уже внедрили 20 лет назад) так и не представила [3,4,13,20,21]. Они даже не попытались ввести принцип относительности движения и остались в

рамках традиционной ДСП-науки [12-17,20].

Изучая новые свойства и виды движения биосистемы, с позиций ТХС мы подошли к необходимости создания другой биомеханики гомеостатических систем, которая отличается от физической механики (и физической биомеханики). Этот новый подход мы пытаемся широко использовать в разных разделах медицины, физиологии спорта и экологии человека. Новая биомеханика учитывает тонкие, интимные механизмы регуляции двигательных функций человека и животных. Она открывает новые разделы для изучения и сравнения не только самих движений, но и психического, физиологического состояния человека, находящегося в разных условиях внешней среды. Более того, БТХС позволяет моделировать эволюционные процессы изменения в регуляции тремора и других видов движения. Например, удалось создать модель развития болезни Паркинсона, ее лечения и её крайние патологические проявления в виде ригидных форм болезни Паркинсона. Фактически, в рамках ТХС и компартментно-кластерных моделей биомеханических систем мы научились описывать эволюцию патологического процесса [11,13,20].

Таким образом, новая биомеханика – это сплав новых представлений о регуляции движений гомеостатических систем и особенностей проявления этой регуляции (гомеостаза) в различных видах движения. Эта биомеханика построена на изучении не только вектора $x(t)$, его трёх компонент, но и на изучении параметров КА, эволюции их движения в ФПС, учета психических состояний обследуемого. Она даёт объяснения различий между произвольными и непроизвольными движениями, которое в современной физиологии отсутствует (нет оценки хаоса в теппинге, например). Однако, самое главное в БТХС заключается в том, что мы получаем прелюдию вхождения (с позиций биомеханики) в другие разделы биофизики. Имеются общие корни БТХС и термодинамики, электродинамики СТТ. Становится возможным лучше понимать термодинамику живых систем, которую постарался построить И.Р. Пригожин

на основе *термодинамики неравновесных систем* (ТНС), которую он построил, но оказалось, что она хорошо работает для живых систем на молекулярном уровне. При переходе к организации и динамике сложных биологических систем (*complexity*), к СТТ, обнаруживаются другие законы в их поведении. Специфика организации (самоорганизации) СТТ такова, что в рамках ТХС можно говорить о *самоорганизующемся хаосе*, чего нет в физике и технике. Одновременно нами сейчас вводится понятие относительности движения гомеостатических систем – *complexity* (СТТ).

Оказалось, что ТНС не описывает сложные биосистемы – СТТ. Для них мы имеем другие законы и понятия. Обычные термодинамические понятия и законы очень приблизительно (а зачастую и совершенно обратным образом) описывают СТТ. Для сложных биосистем приходится строить особую биомеханику (с ее особыми понятиями и законами), особую термодинамику (отличную от ТНС) и особую электродинамику живых систем – *complexity* [12,15,21].

2. Некоторые модельные особенности движения СТТ в биомеханике. Рассмотрим более подробно эти особенности с позиций ТХС в отношении первоначально биомеханики, затем это можно будет перенести на термодинамику и, наконец, электродинамику живых (сложных) систем. Подчеркнем, все эти особенности и характеризуют жизнь, отличают живое от неживого, физику от биофизики, кибернетику (техническую) от биокибернетики. И это все составляет новое направление в науке о живом, что существенно изменяет наши представления о физике живого, т.е. биофизике.

В чем же заключено наиболее существенное отличие живого от неживого? Чем биомеханика СТТ отличается от механики физико-технических систем? Чем термодинамика и даже ТНС И.Р. Пригожина отличается от термодинамики живых систем? В чем специфика электродинамики СТТ? Ответы на эти вопросы начнем с биомеханики живых систем, как основы всей биофизики

(напомним еще раз соотношение между механикой и всей физикой!).

Выше мы отметили ряд очень важных принципиальных направлений биомеханики, которые должны объяснить существенные различия (на примере биомеханики) физики от биофизики. Действительно, любое тело (как совокупность материальных точек) обладает массой, на него действуют силы F и все законы механики (включая и гравитацию) для него справедливы. Тогда где начинаются особенности механики живых систем – биомеханики? Если ответить просто, то все начинается с регуляции и наличия огромного числа степеней свободы. В технических и физических системах регуляция очень упрощенная (по сравнению с регуляцией со стороны ЦНС, нейросетей мозга), а число степеней свободы k очень невелико (в биомеханике k исчисляется десятками). Более того, в технике такое число степеней k и не нужно! Наоборот, для сложных биосистем – *complexity*, чем больше число степеней – тем лучше. Само понятие гомеостатичности базируется на огромной свободе поведения СТТ и их разнообразии: жизнь вообще характеризуется огромным разнообразием форм, размеров и динамикой поведения.

Регуляция (особая) и свобода (тоже особая) гомеостатических систем порождает очень необычные свойства биомеханических систем. Самое главное из них, которое почему-то именно в биологии и игнорируется, это непрерывное и хаотическое движение всех кинематических звеньев (если они жестко не зафиксированы). Действительно, начиная от позы человека, мы постоянно наблюдаем $dx/dt \neq 0$ для любой свободной части тела. Возникает постуральный тремор, который носит хаотический характер и который (и это очень странно) не изучался именно на предмет отсутствия у него стационарных режимов в виде $dx/dt \neq 0$ (здесь x – любая координата пальца, руки, головы, сердца и т.д.) и отсутствия реальных возможностей точного (в рамках детерминизма) повторения любого состояния биосистемы, начиная от начального значения $x(t_0)$ и заканчивая конечным состоянием ВСС $x(t)$ в ФПС [5,6].

Столетия в биофизике игнорируется физический факт неповторимости и невозпроизводимости $x(t_0)$ и любой динамической траектории движения $x(t)$ в ФПС, которая описывает биомеханическую систему или любую другую СТТ [18-21].

Эта проблема (и беда) физики, которая пришла в биофизику и биомеханику. Физика для биомеханики тремора, теппинга, любых других видов движения, принесла и свои методы измерения в виде *амплитудно-частотных характеристик* (АЧХ), *автокорреляционных функций* $A(t)$, различных методов теории хаоса и др. Но будучи точной наукой, физика почему-то все эти столетия игнорировала две очевидные истины в биомеханике: невозможно самостоятельно (самому человеку) в свободном пространстве для любой части своего тела получить $dx/dt=0$, что в физике легко реализуется (начиная с 1-го закона Ньютона, который в биомеханике никогда не выполняется); и невозможно произвольно повторить (точно) любое движение тела (или его части), т.е. траектории в биомеханике неповторимы не только в рамках детерминизма (точно), но и в рамках стохастики. Последнее вообще не изучалось и не констатировалось, а декларировалось: биосистемы стохастичны!

Для физики второй факт подобен отрицанию познаваемости окружающего мира [12]. Если процесс (динамика системы) уникальнейший, то мы не можем говорить о его прогнозе (предсказании) и на этом наука – детерминистская, стохастическая (и хаотическая) тоже заканчивается. Главная задача любой науки – это описать процесс (построить его модель) и сделать прогноз его (процесса) конечного состояния. Обычно, если конечное значение *вектора состояния системы* $x=x(t)=(x_1, x_2, \dots, x_m)^T$ в виде $x(t_k)$ невозможно повторить, то используются статистические функции распределения $f(x)$, которые с определенной вероятностью (обычно вместо вероятности пользуются частотой $P^*(A)=m/n$, где m – число испытаний с наступлением события A , n – общее число испытаний) представляет финал процесса в виде $x(t_k)$. Мы не говорим, что будет точно реализовано конкрет-

ное значение параметра $x_1(t_k)$, но даем $P^*(A)$ для этого параметра и этого уже достаточно [1-8,17-21]. Однако, в ТХС, для гомеостатических систем, оказалось, что все их функции распределения $f(x)$ непрерывно изменяются, а $x(t_0)$ невозможно повторить не только точно, но и в рамках $f(x)$ – они непрерывно изменяются для СТТ в гомеостазе.

Хуже обстоит дело, когда все значения конечного $x(t_k)$ равновероятны и мы имеем равномерную функцию распределения $f(x)$ на некотором отрезке (для аттракторов в хаосе в виде инвариантной меры). Оказалось, что для моделей в виде уравнений только грубые гиперболические или квазигиперболические системы показывают инвариантные меры, что согласуется и с показателями Ляпунова (они положительны). Для различных негиперболических аттракторов можно говорить об инвариантной мере (равномерном распределении) лишь при условии воздействия внешнего шума. Как оказалось в наших исследованиях именно шум параметров и структуры связей (в нейросетях, например) в реальных биосистемах является основой их особого хаотического поведения, но этот хаос отличен от хаоса Лоренца-Арнольда. Хаос биосистем – *complexity* (СТТ в нашей терминологии) не имеет ничего общего с детерминированным хаосом [1,11-13]. Это хаос гомеостатических систем, он другой из-за особенностей регуляции СТТ, их гомеостатического состояния, когда удерживаются только КА, а все остальное непрерывно изменяется.

Свойство перемешивания (инвариантность мер) не характерно для любого постурального тремора и даже не характерно для произвольных движений, например, теппинга. Если в теории детерминированного хаоса сейчас уделяется особое внимание времени установления стационарной меры в системах негиперболического аттрактора (в том числе и с использованием стохастических дифференциальных уравнений [21]), то в ТХС мы имеем дело не с эргодическими системами, в которых свойство перемешивания не наблюдается (по крайней мере, мы его пока нигде в исследуемых более мил-

лиона выборок не зарегистрировали). Более того, нет и спадения корреляций во времени и нет их ограничений экспоненциальной функцией, как это показывается в ряде работ по детерминированному хаосу [1]. При этом для негиперболических систем именно шум является решающим фактором инвариантности мер.

Как мы показали, именно задание шума в системах регуляции тремора и др. видов движения и определяет особую динамику СТТ в биомеханике (и в других системах). При этом шум в системах регуляции тремора является причиной неустойчивости в получаемых выборках параметров x_1 , $x_2=dx_1/dt$ и $x_3=dx_2/dt$, но он не обеспечивает свойство перемешивания. В наших моделях шум в параметрах уводит тремор в область вариаций $f(x)$, т.е. меры становятся не инвариантными. Ряд авторов [1] отмечает, что большинство хаотических аттракторов динамических систем являются не гиперболическими, у которых можно фиксировать предельные множества. И если сейчас многие авторы [1,11,15] склоняются к тому, что свойство перемешивания можно получить только в случаях наличия шума на негиперболических аттракторах, то для реальных (но не модельных биомеханических системах), мы имеем *квазиаттракторы*, которые никогда не демонстрируют инвариантность мер в динамиках $x(t)$ в ФПС. Изменения $f(x)$ при наличии шума носят характер хаотических процессов, но при этом автокорреляция $A(t)$ не стремится к нулю [1,12], и меры не инвариантны – это базовое свойство СТТ – *complexity* и это – основа относительности движения вектора $x(t)$ в ФПС для СТТ.

3. Особенности стационарных состояний в биомеханике. Энтропия и квазиаттракторы. С позиций термодинамики Пригожина энтропия должна изменяться при переходе биосистемы из одного состояния в другое. Однако, в наших исследованиях при внешних возмущениях биомеханической системы (когда реально меняются свойства СТТ) мы очень редко наблюдаем изменение параметров энтропии E . Например, если мы охлаждаем (понижается T) мышцы испытуемого, т.е. термоди-

намически это должно приводить к уменьшению E , то энтропия никак не изменяется. Результаты одной из серий опытов с тремором представлены в табл. 1. Очевидно, что по всем этим выборкам их энтропии E статистически не изменяются ($p=1$, при критерии Стьюдента $t=0,67$, табл. 1). В этом случае физическая механика и термодинамика показывают выраженную неизменность (статичность параметров биомеханической системы). Мы как бы имеем стационарный режим такой гомеостатической системы. Но с позиций ТХС понятия стационарности и эволюции принимают смысл гомеостатичности и реального движения КА в ФПС.

Таблица 1

Значения энтропии Шеннона выборок ТМГ испытуемого ТДА при многократных повторях экспериментов (Т=5 сек) без груза и с грузом

	Без груза	С грузом 500 гр.
1	3,2101	3,2721
2	3,2666	3,2856
3	3,4959	3,4207
4	3,2144	3,0582
5	3,4293	3,3943
6	3,3367	3,5007
7	3,3469	3,3875
8	3,1452	3,2610
9	3,1922	3,6631
10	3,5634	3,3840
11	3,1563	3,1952
12	3,5223	3,5250
13	3,5880	3,5208
14	3,6702	3,5555
15	3,4490	3,4281
Ср. знач.	3,3724	3,3901
p	1.00	(t - 0.669)

Действительно, если функции распределения демонстрируют непрерывный калейдоскоп изменений для выборок, которые подряд получаются от одного испытуемого, находящегося в одинаковых условиях (якобы в гомеостатическом, неизменном смысле ДСП состоянии), то о какой стационарности можно говорить? Но это и есть гомеостаз. И тогда различия возникают только по параметрам КА или по матрицам парных сравнений выборок в этих 2-х состояниях (без груза и с грузом), что и представлено ниже в виде табл. 3 и табл. 4.

Действительно, методы ТХС показывают существенные изменения параметров квазиаттракторов. Так, например, в табл. 2 мы показываем, как изменяются площади КА треморограмм испытуемого ТДА, у которого исходно 15 раз измеряли параметры тремора (среднее значение площади квазиаттрактора $S_1=1,06$) и после нагрузки (статически крепился к конечности груз массой $m=500$ гр.). После нагрузки в 500 гр. Мы имеем существенное увеличение площади S для КА в виде $S_2=4,94$. Очевидно, что статистические различия между выборками S_1 и S_2 весьма значительно ($p=0,0021$).

Таблица 2

Значения площадей квазиаттракторов выборок ТМГ испытуемого ТДА при многократных повторах экспериментов (T=5 сек) без груза и с грузом

	Без груза	С грузом 500 гр.
1	0,60	4,18
2	0,83	7,60
3	0,49	4,46
4	2,47	3,25
5	0,67	5,02
6	1,25	6,08
7	0,65	8,17
8	0,59	5,15
9	0,64	12,24
10	0,30	6,84
11	2,95	0,88
12	1,73	1,57
13	0,32	2,31
14	0,30	2,73
15	2,12	3,58
Ср. знач.	1,06	4,94
p	0.0021	

Таким образом получается, если для энтропии Шэннона при многократных повторах без нагрузки и при регистрации тремора их выборки и средняя энтропия этих выборок $\langle E_1 \rangle = 3,3724$ в сравнении с выборками с нагрузкой (другой гомеостаз) $\langle E_2 \rangle = 3,3901$ статистически не различаются (получается, что с системой ничего не происходит), то в рамках ТХС и оценки площадей квазиаттракторов ($\langle S_1 \rangle = 1,06$ и $\langle S_2 \rangle = 4,94$) различия существенные ($p=0,0021$). Очевидно, что методы ТХС реально описывают изменения гомеостаза в

системе регуляции тремора. При этом традиционный подход не дает особых различий (энтропии не различаются, см. табл. 1). При этом сами статистические функции $f(x)$ для этих выборок изменяются непрерывно (и хаотически) и это тоже характеристика гомеостатических систем (E – неизменна, а $f(x)$ меняются непрерывно). Более того для гомеостаза и его изменения характерно и изменение матриц парных сравнений выборок, если изменяется гомеостаз, наряду с изменением параметров КА (табл. 2, 3, 4).

В рамках разрабатываемой сейчас ТХС становится возможным оценивать различия в функциональных состояниях, которые ранее мы в принципе не могли идентифицировать. Еще одним таким методом сравнения является метод расчета парных сравнений выборок треморограмм в случае многократных повторов измерений ТМГ у одного и того же испытуемого при регистрации тремора без нагрузки (табл. 1 и 2) и с нагрузкой. Динамика поведения статистических функций распределения, описывающих выборки треморограмм, представлена в табл. 3 и 4. В частности, в табл. 3 мы можем видеть парные сравнения выборок ТМГ одного и того же испытуемого (ТДА в табл. 1 и 2) при 15-ти повторах его измерений до предъявления (фиксация к конечности груза $m=500$ гр.), когда число совпадений пар было $k_1=5$, и после нагрузки конечности массой 500 гр.). В табл. 4 показано, что число пар совпадений возросло в 2 раза ($k_2=10$). Таким образом, соотношение $k_2=2k_1$ показывает характер влияния внешних возмущений (у нас это груз массой $m=500$ гр.) на систему регуляции тремора и всю биомеханику процесса [18,19,21].

У нас накопилось огромное количество примеров, подобных нашим иллюстрациям с тремором. Для кардиоинтервалов, электроэнцефалограмм, миограм, теппинграмм и др. примеров с гомеостазом – везде картина одинакова. Обычно энтропия E изменяется слабо (не изменяется чаще вообще), $f(x)$ меняются непрерывно и хаотично, а вот КА и матрицы парных сравнений (табл. 3 и 4) изменяются существенно. Следовательно, ме-

тоды ТХС в виде расчета параметров КА (табл. 2) и матриц парных сравнений выборок (табл. 3 и 4) позволяют регистрировать изменения гомеостаза сложных биосистем. При этом традиционные стохастические и термодинамические методы оценки состояния параметров организма (гомеостаза) характеризуются с весьма низкой эффективностью. В этой связи мы предлагаем оценивать гомеостаз *функциональных систем организма* (ФСО) новыми математическими методами и моделями, которые базируются на расчете матриц парных сравнений выборок для биосистем в гомеостазе и на основе расчета параметров квазиаттракторов.

Такие матрицы и *квазиаттракторы* позволяют оценить неизменность биосистем (гомеостаз) или их изменение. В последнем случае мы будем иметь дело с эволюцией биосистемы (ФСО) в фазовом пространстве состояний. Для этого разработана теория расчета скорости и ускорения эволюции в ФПС [8].

Выводы:

1. Для гомеостатических систем при регистрации состояния гомеостаза нецелесообразно использовать традиционные методы стохастики (в виде функций распределения, $f(x)$) и термодинамики (в виде энтропии E) При реальном изменении гомео-

Таблица 3

Матрица парных сравнений выборок треморограмм без груза испытуемого ТДА по критерию Вилкоксона при повторных измерениях (число совпадений $k=5$)

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2	0,00		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,95	0,00	0,24	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		0,11	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
5	0,00	0,00	0,00	0,11		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
6	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
7	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
8	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,81	0,00
9	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		0,00	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00
10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
11	0,00	0,95	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		0,00	0,91	0,00	0,00
12	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00	0,00		0,00	0,00	0,00
13	0,00	0,24	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,91	0,00		0,00	0,00
14	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,81	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		0,00
15	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	

Таблица 4

Матрица парных сравнений выборок треморограмм с грузом 500 гр. испытуемого ТДА по критерию Вилкоксона при повторных измерениях (число совпадений $k=10$)

	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	0,91	0,29	0,34	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2	0,00		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
3	0,00	0,00		0,00	0,00	0,00	0,00	0,06	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,06
4	0,00	0,00	0,00		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
5	0,00	0,00	0,00	0,00		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,18	0,00	0,00	0,74
6	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
7	0,91	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		0,01	0,13	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
8	0,29	0,00	0,06	0,00	0,00	0,00	0,01		0,44	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
9	0,34	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,13	0,44		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01
10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		0,03	0,00	0,00	0,02	0,00
11	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03		0,00	0,00	0,22	0,00
12	0,00	0,00	0,00	0,00	0,18	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		0,00	0,00	0,03
13	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		0,00	0,00
14	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,22	0,00	0,00		0,00
15	0,00	0,00	0,06	0,00	0,74	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,03	0,00	0,00	

стаза (систем регуляции ФСО, например) энтропия может оставаться неизменной, а $f(x)$ и для гомеостаза, и для его эволюции будет демонстрировать непрерывный калейдоскоп хаотических изменений. Функция $f(x)$ не может характеризовать гомеостаз (постоянство параметров ФСО) из-за своего непрерывного и хаотического изменения.

3. Наиболее чувствительным и эффективным методом измерения гомеостатичности или эволюции биосистемы является метод расчетов параметров *квазиаттракторов*. В этом случае изменение объемов и координат центров КА в ФПС будет количественно показывать изменение (или неизменность) гомеостаза, его эволюцию в ФПС или устойчивое состояние организма.

4. Понятие относительности покоя и движения для гомеостатических систем в ФПС приобретает новый и вполне определенный смысл: система в гомеостазе, если параметры КА не изменяются, а матрицы парных сравнений выборок (при повторении испытаний) не изменяют свое число совпадений k . Иначе начинается эволюция гомеостаза биосистемы в ФПС. То, что в стохастике считается движением ($dx/dt \neq 0$) – в ТХС является покоем в смысле гомеостаза. Наоборот, эволюция, движение биосистемы в ФПС может с позиций стохастики (и энтропии) условно быть неизменным (энтропия сохраняет свои значения). Понятие покоя и движения для сложных биосистем в ТХС приобретают другой смысл. Покой в ДСП может быть движением в ТХС, а движение в ДСП может быть покоем (гомеостазом) в ТХС. Покой и движение в ТХС относительны при их сравнении с моделями в ДСП. Третья парадигма изменяет понятие гомеостаза и смысл движения и покоя. При этом предлагаются другие, новые методы расчета для статики и кинематики сложных, гомеостатических систем – *complexity*. Новые методы и новые подходы должны обеспечить объективную регистрацию гомеостатических состояний СТТ в медицине и биологии. В медицине придется пересматривать понятия нормы и патологии, их количественное описание, т.к. традиционная наука (ДСП) дает не совсем

точные представления о ФСО, их состоянии и оценки изменения параметров организма.

Литература

1. Анищенко В.С., Вадивасова Т.Е., Окрокверцхов Г.А., Стрелкова Г.И. Статистические свойства динамического хаоса // Успехи физических наук.– 2005.– Т. 175, №2.– С. 163–179.
2. Ведясова О.А., Еськов В.М., Филатова О.Е. Системный компарментно-кластерный анализ механизмов устойчивости дыхательной ритмики млекопитающих.– Самара: Офорт, 2005.– 198 с.
3. Еськов В.М., Филатова О.Е., Фудин Н.А., Хадарцев А.А. Новые методы изучения интервалов устойчивости биологических динамических систем в рамках компарментно-кластерного подхода // Вестник новых медицинских технологий.– 2004.– Т. 11, № 3.– С. 5–6.
4. Еськов В.М., Живогляд Р.Н., Папшев В.А., Попов Ю.М., Пашнин А.С. Системный анализ и компьютерная идентификация синергизма в биологических динамических системах // Системный анализ и управление в биомедицинских системах.– 2005.– Т. 4, № 1.– С. 108–111.
5. Еськов В.М., Живогляд Р.Н., Карташова Н.М., Попов Ю.М., Хадарцев А.А. Понятие нормы и патологии в фазовом пространстве состояний с позиций компарментно-кластерного подхода // Вестник новых медицинских технологий.– 2005.– Т. 12, № 1.– С. 12–14.
6. Еськов В.М., Адайкин В.И., Зиллов В.Г., Логинов С.И., Филатова О.Е., Хадарцев А.А. Новые информационно – системные подходы и парадигмы в клинической кибернетике // Вестник новых медицинских технологий.– 2006.– Т.13, №2.– С. 35–39.
7. Еськов В.М., Назин А.Г., Русак С.Н., Филатова О.Е., Хадарцева К.А. Системный анализ и синтез влияния динамики климато-экологических факторов на заболеваемость населения Севера РФ // Вестник новых медицинских технологий.– 2008.– Т. 15, № 1.– С. 26–29.

8. 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.

9. Еськов В.М., Хадарцев А.А., Филатова О.Е., Хадарцева К.А. Околосуточные ритмы показателей кардиореспираторной системы и биологического возраста человека // Терапевт.– 2012.– № 8.– С. 36–43.

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

11. Системный анализ, управление и обработка информации в биологии и медицине / Еськов В.М., Хадарцев А.А., Козлова В.В. [и др.] / Том XI. Системный синтез параметров функций организма жителей Югры на базе нейрокомпьютинга и теории хаоса-самоорганизации в биофизике сложных систем.– Самара: Офорт, 2014.– 192 с.

12. Еськов В.М., Гавриленко Т.В., Вохмина Ю.В., Зимин М.И., Филатов М.А. Измерение хаотической динамики двух видов теппинга как произвольных движений // Метрология.– 2014.– № 6.– С. 28–35.

13. Еськов В.М., Еськов В.В., Гавриленко Т.В., Вахмина Ю.В. Кинематика биосистем как эволюция: стационарные режимы и скорость движения сложных систем – complexity // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 3. Физ. Астрон.– 2015.– № 2.– С. 62–73.

14. Карпин В.А., Филатова О.Е., Солтыс Т.В., Соколова А.А., Башкатова Ю.В., Гудков А.Б. Сравнительный анализ и синтез показателей сердечно-сосудистой системы у представителей арктического и высокогорного адаптивных типов // Экология человека.– 2013.– № 7.– С. 3–9.

15. Козупица Г.С., Даянова Д.Д., Буркин Ю.Г., Берестин Д.К. Компарментно-кластерное моделирование неопределённостей в рамках детерминизма // Сложность. Разум. Постнеклассика.– 2014.– № 2.– С. 68–80.

16. Русак С.Н., Еськов В.В., Молягов Д.И., Филатова О.Е. Годовая динамика

погодно-климатических факторов и здоровье населения Ханты-Мансийского автономного округа // Экология человека.– 2013.– № 11.– С. 19–24.

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

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

19. Eskov V.M. Models of hierarchical respiratory neuron networks // Neurocomputing.– 1996.– Vol. 11, № 2-4.– P. 203–226.

20. Eskov V.M., Khadartsev A.A., Eskov V.V., Filatova O.E., Filatova D.U. Chaotic approach in biomedicine: individualized medical treatment // Journal of Biomedical Science and Engineering. – 2013. – Vol. 6.– P. 847.

21. Kelso. J.A.S. Multistability and metastability: understanding dynamic coordination in the brain // Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences.– 2012.– Vol. 367, № 1591.– P. 906–918.

References

1. Anishchenko VS, Vadivasova TE, Ok-rokvertskhov GA, Strelkova GI. Statisticheskie svoystva dinamicheskogo khaosa. Us-pekhii fizicheskikh nauk. 2005;175(2):163-79. Russian.

2. Vedyasova OA, Es'kov VM, Filatova OE. Sistemnyy kompartmentno-klasternyy analiz mekhanizmov ustoychivo-sti dykhatel'noy ritmiki mlekopitayushchikh. Samara: Ofort; 2005. Russian.

3. Es'kov VM, Filatova OE, Fu-din NA, Khadartsev AA. Novye metody izucheniya intervalov ustoychivosti biologicheskikh dinamicheskikh sistem v ramkakh kompartmentno-klasterного podkhoda. Vestnik novykh meditsinskikh tekhnologiy. 2004;11(3):5-6. Russian.

4. Es'kov VM, Zhivoglyad RN, Papshev VA, Popov YuM, Pashnin AS. Sistemnyy analiz i komp'yuternaya identifikatsiya

sinergizma v biologicheskikh dinamicheskikh sistemakh. Sistemnyy analiz i upravlenie v biomeditsinskikh sistemakh. 2005;4(1):108-11. Russian.

5. Es'kov VM, Zhivoglyad RN, Kartashova NM, Popov YuM, Khadartsev AA. Poniatiye normy i patologii v fazovom prostranstve sostoyaniy s pozitsiy kompartmentno-klasternogo podkhoda. Vestnik novykh meditsinskikh tekhnologiy. 2005;12(1):12-4. Russian.

6. Es'kov VM, Adaykin VI, Zi-lov VG, Loginov SI, Filatova OE, Khadar-tsev AA. Novye informatsionno – sistem-nye podkhody i paradigmy v klinicheskoy kibernetike. Vestnik novykh meditsinskikh tekhnologiy. 2006;13(2):35-9. Russian.

7. Es'kov VM, Nazin AG, Rusak SN, Filatova OE, Khadartseva KA. Sistemnyy analiz i sintez vliyaniya dinamiki klima-to-ekologicheskikh faktorov na zabolevae-most' naseleniya Severa RF. Vestnik no-vykh meditsinskikh tekhnologiy. 2008;15(1):26-9. Russian.

8. Es'kov VM, Es'kov VV, Filatova OE. Osobennosti izmereniy i modeli-rovaniya biosistem v fazovykh prostranst-vakh sostoyaniy. Izmeritel'naya tekhnika. 2010;12:53-7. Russian.

9. Es'kov VM, Khadartsev AA, Filatova OE, Khadartseva KA. Okolosutochnye ritmy pokazateley kardiorespiratornoy sistemy i biologicheskogo vozrasta cheloveka. Terapevt. 2012;8:36-43. Russian.

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

11. Es'kov VM, Khadartsev AA, Kozlova VV, et al. 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. Samara: Ofort; 2014. Russian.

12. Es'kov VM, Gavrilenko TV, Vokhmina YuV, Zimin MI, Filatov MA. Izmerenie khaoticheskoy dinamiki dvukh vidov

teppinga kak proizvod'nykh dvizheniy. Metrologiya. 2014;6:28-35. Russian.

13. Es'kov VM, Es'kov VV, Gavrilenko TV, Vokhmina YuV. Kinematika bio-sistem kak evolyutsiya: statsionarnye rezhimy i skorost' dvizheniya slozhnykh sistem – complexity. Vestn. Mosk. un-ta. Ser. 3. Fiz. Astron. 2015;2:62-73. Russian.

14. Karpin VA, Filatova OE, So-Itys TV, Sokolova AA, Bashkatova YuV, Gudkov AB. Sravnitel'nyy analiz i sin-tez pokazateley serdechno-sosudistoy sistemy u predstaviteley arkticheskogo i vysokogornogo adaptivnykh tipov. Ekologiya cheloveka. 2013;7:3-9. Russian.

15. Kozupitsa GS, Dayanova DD, Burykin YuG, Berestin DK. Kompartimentno-klasternoe modelirovanie neopredelenno-stey v ramkakh determinizma. Slozhnost'. Razum. Postneklassika. 2014;2:68-80. Russian.

16. Rusak SN, Es'kov VV, Molya-gov DI, Filatova OE. Godovaya dinamika pogodno-klimaticheskikh faktorov i zdoro-v'e naseleniya Khanty-Mansiyskogo avto-nomnogo okruga. Ekologiya cheloveka. 2013;11:19-24. Russian.

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

18. Es'kov VM, Filatova OE. Respiratory rhythm generation in rats: the importance of inhibition. Neurophysiology. 1993;25(6):420.

19. Es'kov VM. Models of hierarchical respiratory neuron networks. Neurocomputing. 1996;11(2-4):203-26.

20. Es'kov VM, Khadartsev AA, Es'kov VV, Filatova OE, Filatova DU. Chaotic approach in biomedicine: individualized medical treatment. Journal of Biomedical Science and Engineering. 2013;6:847.

21. Kelso JAS. Multistability and metastability: understanding dynamic coordination in the brain. Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences. 2012;367(1591):906-18.