

DOI: 10.51790/2712-9942-2020-1-3-5

ЭНТРОПИЙНЫЙ ПОДХОД В ФИЗИКЕ ЖИВЫХ СИСТЕМ И ТЕОРИИ ХАОСА-САМООРГАНИЗАЦИИ

А. А. Хадарцев ¹, О. Е. Филатова ², И. А. Мандрыка ³, В. В. Еськов ³

¹ Тульский государственный университет, Медицинский институт, г. Тула, Российская Федерация

² Сургутский филиал ФГУ ФНЦ НИИСИ РАН, г. Сургут, Российская Федерация

³ Сургутский государственный университет, г. Сургут, Российская Федерация, firing.squad@mail.ru

Аннотация: рассматриваются фундаментальные законы поведения живых систем с позиций классической термодинамики Р. Клаузиуса и Л. Больцмана и термодинамики неравновесных систем I.R. Prigogine. Показывается с позиций новой теории хаоса-самоорганизации, что законы термодинамики невозможно применять к живым гомеостатическим системам на уровне организации этих систем (т. е. на системном уровне), хотя на молекулярном уровне все работает. Одновременно мы не можем использовать и законы термодинамики неравновесных систем. Для гомеостатических (живых) систем неприменима теорема Гленсдорфа–Пригожина о минимуме прироста энтропии $P=dE/dt$ в области (окрестности), где энтропия E имеет максимум (в точках равновесия). Более того, само понятие равновесия в границах термодинамики неприменимо к медико-биологическим системам – системам третьего типа.

Ключевые слова: матрицы парных сравнений, треморограмма, теппинграмма, энергия, энтропия, эффект Еськова–Зинченко.

Благодарности: работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 18-07-00161 А «Разработка вычислительной системы мониторинга и моделирования параметров организма жителей Севера РФ».

Для цитирования: Хадарцев А. А., Филатова О. Е., Мандрыка И. А., Еськов В. В. Энтропийный подход в физике живых систем и теории хаоса-самоорганизации. *Успехи кибернетики*. 2020;1(3):41–49. DOI: 10.51790/2712-9942-2020-1-3-5.

THE ENTROPY-BASED APPROACH TO PHYSICS OF LIVING SYSTEMS AND THE CHAOS AND SELF-ORGANIZATION THEORY

Alexander A. Khadartsev ¹, Olga E. Filatova ², Igor A. Mandryka ³, Valery V. Eskov ³

¹ Tula State University, School of Medicine, Tula, Russian Federation

² Surgut Site, System Analysis Research Institute, Russian Academy of Sciences, Surgut, Russian Federation

³ Surgut State University, Surgut, Russian Federation, firing.squad@mail.ru

Abstract: the fundamental living system behavior patterns are considered in terms of classical Clausius and Boltzmann thermodynamics, and I. R. Prigogine non-equilibrium system thermodynamics. The new theory of chaos and self-organization shows that the laws of thermodynamics are inapplicable to live homeostatic systems at their level of organization (i.e., the system level), although they are perfectly applicable at the molecular level. We cannot use the laws of non-equilibrium system thermodynamics, either. The Glensdorff–Prigogine theorem stating the minimum entropy increase $P=dE/dt$ in the area (vicinity) where the entropy E has a maximum (at the equilibrium points) is inapplicable to homeostatic (living) systems. Moreover, the very concept of non-equilibrium as used in thermodynamics is inapplicable to the systems of the 3rd kind (medical and biological systems).

Keywords: pairwise comparison matrix, tremorogram, tappinggram, energy, entropy, Eskov–Zinchenko effect.

Acknowledgements: we thank the RFBR (grant 18-07-00161 A Development of a Computational Monitoring and Simulation System for the Russian North Dwellers Organism Properties) for support.

Cite this article: Khadartsev A. A., Filatova O. E., Mandryka I. A., Eskov V. V. The Entropy-Based Approach to Physics of Living Systems and the Chaos and Self-Organization Theory. *Russian Journal of Cybernetics*. 2020;1(3):41–49. DOI: 10.51790/2712-9942-2020-1-3-5.

Введение

Завершая свой творческий путь, I. R. Prigogine выпустил монографию (1997), над которой он и его коллеги трудились несколько десятилетий. Речь идет о книге «The End of Certainty: Time, Chaos, and the New Laws of Nature» [1]. Сразу отметим, что особых новых законов в этом издании мы не смогли найти, но нашли ряд высказываний о том, какими эти новые законы могли бы быть. В целом, речь может идти о предчувствии создания для живых систем некоторых новых законов, которые должны были бы вывести биосистемы (complexity) за пределы всей современной науки (что привело А. Пуанкаре и I. R. Prigogine к заключению о том, что на определенном этапе исследований возможно покинуть области математики и физики [1]). Однако сам I. R. Prigogine не вышел за пределы современной науки в ее детерминированном и стохастическом виде, но оставил нам много принципиальных вопросов, которые требуют своего решения во всех разделах современной биологии, медицины, экологии и психологии. Эти вопросы сводятся к новому пониманию проблемы гомеостаза и эволюции живых систем (complexity) [2–5].

В первую очередь, речь идет о вопросах дальнейшего развития термодинамики в целом и термодинамики неравновесных систем (ТНС) в частности, которые можно (или нельзя?) применять для описания живых систем. Эти живые системы другой наш предшественник W. Weaver в 1948 г. [6] стал относить к особым системам третьего типа (СТТ), которые, по мнению W. Weaver, нельзя было изучать в рамках традиционной (современной) детерминистской и стохастической науки — ДСН. Насколько были правы (или неправы) I. R. Prigogine, Р. Клаузиус, Л. Больцман, W. Weaver в своих попытках изучения живых систем с позиций термодинамики и ТНС? Ответ на этот принципиальный вопрос составил основу написания не только настоящей статьи, но и создания новой теории хаоса-самоорганизации (ТХС) и всей третьей глобальной парадигмы естествознания, которая нас уводит из области детерминизма и стохастики в новую область самоорганизующегося хаоса ССТ-complexity [7–10].

Речь идет, в первую очередь, о статике и кинематике особых гомеостатических систем (СТТ-complexity в нашей интерпретации) и о методах и моделях, позволяющих такие особые системы описывать и изучать. В целом, речь идет о физике (и математике) живых систем или о биофизике сложных биосистем (complexity), что будет более точно и верно [3–4]. Подчеркнем, что главная наша задача — доказать особые свойства ССТ-complexity (ГС), невозможность их описания в рамках ДСН. Именно ДСН требует точного (детерминизм) или приближенного (стохастика) описания ГС, но как только мы начинаем повторять процесс, то сразу возникают необычные свойства ГС, не подчиняющиеся ТНС в физике в целом (физика живого — другая физика) [4–5, 7].

Энтропия живых систем и гомеостаз — ССТ

Согласно второму началу термодинамики необратимые процессы должны производить энтропию E , а обратимые процессы (внутри себя) должны оставлять энтропию постоянной. Рост энтропии для необратимых процессов связан с их эволюцией, т. е. непрерывным изменением параметров систем (без повторений). Этот процесс сопровождается поглощением энергии, на что обращали внимание ещё Больцман и Клаузиус в XIX веке. Напомним, что само понятие «энтропия» в переводе с греческого означает «эволюция», и любая эволюция (как необратимый процесс) должна сопровождаться возрастанием энтропии и потреблением энергии. Более того, введение в 1865 г. Р. Клаузиусом понятия энтропии в дальнейшем было подкреплено его тезисами: «Энтропия мира постоянна. Энтропия мира возрастает». Может ли возрастать энтропия живых систем, находящихся в условиях непрерывного потребления энергии, и применима ли ТНС Prigogine к особым ССТ-complexity?

Эволюция вселенной (как и возрастные изменения организма отдельного человека) должна приводить к нарастанию энтропии, которое должно закончиться глобальным термодинамическим равновесием. Это символ тепловой смерти вселенной, который аналогичен и смерти человека. В конце жизни человека наступает смерть, которая выравнивает все градиенты в организме (концентрации, температуры, давления) и приводит организм к термодинамическому равновесию с окружающей средой. Таковы законы физики, которые должно быть и законами эволюции организма человека с возрастом. Так ли это происходит в действительности с живыми системами? Возрастает ли энтропия при затратах энергии организмом (например, при совершении работы) или при возрастных изменениях (при старении)? Что вообще происходит с энтропией организма при разных биологических процессах, при переходе из одного гомеостатического состояния в другой гомеостаз?

В своей уникальной работе [1] I. R. Prigogine пытается провести параллели между взглядами и результатами исследований Больцмана и Дарвина относительно эволюции и динамики поведения элементов системы (в термодинамике это столкновение молекул и Н-теорема, а в биологии — динамика изменения популяции). Однако в этих учениях имелось существенное различие: эволюция видов — это новое качество, новый вид, а для газа все заканчивается равновесием (минимум Н-функции и максимум энтропии Е). В целом же, в это время возникли фундаментальные расхождения между энтропией Больцмана (для газа) и эволюцией вида, которая может приводить к неравновесности, необратимости, появлению принципиально нового качества в биосистеме (к появлению нового вида).

Все эти расхождения остались и до наших дней. Главное и принципиальное из них — это парадокс J. Loschmidt и замечание M. Gell-Mann [8], о котором пишет I. R. Prigogine [1]: «энтропия и информация связаны между собой очень тесно. Энтропию Е можно рассматривать как своего рода меру незнания». При этом очевидно, что равновесное состояние наиболее вероятное, оно имеет минимальную энтропию, а информация J об этом состоянии имеет минимальную величину ($J \sim 1/E$). Однако такое утверждение касается только физических и химических систем. Равновесие для СТТ (живых систем) — это гомеостаз, но это состояние является статичным состоянием только с позиций ДСН. Гомеостаз выходит за рамки ДСН, в которой используется детерминистский подход (например, дифференциальные уравнения). Это другое понятие, другие законы, составляющие основу ТХС [8–10].

I. R. Prigogine приходит к выводу, что живые системы демонстрируют стрелу времени, которая приводит не к равновесию (беспорядку), а к усилению порядка, к эволюции живых систем, к их усложнению и накоплению информации. Сейчас очевидно, что живые системы, жизнь — это в первую очередь устойчивые градиенты давления, температуры, концентраций и накопления информации. Живые системы — это неравновесные системы, и они необратимы. В рамках обсуждения всех этих парадоксов и представлений I. R. Prigogine приходит наконец к некоторой классификации устойчивости и неустойчивости. В качестве примера он изучил минимум и максимум энергии у некоторого тела (шар на шаре), при этом для оценки критерия неустойчивости (как и в работах А. М. Ляпунова и А. Пуанкаре) была выбрана система, которая не возвращается в исходное положение при некоторых (порой крайне малых в эффекте бабочки) небольших отклонениях от равновесия. Забегая вперед, напомним, что гомеостаз биосистем не является ни стационарным режимом ($dx/dt=0$), ни статистически устойчивым состоянием (когда сохраняются статистические функции распределения $f(x_i)$) для параметров ГС x_i . Нет $f_j(x_i)=f_{j+1}(x_i)$ для ГС [13].

Оперируя ансамблями Гиббса в фазовом пространстве состояний, Пригожин нас подводит к вероятностным законам распределения, которые, по мнению А. Пуанкаре (и I.R. Prigogine тоже) должны нас привести к глобальному статистическому характеру законов физики. Развитие идей Пуанкаре о резонансах привело к созданию теории КАМ (А. Н. Колмогорова — В. И. Арнольда — Ю. К. Мозера). Следствие этой теории — теория динамического хаоса (положительная экспонента Ляпунова и разделение траекторий), диффузия и равномерное распределение — инвариантность мер [1–2, 14].

В действительности, все это имеет очень слабое отношение к реальным биосистемам, гомеостатичным СТТ-complexity, у которых локальное разбегание траектории заканчивается пересечением этих траекторий и отсутствием инвариантности мер. При этом мы согласны с выводом M. Gell-Mann: «... квантовая механика — основа, в которую должны вписаться все теории» [8]. Наше согласие сейчас вылилось во введение сначала принципа неопределенности Гейзенберга в описании ГС-СТТ. Одновременно (из физики) мы вводим сейчас и новые принципы относительности движений ТХС. В этом случае мы инвертируем понятия покоя и движения ГС [3–5].

Если в квантовой механике измерения вносят возмущения в систему и тем самым создают необратимость, то в теории гомеостатических систем (ТХС), где все элементы различны и выполняют разные функции, говорить об их измерениях и обратимости не имеет смысла. Как в квантовой механике нет наблюдаемых траекторий, так и в ТХС говорить о траектории поведения элемента сложной системы просто бессмысленно. Ее можно (практически) зарегистрировать, но это не дает никакой информации экспериментатору. Здесь, в ТХС, другой тип неопределенности, но проблемы с измерением аналогичны. Как и в квантовой механике, нет повторяемости и нет определенности в параметрах любой координаты $x_i=x_i(t)$ вектора состояния биосистемы $x(t)$. Нет не только детерминистской, но и стохастической повторяемости в динамике $x(t)$ в фазовом пространстве состояний. Любая траектория $x(t)$, любая выборка $x_i(t)$ для ГС-СТТ не может быть произвольно повторена. В ТХС имеем хаос

статистических функций $f(x)$ [14].

I. R. Prigogine в квантовой механике предлагает вместо уравнений Шредингера и уже общепринятого аппарата (расчета волновых функций) вводить резонансы Пуанкаре и матрицы плотности (вместо волновых функций), но для СТТ-complexity само понятие вероятности лишено какого-либо смысла. И если I. R. Prigogine предлагает нам: «Именно эти обобщения позволяют нам выполнить описание эволюционных характеристик нашей вселенной, основанное на вероятностном описании природы», то мы в ТХС предлагаем отойти от вероятностного (стохастического) описания объектов живой природы, т. е. $f(x)$ неповторима для ГС. Именно гомеостатические системы (живая природа) не могут быть описаны в рамках стохастики и теории динамического хаоса (детерминированного хаоса) Лоренца. Любые уравнения, функции в описании СТТ имеют разовый характер, СТТ — это уникальные системы живой природы, а само понятие гомеостаза не имеет аналогов в природе из-за непрерывной борьбы хаоса и самоорганизации самих ГС как в стационарном (гомеостатическом) состоянии, так и в период эволюции ГС [13].

Таким образом, необратимые процессы играют глобальную роль в физике живых систем (биофизике сложных систем — БСС), и они могут в представлениях I. R. Prigogine описываться законами изменения энтропии Е. При этом Prigogine подчеркивает необходимость использования квантования в подходах и не исключает построения некоторых общих теорий с позиций квантовой механики (но в рамках применения вероятности, что для ТХС совершенно неприменимо). Каковы же перспективы термодинамики неравновесных систем в отношении живых систем, СТТ-complexity?

Границы в описании ГС-СТТ

Для физических, химических и технических систем, которые находятся в состоянии близких к равновесным (для случая «линейной» неравновесной термодинамики) Пригожиным в 1945 году была доказана соответствующая теорема. В этом случае в равновесном состоянии $P=0$ (где $P=dE/dt$ внутри системы), а вблизи этого равновесия P достигает минимального значения. При этом график производства энтропии $P=dE_i/dt$ очень похож на график минимума свободной энергии F , но это касается представлений самого Пригожина, который даже не догадывался о реальности гомеостатических систем и их особенностей, когда две соседние выборки совпадают с вероятностью $p \leq 0,05$ (т. е. $f_j(x_i)=f_{j+1}(x_i)$ с $\leq 0,05$).

Дальнейшие исследования И. Пригожина совместно с Полем Гленсдорфом показали, что сильно неравновесные системы не удовлетворяют принципу минимума вблизи равновесного состояния. Для этих систем был сформулирован «общий критерий эволюции» в виде достаточного условия стабильности. Эти ученые ввели для биосистем особое понятие диссипативных структур. Однако, расширяя область неравновесности и увеличивая число бифуркаций, Пригожин приходит к динамическому хаосу с его экспоненциальным разбеганием траекторий. Других моделей и методов исследования в ТНС Пригожиным и его научной школой не было предложено [1]. Да они и до настоящего времени никем не предлагаются, т. к. базируются на повторяемости и воспроизводимости любых состояний $x(t)$, как начального $x(t_0)$, так и промежуточного $x(t)$, и конечного $x(t_k)$. Однако ГС такой устойчивости не могут демонстрировать, они статистически хаотичны, т. е. уникальны [13].

Одновременно нобелевский лауреат активно использует термин «флуктуация». Как известно, этот термин употребим, если мы имеем некоторое статистически устойчивое состояние с определенным статистическим законом распределения. Это означает, что получаемые выборки x_i должны иметь одинаковые $f(x_i)$ — статистические функции распределения. При этом, если состояние биосистемы не изменяется, то $f_j(x_i)=f_{j+1}(x_i)$ для любого j , где j — номер выборки для x_i . Сохраняются также числовые характеристики для выборок x_i , описывающих объекты в биологии, медицине и т. д. Флуктуации показывают отклонения от этих характеристик, но $f(x_i)$ должна сохраняться, если биосистема находится в устойчивом состоянии (с позиций стохастики). Сейчас в ТХС мы доказали, что таких состояний у ГС не бывает, это уникальные системы, их $f(x)$, спектральные плотности сигналов (СПС), автокорреляции $A(t)$ непрерывно и хаотически изменяются [3–5, 12–13].

Традиционно трактуемая в физике (и термодинамике, в частности) флуктуация как отклонение от равновесного состояния (но в пределах уже известной функции распределения $f(x_i)$) должна претерпеть серьезное смысловое изменение при переходе к живым системам (СТТ-complexity). В новой теории хаоса-самоорганизации для биосистем, находящихся далеко не только от детерминированного (физического, химического или технического) равновесия (в виде $dx/dt=0$), но и от стохастического

равновесия (когда сохраняются $f(x_i)$), мы должны будем ввести другие понятия устойчивости, стационарности и эволюции. Эти новые понятия в ТХС принимают совершенно другой смысл, чем в ТНС I. R. Prigogine. Наблюдается инверсия понятий покоя и возбуждения, то, что было в ДСН (в виде $dx/dt=0$ или $f(x)$ неизменное), в ТХС становится движением наоборот.

Если сам Пригожин совершил переход к неравновесным диссипативным структурам и ушел от классической механики (и физики в целом) в область ТНС, то нам пришлось уйти и от законов ТНС I. R. Prigogine в новую область особой гомеостатической устойчивости сложных биосистем (СТТ-complexity). Эта гомеостатическая устойчивость в рамках современной науки (детерминированной и стохастической науки — ДСН) является абсолютно неустойчивым состоянием. Для этого мы вводим аналог принципа Гейзенберга — понятие «квазиаттрактор» (не путать с квазиаттрактором в теории динамических систем). Гомеостаз (стационарное состояние ГС) описывается неопределенностью 2-го типа для СТТ [3–5, 7].

Именно для СТТ-complexity в ТХС вводят понятие неопределенности 2-го типа, когда получаемые подряд выборки x_i вектора состояния системы $x=x(t)=(x_1, x_2, \dots, x_m)^T$ не могут демонстрировать одинаковые статистические функции распределения, т. е. $f_j(x_i) \neq f_{j+1}(x_i)$ для любой пары подряд получаемых j -й и $j+1$ -й выборок любого x_i из $x(t)$. Эта неопределенность касается именно гомеостатического состояния биосистемы, когда биосистема находится в якобы стационарном состоянии, а все ее регуляторные функции направлены на поддержание этого стационарного состояния. Неопределенность 2-го типа сразу уводит все ГС (СТТ-complexity) из области ДСН в область ТХС, где другие понятия статистики и кинематики (покоя и движения, где вводится 5 принципов организации ГС и особые законы эволюции ГС) [3–6].

Согласно теории функциональных систем организма (ФСО) П. К. Анохина мы должны наблюдать положительный для организма эффект регуляции параметров ФСО. Это и есть определение гомеостаза с позиций теории ФСО П. К. Анохина. Система должна находиться в оптимуме. Однако при этом, с позиций третьей глобальной парадигмы и ТХС, мы не можем наблюдать математически общепринятое стационарное состояние (стационарный режим) для $x(t)$ в фазовом пространстве состояний (ФПС) в виде $dx/dt=0$ и $x_i=\text{const}$. Такое для СТТ-complexity невозможно в принципе, т. к. постоянно $dx/dt \neq 0$. Стационарным ГС для ФПС вводятся ограничения движения $x(t)$ в пределах квазиаттракторов, когда для вариационных размахов Δx_1 и Δx_2 ($x_2=dx_1/dt$) записывается неравенство $z_{\min} \leq \Delta x_1; \Delta x_2 \leq z_{\max}$.

Одновременно нет и стохастической устойчивости в виде $f_j(x_i)=f_{j+1}(x_i)$ для двух подряд получаемых выборок x_i . Более того, при изменении функционального состояния организма (его ФСО) мы в рамках ДСН не можем регистрировать изменения $f(x)$, т. к. они и до этого находятся в непрерывной хаотической динамике. Если все непрерывно изменяется с позиций ДСН, то как регистрировать изменение гомеостаза сложных биосистем? Как вообще что-либо регистрировать для таких сложных, эмерджентных систем (СТТ-complexity)?

Для ответа на этот вопрос и для окончательного завершения рассмотрения возможностей термодинамики неравновесных систем И. Р. Пригожина в изучении особых (неравновесных!) гомеостатических систем мы должны определиться с поведением энтропии в этих всех существенных отличиях моделей и методов ДСН при их применении к СТТ. Действительно, если $dx/dt \neq 0$ непрерывно и $f(x_i)$ не сохраняется (нет статистической устойчивости СТТ), то как себя ведет энтропия E в различных стационарных и переходных (при переходе из одного гомеостатического состояния в другое) процессах? Выполняются ли законы термодинамики И. Р. Пригожина для СТТ?

Оказывается, что и здесь динамика поведения параметров x_i для любого вектора $x(t)$, описывающего нервно-мышечную систему (НМС) и кардио-респираторную систему (КРС), как главных (базовых) ФСО по П. К. Анохину, демонстрирует весьма необычное, уникальное поведение. Это поведение противоречит традиционным законам классической термодинамики и ТНС I. R. Prigogine. Например, система (СТТ-complexity) может затрачивать энергию и совершать работу, но при этом ее энтропия E может и не изменяться ($dE/dt=0$ при переходе из одного устойчивого состояния в другое устойчивое состояние) при переходе из гомеостаза G_1 в гомеостаз G_2 (при условии, что $G_1 \neq G_2$) [50–59, 60–66].

Более того, и теорема Гленсдорфа–Пригожина о минимуме прироста энтропии при максимуме самой энтропии E ($E \rightarrow \max$ при переходе в другое стационарное состояние биосистемы) не выполняется. Биосистемы демонстрируют уникальное поведение не только СПС, $A(t)$ и других статистических параметров. В частности, энтропии E и ее скорости изменения $P=dE/dt$ как в якобы стационарных

состояниях, так и при переходе из одного состояния (более устойчивого, спокойного состояния) в менее устойчивое (сопряженное с сознательными затратами энергии и выделением тепла Q , E может не изменяться). Такие фазовые переходы из G_1 в G_2 не подчиняются законам ТНС и требуют особого рассмотрения и с позиций ТНС, и с позиций всей термодинамики [16].

Рассмотрим ряд некоторых примеров для базовых функциональных систем организма (КРС и НМС) человека, которые определяют всю нашу жизнь, включая и возрастные изменения (старение), заканчивающиеся смертью организма. Рассмотрение выполним на примере нервно-мышечной системы, т. е. биомеханики. Напомним, что именно в биомеханике в 1947 г. Н. А. Берштейном был осуществлен первый прорыв в области познания СТТ-complexity, т. е. ГС. Это сейчас происходит в ТХС, когда доказали гипотезу о «повторении без повторений» при выполнении человеком любых двигательных актов.

Энтропия Шеннона в оценке движений как пример механических процессов

Для оценки ЭМГ в разных G_1 и G_2 рассмотрим простое произвольное движение, которое сопровождается мышечным сокращением определенных групп мышц. Речь идет об удержании динамометра испытуемым в определенном положении. Это соответствует управляемым произвольным усилиям, развиваемым определенной группой мышц. Фактически речь идет о произвольном движении в виде управляемой регуляции (сознанием) мышечного усилия. При этом в виде электромиограммы (ЭМГ) регистрировались процессы сокращения мышцы разгибателя мизинца (*abductor digiti nova*), которая тоже участвует в системе мышечных напряжений по удерживанию динамометра первоначально с усилием $F_1 = 5 \text{ daH}$, а затем $F_2 = 2F_1 = 10 \text{ daH}$. Эти движения контролировались экспериментатором и самим испытуемым, т. е. это был сознательный акт сжатия конечности на который затрачивалась энергия w , совершалась разная работа ($G_1 \neq G_2$).

Полученные подряд файлы образовывали серии по 15 выборок ЭМГ в каждой такой серии. Одновременно ЭВМ (по специальной программе) рассчитывала первую производную $x_2 = x_2(t) = dx_1/dt$ для каждого такого файла. Для каждого испытуемого было зарегистрировано 15 серий по 15 выборок ЭМГ в каждой такой серии. Для нас было очень важно доказать, что нет существенных различий между параметрами тремора, т. е. удерживаниями конечности (тремор пальца и кисти руки) в данной точке пространства (постуральный тремор конечности) и параметрами ЭМГ, которые получают тоже при условии удерживания мышц в нужном (произвольном) напряжении.

Если сравнивать эти два опыта, т. е. регистрацию треморограммы (ТМГ) при удерживании пальца с металлической пластиной на определенном (фиксированном) расстоянии до датчика, и параметры ЭМГ, которая получается при определенных (произвольных) попытках удерживать кисть при нужном усилии (на динамометре), то в результатах (и точках выполнения этих действий) существенных различий нет именно для энтропии Шеннона E , которая рассчитывалась и для ЭМГ в G_1 и для ЭМГ в гомеостазе G_2 . Иными словами, мы доказываем полное сходство с данными по электромиографии (таблица 1) и данными в двух разных гомеостазах.

При регистрации треморограммы мы получаем хаотический набор регистрируемых координат $x = x(t)$ для ТМГ и их скорости $x_2 = x_2(t) = dx_1/dt$. При регистрации ЭМГ мышцы кисти в режиме заданных усилий мы также получаем набор ЭМГ с координатами вектора $x = (x_1, x_2)^T$, где уже x_1 — это регистрируемые биопотенциалы мышц (ЭМГ), $x_2 = dx_1/dt$ — скорость этих биопотенциалов.

Для ТМГ мы имеем классическую биомеханическую задачу: регистрация непроизвольных движений (тремора). Для ЭМГ мы имеем тоже традиционную для биофизики мышц задачу: регистрация ЭМГ конкретных мышц, находящихся в определенных (заданных произвольно) условиях. Статистическая обработка 15-ти серий ТМГ для 15 выборок ТМГ в каждой серии из 15-ти испытуемых (по 225+225) выборок ЭМГ для каждого испытуемого в двух разных гомеостазах G_1 и G_2 ($G_1 \neq G_2$) показала низкие доли стохастичности [3–5, 12, 14–15].

Все это доказывает, что хаос в параметрах ЭМГ приводит и к хаосу на макроуровне в виде механограмм (ТМГ). Следуя логике эффекта Еськова–Зинченко, мы первоначально провели обработку параметров ЭМГ и ТМГ в рамках расчета матриц парных сравнений выборок, и затем были выполнены расчеты параметров квазиаттракторов (КА) и энтропии S для каждой из 225-ти выборок для всех 15-ти серий эксперимента для каждого испытуемого.

Сразу ответим, что мы имеем дело с уникальными процессами и поэтому подряд полученные (в неизменном гомеостазе) выборки ТМГ (или ЭМГ) отдельных испытуемых не совпадают. Более того,

Таблица 1

Сравнительный анализ значений энтропии Шеннона E для ЭМГ группы респондентов и одного испытуемого

	Разные испытуемые		Один испытуемый (повторения)	
	Е, при F=5даН	Е, при F=10даН	Е, при F=5даН	Е, при F=10даН
1	3.984	3.546	3.441	3.584
2	3.441	3.822	3.822	3.441
3	3.684	3.584	3.522	3.384
4	3.133	3.884	3.584	3.584
5	3.346	3.646	3.546	3.684
6	3.346	3.546	3.822	3.209
7	2.533	2.204	3.641	3.722
8	3.322	0.848	3.641	3.484
9	3.322	0.848	3.641	3.484
10	3.622	3.441	3.784	3.584
11	3.304	3.339	3.784	3.784
12	3.984	3.684	3.541	3.441
13	3.346	3.484	4.122	3.784
14	3.484	3.784	3.441	3.722
15	3.139	3.446	3.546	3.922
<E>	3.4	3.141	3.659	3.588
	Критерий Вилкоксона, значимость функций $f(x)$ $p=0,82$		Т-критерий, значимость функций $f(x)$ $p=0,24$	

имеется существенное различие между женщинами и мужчинами, между испытуемыми без особой физической тренировки (не спортсмены, лица, редко занимающиеся физической культурой и спортом) и спортсменами, т. е. мы имеем разные гомеостазы НМС ($G_1 \neq G_2$). Для примера приведем результаты построения матриц парного сравнения выборок ТМГ (биомеханических и биоэлектрических параметров) испытуемого ГДВ, и для этого же испытуемого представим результаты расчета матриц ТМГ в режиме 15-ти серий наблюдений (т.е. всего 225 выборок ТМГ).

Отметим, что режим 15-ти серий по 15 выборок в каждой — это наша стандартная процедура в биомеханике. Характерно, что все 15 матриц построены при попарном сравнении ТМГ у испытуемого ГДВ, они доказывают определенную статистическую устойчивость для значений числа k (это число k получается при совпадении выборки ТМГ в каждой такой матрице). Более того, при среднем значении $\langle k \rangle = 4,9$ для всех 15-ти серий мы можем зарегистрировать характерно нормальное распределение этих значений k для всех 15-ти серий, что нельзя сказать про сами эти выборки ТМГ (они уникальны). Подчеркиваем, что $k=1$ соответствует тому, что сравниваются две выборки ТМГ, которые имеют критерий Вилкоксона $p > 0,05$, т. е. попадают в одну генеральную совокупность (это и означает совпадение выборок). Это значит, что у них имеются одинаковые статистические функции распределения $f(x_i)$ в предельном значении (для некоторой общей генеральной совокупности) [14–15].

Однако это совершенно не означает, что могут быть совпадения для двух подряд выборок. Случайно получить, произвольно для двух подряд регистрируемых выборок ТМГ одну функцию распределения невозможно. Обычно совпадают разные выборки (не близко расположенные). Получить равенство статистических функций распределения для подряд последующих выборок, т. е. в виде $f_j(x_i) = f_{j+1}(x_i)$, — задача крайне сложная. Для тремора вероятность такого события значительно меньше 0,01 (т.е. $p < 0,01$), в то время как общее $k \leq 7$ в нашем примере означает, что вероятность такого совпадения (подряд) мала $p_1 < 10$. В таблице 2 отсутствует совпадение двух соседних ТМГ, а число $k_1 = 3$. На рис. мы показываем характерный пример распределения значений k (число пар совпадений выборок), что характерно и для других испытуемых.

В этом и заключается эффект Еськова–Зинченко, который доказывает уникальность не только треморограмм, но и теппинграмм, ЭМГ и многих других биомеханических и биоэлектрических про-

Таблица 2

Матрица парного сравнения выборок треморограмм испытуемого ГДВ (число повторов $N=15$), использовался критерий Вилкоксона (уровень значимости $p < 0,05$, число совпадений $k=3$)

	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	0.69	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	0.01	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	0.12
4	0.00	0.00	0.00		0.01	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	0.01		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	0.00	0.00
9	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		0.00	0.30	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	0.69	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.30	0.00		0.01	0.00	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	0.01		0.00	0.00	0.00
13	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		0.00	0.00
14	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		0.00
15	0.00	0.00	0.12	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	

цессов в организме человека. Для примера мы приводим таблицу 2, которая показывает отсутствие совпадений двух подряд полученных выборок ТМГ. В таблице 2 нет ни одной пары ТМГ, которые бы продемонстрировали равенство статистических функций распределения, т. е. $f_j(x_i) = f_j(x_i)$. На 105 разных пар в этой таблице нет ни одной пары с j и $j+1$ номерами с совпадением, и это характеризует типичную матрицу для ТМГ. Из всех 225 выборок $p < 0,01$ для совпадения соседних пар при обследовании многих испытуемых. Разные люди (спортсмены и не спортсмены, женщины, мужчины, дети) могут показывать разные значения k в разных выборках, но обычно для ТМГ $k_1 \leq 7$, а $p_2 < 0,01$.

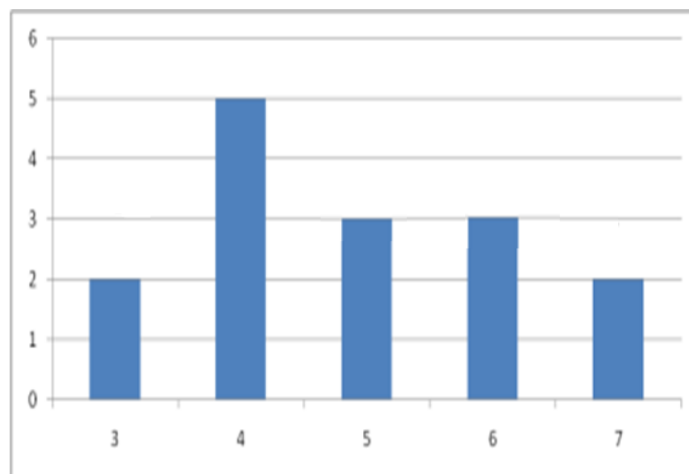


Рис. Гистограмма распределений z числа пар совпадений выборок k для 15-ти серий измерений треморограмм у испытуемого ГДВ (по 15 выборок треморограмм в каждой из 15-ти серий), где z — число одинаковых k в матрицах

Доказан эффект Еськова–Зинченко (ЭЕЗ), в котором отсутствует устойчивость выборок (у нас для ТМГ и ЭМГ). В итоге мы не можем использовать статистические показатели при изучении СТТ. Возникает реальная complexity, которую не обсуждали три нобелевских лауреата (I. R. Prigogine, M. Gel-Mann, R. Penrose). Более того, эти ученые (и тысячи других физиков) очень надеялись на динамический хаос Лоренца. Их надежды не оправдались. В итоге ТНС I. R. Prigogine не может описывать процессы, происходящие в живых системах. ЭЕЗ ограничивает возможности всей детерминистской и стохастической науки в описании СТТ-complexity. Жизнь выходит за рамки традиционной ДСН.

Заключение

Для особых СТТ (живых систем) энтропия Шеннона E может оставаться неизменной при переходе из одного физического состояния организма в другое состояние. Все это ограничивает возможности дальнейшего применения термодинамики (и ТНС Пригожина И. Р. тоже) в описании живых систем. Более того, динамический хаос Лоренца к этим СТТ тоже неприменим.

ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

1. Prigogine I. R. *The End of Certainty: Time, Chaos, and the New Laws of Nature*. London: Free Press, 1997. 228 p.
2. Ivanitskii G. R. Self-Organizing Dynamic Stability of Far-From-Equilibrium Biological Systems. *UFN*. 2017;187(7):757–784. DOI: 10.3367/UFNe.2016.08.037871.
3. Eskov V. V., Filatova D. Yu., Ilyashenko L. K., Vochmina Y. V. Classification of Uncertainties in Modeling of Complex Biological Systems. *Moscow University Physics Bulletin*. 2019;74:57–63. DOI: 10.3103/S0027134919010089.
4. Grigorenko V. V., Eskov V. M., Nazina N. B., Egorov A. A. Information-Analytical System of Cardiographic Information Functional Diagnostics. *Journal of Physics: Conference Series*. 2020;1515:052027. DOI: 10.1088/1742-6596/1515/5/052027.
5. Grigorenko V. V., Bashkatova Yu. V., Shakirova L. S., Egorov A. A., Nazina N. B. New Information Technologies In The Estimation Of Stationary Modes Of The Third Type Systems. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2020;862:052034. DOI: 10.1088/1757-899X/862/5/052034.
6. Weaver W. Science and Complexity. *American Scientist*. 1948;36(4):536–544. DOI:10.1007/978-1-4899-0718-9_30.
7. Khadartseva K. A., Filatov M. A., Melnikova E. G. The Problem of Homogenous Sampling of Cardiovascular System Parameters among Migrants in the Russian North. *Human Ecology*. 2020;7:27–31. DOI: 10.33396/1728-0869-2020-7-27-31.
8. Gell-Mann M. Fundamental Sources of Unpredictability. *Complexity*. 1997;3(1):13–19. DOI: 10.1002/(SICI)1099-0526(199709/10)3:1<9::AID-CPLX4>3.0.CO;2-9.
9. Albert S. T., Hadjiosif A. M., Jang J., Zimnik A. J., Soteropoulos D. S., Baker S. N., Churchland M. M., Krakauer J. W., Shadmehr R. Postural Control of Arm and Fingers through Integration of Movement Commands. *Elife*. 2020;9:1–35. DOI: 10.7554/eLife.52507.
10. Ramstead M. J. D., Badcock P. B., Friston K. J. Answering Schrödinger's Question: A Free-Energy Formulation. *Physics of Life Reviews*. 2018;24:1–16. DOI:10.1016/j.plrev.2017.09.001.
11. Leonov B. I., Grigorenko V. V., Eskov V. M., et al. Automation of the Diagnosis of Age-Related Changes in Parameters of the Cardiovascular System. *Biomedical Engineering*. 2018;52:210–214. (In Russ.) DOI: 10.1007/s10527-018-9815-y.
12. Eskov V. M., Bazhenova A. E., Ilyashenko L. K., Grigorieva S. V. Effect of Cold on Involuntary Movements in Men with Different Levels of Physical Fitness in the Russian North. *Human Ecology*. 2019;6:39–44. DOI: <https://doi.org/10.33396/1728-0869-2019-6-39-44>.
13. Zilov V. G., Khadartsev A. A., Eskov V. M., Ilyashenko L. K. New Effect in Physiology of Human Nervous Muscle System. *Bulletin of Experimental Biology and Medicine*. 2019;167(4):419–423. DOI: 10.1007/s10517-019-04540-x.
14. Bashkatova Yu. V., Filatov M. A., Shakirova L. S. State of Athletes' Cardiovascular System under Physical Load in the Russian North. *Human Ecology*. 2020;6:41–45. DOI: <https://doi.org/10.33396/1728-0869-2020-6-41-45>.
15. Filatova O. E., Gudkov A. B., Eskov V. V., Chempalova L. S. The Concept of Uniformity of a Group in Human Ecology. *Human Ecology*. 2020;2:40–44. DOI: <https://doi.org/10.33396/1728-0869-2020-2-40-44>.
16. Friston K. J. The Free-Energy Principle: a Unified Brain Theory? *Nat. Rev. Neurosci*. 2010;11:127–138.