

DOI: 10.51790/2712-9942-2020-1-1-8

**МЕДИЦИНСКАЯ И БИОЛОГИЧЕСКАЯ КИБЕРНЕТИКА: ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ****В. М. Еськов<sup>1</sup>, В. Ф. Пятин<sup>2</sup>, Ю. В. Башкатова**<sup>1</sup> Сургутский филиал Федерального государственного учреждения «Федеральный научный центр Научно-исследовательский институт системных исследований Российской академии наук», г. Сургут, Российская Федерация, [firing.squad@mail.ru](mailto:firing.squad@mail.ru)<sup>2</sup> Самарский государственный медицинский университет, г. Самара, Российская Федерация

*Аннотация:* за последние 40–50 лет биологические науки сделали существенный прорыв в области молекулярно-клеточных исследований. При этом системный уровень за этот период претерпел существенное отставание. Со времен Н. Винера кибернетика перешла к решению частных задач, уйдя из области главных наук в изучении сложных систем. На наш взгляд, такая ситуация обусловлена общим кризисом детерминистского и стохастического подходов в изучении живых систем. Возрождение медицинской и биологической кибернетики как науки об управлении в биологических системах возможно только в связи с новым пониманием принципов регуляции и функционирования любых сложных биосистем (*complexity*). Это новое понимание должно базироваться на новых принципах регуляции биосистем, в которых хаос и многократные повторения одних и тех же процессов должны превалировать над детерминистской определенностью или стохастической неопределенностью. В этом возрождении интереса ко всей кибернетике особую роль должна сыграть новая теория хаоса-самоорганизации, которая сейчас разрабатывается несколькими научными школами Москвы, Тулы, Самары и Сургута. В основе этого нового научного направления лежит эффект Еськова–Зинченко (отсутствие статистической устойчивости любых параметров организма человека) и новые модели поведения вектора состояния биосистемы  $x = x(t) = (x_{12}, x_{21}, \dots, x_m)^T$  в фазовом пространстве состояний.

*Ключевые слова:* стохастика, хаос, самоорганизация, эффект Еськова–Зинченко.

*Для цитирования:* Еськов В. М., Пятин В. Ф., Башкатова Ю. В. Медицинская и биологическая кибернетика: перспективы развития. *Успехи кибернетики*. 2020;1(1):54–62. DOI: 10.51790/2712-9942-2020-1-1-8.

**MEDICAL AND BIOLOGICAL CYBERNETICS: DEVELOPMENT PROSPECTS****Valery M. Eskov<sup>1</sup>, Vasiliy F. Pyatin<sup>2</sup>, Yuliya V. Bashkatova**<sup>1</sup> Surgut Branch of Federal State Institute “Scientific Research Institute for System Analysis of the Russian Academy of Sciences”, Surgut, Russian Federation, [firing.squad@mail.ru](mailto:firing.squad@mail.ru)<sup>2</sup> Samara State Medical University, Samara, Russian Federation

*Abstract:* life sciences advanced greatly in molecular and cell research for the last 40-50 years. However, the system-oriented approach lags behind. Since the times of N. Wiener, cybernetics switched to specific problems and ceased to be the primary science for studying complex systems. We believe the reason for this is the general crisis of deterministic and stochastic approaches to living systems. The revival of medical and biological cybernetics as a science of control in biological systems is possible only through a new understanding of the regulation and operation principles of any complex biosystems. Such a new understanding should be based on new principles of biosystem regulation, as chaos and repetitive processes shall prevail over deterministic certainty or stochastic uncertainty. A special role in this revival of interest in cybernetics is given to the new chaos-self-organization theory, which is now being developed by several teams in Moscow, Tula, Samara, and Surgut. This new area of research is based on the Eskov-Zinchenko effect (lack of statistical robustness of any human body properties) and new models of the biosystem state vector behavior  $x=x(t)=(x_{12}, x_{21}, \dots, x_m)^T$  in the phase state space.

*Keywords:* stochastics, chaos, self-organization, Eskov-Zinchenko effect.

*Cite this article:* Eskov V. M., Pyatin V. F., Bashkatova Yu. V. Medical and Biological Cybernetics: Development Prospects. *Russian Journal of Cybernetics*. 2020;1(1):54–62. DOI: 10.51790/2712-9942-2020-1-1-8.

## Введение

Бурное развитие кибернетики (как науки об управлении в живой и неживой природе) в середине 20-го века связано с усилиями двух выдающихся ученых: П. К. Анохина [1] и Н. Винера. Подчеркнем, что именно П. К. Анохин ввел понятие акцепторов результатов действия в работу любой функциональной системы организма (ФСО) человека. При этом работа ФСО в теории П. К. Анохина направлена на получение полезного эффекта для организма. Он ввел понятие обратной связи, которая реализует коррекцию деятельности любой ФСО. Однако до настоящего времени остается проблема строгого математического определения понятия «полезность» и механизмов акцептора действия, последние и мало изучены.

Н. Винер очень высоко оценивал работы П. К. Анохина, но за эти 70–80 лет вся биокибернетика развивалась в русле построения детерминистских и стохастических моделей. Можно сказать сейчас, что некоторое снижение темпов развития всей кибернетики обусловлено именно усилиями детерминистско-стохастической науки (ДСН) при описании процессов, происходящих в живых системах. Однако еще *W. Weaver* в 1948 г. [2] выделял живые системы в отдельный класс систем третьего типа (СТТ). Следуя логике *W. Weaver* такие СТТ должны бы были моделироваться в рамках некоторой другой (отличной от ДСН) науки [2]. Однако за эти более чем 70 лет ничего нового не было создано для построения математической теории в описании СТТ-*complexity* [3–11]. За этот период никто не пытался изучать свойства СТТ и изучение живых систем происходило в рамках ДСН [3–6].

Такая задержка в развитии биокибернетики обусловлена именно глобальностью ограничения методов ДСН в описании живых систем. Однако за последние 25–30 лет была создана компартиментно-кластерная теория биосистем (ККТБ) [12–13] и начала создаваться теория хаоса-самоорганизации (ТХС). Появление ККТБ и ТХС существенно изменяет наши представления о принципах регуляции и управления в биосистемах [14]. Сейчас становится очевидно, что ДСН не может описывать реальные свойства живых систем (СТТ по классификации *W. Weaver*). Мы ожидаем, что ТХС откроет новые перспективы в развитии биокибернетики и всей кибернетики [15–17].

## Предпосылки создания ТХС и новой биокибернетики

Первоначально, в 30–50-х годах 20-го века, П. К. Анохин обосновывал базовые принципы работы различных регуляторных систем в организме человека и животных. Фактически Петр Кузьмич выступил с критикой теории И. П. Павлова о рефлексах, подчеркивая линейность в развитии любого рефлекса [1]. П. К. Анохин начал говорить об акцепторе результатов действия, т. е. он впервые выделил значение обратной связи в работе любой регуляторной системы. За счет этих обратных связей в итоге такой акцептор действия осуществляет коррекцию деятельности как ФСО, так и всего организма в целом [15–16].

П. К. Анохин подчеркивал, что организм человека существует за счет работы своих различных функциональных систем — ФСО. Эти ФСО должны обеспечивать в результате своей деятельности определенный положительный эффект. Акцептор результатов действия должен обеспечивать устойчивое состояние организма в условиях разных (и хаотических) изменений параметров окружающей среды или за счет изменения самой ФСО. Работа ФСО должна обеспечивать не только гомеостаз организма, но и различные виды жизнедеятельности (включая и мыслительную деятельность). П. К. Анохин подчеркивал наличие обратных связей в живой природе, и это оценил Н. Винер при построении основ кибернетики.

Подчеркнем, что в кибернетике 20-го века особое внимание уделялось отрицательным обратным связям. Однако еще в конце 19-го века А. А. Богданов подчеркивал значение положительных связей в живых системах. В своей «Тектологии» А. А. Богданов пытался на рубеже 19–20 веков построить общую теорию систем, где бы оба типа связей работали на равных. Задание положительных связей в живых системах выделил *H. Haken* (1969 г.), который пытался построить синергетику как дополнение и продолжение кибернетики [18]. Однако и синергетика не получила должного развития [3, 8, 15]. После определенного всплеска в конце 20-го века мы сейчас наблюдаем некоторый спад интереса к синергетике [4, 8, 11, 15].

Чем можно объяснить такой спад в развитии кибернетики как теории управления в сложных системах и синергетики в 21 веке? Является ли это закономерным процессом или виноваты субъективные обстоятельства? Подчеркнем, что еще *I. R. Prigogine* (как итог всей его научной карьеры) говорил

об окончании детерминистского подхода в описании живых систем [19]. В своей итоговой работе «*The end of certainty*» *I. R. Prigogine* писал, что все процессы в живых системах являются необратимыми. При этом живые системы находятся вдали от равновесия, и для таких систем он построил термодинамику неравновесных систем (ТНС).

Отметим, что ТНС является линейной теорией, а все живые системы (это подчеркивал и *H. Haken* в своей синергетике [18]) являются нелинейными системами. При этом понятие нелинейности в математике ассоциируют с наличием нелинейных элементов в правой части дифференциальных уравнений, которые описывают поведение систем в живой и неживой природе. Характерным примером таких моделей является уравнение Ферхюльста-Пирла, где имеется отрицательная обратная связь, а само уравнение содержит квадратичный член в правой части (это уравнение имеет исторический смысл, т. к. было создано почти 200 лет назад).

Переход от линейной теории к нелинейной в ТНС *I. R. Prigogine* не был реализован, и очевидно, что сейчас ТНС может постигнуть участь теории рефлексов И. П. Павлова в физиологии. Все науки о живых системах (об СТТ по *W. Weaver*) требуют нелинейного подхода. Но в чем эта нелинейность заключается? На этот вопрос в конце 20-го века искали ответ два нобелевских лауреата (*I. R. Prigogine* и *M. Gell-Mane*). При этом они пытались ввести понятие «сложности» в описании СТТ, живых систем, но за эти 35 лет так и не появилось строгое определение «*complexity*» во всей мировой науке.

Известный историк науки *J. Horgan* на эту тему язвительно высказался [20] о том, что *S. Lloyd* еще в 90-х годах 20-го века представил не менее 30-ти определений «*complexity*», но и до настоящего времени строгого определения этому термину нет. Нет понимания того, что этот термин обозначает (именно в ДСН), т. к. динамический хаос Лоренца не имеет никакого отношения к живым системам (СТТ) [3–6].

Существенно, что именно *I. R. Prigogine* и *M. Gell-Mann* пытались описывать СТТ-*complexity* в рамках теории динамического хаоса Лоренца, но их усилия оказались безрезультатны. Сейчас в новой теории хаоса-самоорганизации (ТХС) мы доказали, что живые системы не являются объектом теории Лоренца. Однако детерминистский подход не следует списывать со счетов. В конце 20-го века была [10–13] построена компартментно-кластерная теория биосистем (ККТБ). Основу ККТБ составили системы уравнения вида:

$$\frac{dx}{dt} = A(y)x - bx + ud, \quad (1)$$

$$y = C^T x, \quad (2)$$

где вектор состояния биосистемы  $x(t) = (x_1, x_2, \dots, x_m)^T$  может иметь стационарные режимы (СР) в виде  $dx/dt \neq 0$ . Подчеркнем, что живые системы не могут демонстрировать такие стационарные режимы, а в ТХС мы вводим совершенно другое понимание СР. Отметим, что системы (1) содержат диссипативный член  $-bx$  и внешние управляющие драйвы, которые описываются слагаемым  $ud$ . Фактически ККТБ описывает диссипативные биосистемы вдали от равновесия, но характеристики этого равновесия в ККТБ не представлены. В реальности живые системы (системы третьего типа по *W. Weaver*) не имеют не только СР, но они не могут демонстрировать и статистической устойчивости для подряд получаемых выборок  $x_i$  [14].

Сейчас мы доказали (в ТХС), что ККТБ является переходной теорией от ДСН к ТХС. Однако, модели в ККТБ могут описывать статистический хаос СТТ, если перейти к уравнениям с разрывной правой частью (теория была разработана А. Ф. Филипповым и В. А. Галкиным [21–22]). В рамках ККТБ можно получить статистический хаос, который доказывает эффект Еськова–Зинченко (ЭЕЗ) [23]. Еще раз подчеркнем, что ККТБ является переходной теорией между детерминистским подходом и новой ТХС. В ТХС доказываются неопределенности 1-го и 2-го типов, которые в ДСН отсутствуют, но в ККТБ уже вводятся первые неопределенности на число элементов (и их поведения) в компартменте.

Очевидно, что все живые системы (СТТ) можно характеризовать как максимально неопределенные системы, для которых выполняется главный системный принцип: поведение отдельного элемента системы не влияет на динамику всей системы. В ККТБ это уже строго выполняется при построении кластеров и компартментов, но при этом динамика кластеров и компартментов описывается системой (1). В этой системе (1) матричная функция  $A(y)$ , где  $y(t)$  — функция выхода СТТ-*complexity*, имеет определенные (общие) ограничения. В целом, ККТБ было началом перехода к третьей парадигме естествознания [3, 11, 15] и к ТХС, где неопределенность является ключевым понятием. Почему мы сейчас

говорим о необходимости перехода к третьей парадигме и ТХС? Для ответа на этот вопрос рассмотрим ряд экспериментальных доказательств особой хаотичности СТТ [23].

**Гипотеза Н. А. Бернштейна и эффект Еськова–Зинченко**

Напомним, что гипотеза о «повторении без повторений» [24] была обоснована Н. А. Бернштейном в 1947 году, но ее доказательства мы представили только 20-25 лет назад [14]. При этом *W. Weaver* в 1948 году [2] только высказал гипотезу об особых СТТ. Но понимания особой сложности СТТ и до настоящего времени в современной науке нет. Мы работаем в биомедицине, психологии, экологии в рамках функционального анализа (детерминизма) и стохастики. Для медицинской и биологической кибернетики это типовая ситуация (без каких-либо перспектив развития). Около 25 лет назад была проверена гипотеза Н. А. Бернштейна и введено понятие ЭЭЗ, т. е. статистической неустойчивости выборок в биомеханике [3, 14].

ЭЭЗ был открыт именно в биомеханике, а затем он распространился и на другие ФСО, в частности на сердечно-сосудистую систему – ССС [8–11, 17]. Отметим, что в биомеханике ЭЭЗ наиболее выражен, т. к. там доля стохастики минимальна (менее 10 %). Рассмотрим этот ЭЭЗ на конкретных примерах именно из области биомеханики для треморограмм (ТМГ) и теппинграмм (ТПГ) как примеров произвольных (ТМГ) и произвольных (ТПГ) движений [25]. Хотя позже ЭЭЗ был доказан и в области физиологии ССС и других параметров организма человека.

В качестве примера мы приводим таблицу 1, где в матрице парных сравнений выборок 15-ти треморограмм, которые получены подряд от одного и того же испытуемого в его неизменном физиологическом состоянии, представлены критерии Вилкоксона *p*. Очевидно, при  $p \geq 0,05$  такая пара ТМГ будет иметь одну (общую) генеральную совокупность. Из табл. 1 следует, что число  $k_1$  (с  $p \geq 0,05$ ) крайне мало ( $k_1=3$ ), и это означает отсутствие статистической устойчивости выборок ТМГ. Выборки с вероятностью  $\beta \geq 0,95$  статистически не совпадают, и это доказывает особые свойства СТТ-*complexity*. Отметим, что такой статистический хаос не имеет ничего общего с хаосом Лоренца, на который так надеялись *I. R. Prigogine* [19], *M. Gell-Mann* и *S. Lloyd*.

Таблица 1

Матрица парного сравнения выборок треморограмм (ТМГ) одного и того же человека (без нагрузки, число повторов  $n = 15$ ), использовался критерий Вилкоксона (значимость  $p < 0,05$ , число совпадений  $k_1 = 3$ )

	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	0,00	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	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
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	0,00	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	0,01	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	0,01	0,00		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		0,51	0,00	0,00	0,01	0,70
11	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	<b>0,51</b>		0,00	0,00	0,00	1,00
12	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		0,00	0,00	0,00
13	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		0,00	0,00
14	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00		0,00
15	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	<b>0,70</b>	<b>1,00</b>	0,00	0,00	0,00	

Фактически табл. 1 и сотни ей подобных [3, 5, 22, 25] доказывают гипотезу Н. А. Бернштейна о «повторении без повторений» [24]. Эта гипотеза сейчас реализована в виде эффекта Еськова–Зинченко (ЭЭЗ), который основан на статистической неустойчивости не только биомеханических параметров (в табл. 1 для ТМГ), но и для многих других параметров организма любого человека на нашей планете.

Сейчас мы говорим о статистическом хаосе электромиограмм — ЭМГ (см. табл. 2, где  $k_2=6$ ), кардиоинтервалов — КИ (см. табл. 3, где  $k_3=10$ ) и многих других параметров организма человека.

Таблица 2

Матрица парного сравнения электромиограмм (ЭМГ) одного и того же человека при слабом напряжении мышцы ( $p = 50$  Н), представляющая критерий Вилкоксона (критерий значимости  $p < 0,05$ , число совпадений  $k_2 = 6$ )

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1		0,00	0,00	0,00	0,51	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2	0,00		0,03	0,05	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	0,03		0,87	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	0,05	<b>0,87</b>		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
5	<b>0,51</b>	0,00	0,00	0,00		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
6	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		0,00	0,00	0,71	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	0,04	0,01	0,00	0,01
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	<b>0,71</b>	0,00	0,00		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		0,00	0,00	0,07	0,00	0,00
11	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		0,00	0,00	0,45	0,00
12	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,04	0,00	0,00	0,00	0,00		0,26	0,00	0,00
13	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	<b>0,07</b>	0,00	<b>0,26</b>		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	<b>0,45</b>	0,00	0,00		0,00
15	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	

Таблица 3

Матрица парного сравнения выборок кардиоинтервалов (КИ) одного и того же человека (без нагрузки, число повторов  $n = 15$ ), использовался критерий Вилкоксона (значимость  $p < 0,05$ , число совпадений  $k_3 = 10$ )

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1		0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,56	0,00	0,00	0,00	0,00
2	0,02		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,09	0,00	0,05	0,24	0,00	0,00	0,00	0,04
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		0,89	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	<b>0,89</b>		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		0,16	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	<b>0,16</b>		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
8	0,00	<b>0,09</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		0,00	0,72	0,00	0,00	0,00	0,00	0,80
9	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		0,00	0,00	0,00	0,40	0,02	0,00
10	0,00	0,05	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	<b>0,72</b>	0,00		0,00	0,00	0,00	0,00	0,66
11	<b>0,56</b>	<b>0,24</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		0,00	0,00	0,00	0,00
12	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		0,00	0,00	0,00
13	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	<b>0,40</b>	0,00	0,00	0,00		0,92	0,00
14	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00	<b>0,92</b>		0,00
15	0,00	0,04	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	<b>0,80</b>	0,00	<b>0,66</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	

Действительно, в табл. 2 мы представляем матрицу парных сравнений выборок ЭМГ (при фиксированном усилении  $F_1=50$ Н) и выборок КИ (табл. 3) тоже для одного испытуемого (в спокойном состоянии). В любом случае доля стохастичности в подобных матрицах парного сравнения выборок ТМГ, ЭМГ, КИ крайне мала. Для ТМГ  $k_1 < 5\%$ , для ЭМГ  $k_2 < 10\%$ , а для КИ  $k_3 < 20\%$ . Нами были построены

сотни подобных матриц как для отдельных испытуемых (в режиме  $n=15$  повторений регистрации), так и для групп разных испытуемых по различным параметрам СТТ-*complexity*.

Во всех матрицах для этих разных параметров ССС, ЭЭГ, ЭМГ, ТМГ и т. д. число пар  $k$ , имеющих критерий Вилкоксона, Ньюмана–Кейлса, Краскела–Уоллиса  $p \geq 0,05$ , крайне мало. Произвольно повторить выборки любого параметра  $x_i$ , т. е. выборки  $x(t)$  состояния организма человека, невозможно. Мы имеем дело с процессами, которые демонстрируют «повторение без повторений», т. е. ЭЭЗ. Вызывает удивление, как за эти более чем 70 лет в науках о живых системах никто не пытался проверить статистическую устойчивость выборок  $x(t)$ . За последние более чем 70 лет после выхода работ Н. А. Бернштейна [24] и *W. Weaver* [2] никто в науке не проверил статистическую устойчивость выборок любых параметров организма человека. За последние 150–200 лет наука уверенно оперировала различными статистическими методами, но не имела никаких представлений о статистической неустойчивости выборок  $x_i$  биосистем [11, 14–15, 19–23]. Современная наука о живых системах пребывает в иллюзии статистической устойчивости выборок параметров организма человека, хотя любая такая выборка уникальна (имеет исторический характер).

### Неопределенности 1-го и 2-го типов в ТХС: проблема выбора инвариант

Построение сотен матриц, которые подобны табл. 1, 2, 3, позволило нам сейчас говорить о неопределенности 2-го типа во всей биологии, психологии, медицине, экологии и других «неточных» науках. Термин «неточные» нами употребляется в связи с тем, что любая выборка  $x_i$  как одного испытуемого (при повторных измерениях), так и группы разных испытуемых (при их повторных измерениях  $x_i$ ) имеет уникальный характер. Выборка произвольно неповторима с позиций стохастики. Иными словами, это касается не только статистических функций распределения  $f(x)$  из-за их несовпадения, но и спектральных плотностей сигнала (СПС), автокорреляций  $A(t)$  и других статистических характеристик любого параметра организма человека [26–30].

В медицинской и биологической кибернетике возникла в этой связи глобальная проблема в идентификации и моделировании стационарных режимов (СР) сложных биосистем. Очевидно, что получить стационарный режим в рамках детерминизма (функционального анализа), т. е. получить  $dx/dt=0$  и  $x_1=const$ , для СТТ невозможно в принципе. Однако с позиций ЭЭЗ и неопределенности 2-го типа теперь уже невозможно и удержать неизменными статистические функции  $f(x)$ , СПС,  $A(t)$ , и вся стохастика (как мы это сейчас доказываем) имеет уникальный характер. Это означает, что полученная на интервале времени  $\Delta t_1$  выборка  $x_i$  не может быть произвольно повторена на следующем интервале  $\Delta t_2$  (при  $\Delta t_1 = \Delta t_2$ ). Любая выборка уникальна, она имеет исторический характер и не может быть спрогнозирована в будущем [24–25].

Наступает эпоха завершения дальнейшего применения стохастики в изучении и моделировании любой биосистемы. Если сама биосистема неизменна (в физиологическом, биологическом смысле), то ее параметры будут статистически неустойчивы. Тогда возникает проблема выбора инвариант для описания стационарных режимов СТТ-*complexity*. Как тогда регистрировать изменения биосистемы, если в неизменном состоянии  $dx/dt \neq 0$  непрерывно, а  $f(x)$ , СПС,  $A(t)$  непрерывно и хаотически изменяются?

Отметим, что динамический хаос Лоренца (на который так надеялись два нобелевских лауреата *I. R. Prigogine* [19] и *M. Gell-Mann*) также не имеет никакого отношения к описанию сложных биосистем — СТТ [14]. В аттракторах Лоренца мы имеем инварианты, т. е. регистрируем равномерное распределение, и  $f(x)$ , СПС,  $A(t)$  при этом не изменяются. Для СТТ наблюдается обратная ситуация, все непрерывно и хаотически изменяется. Очевидно, что нужны новые инварианты, новые понятия статистики и кинематики (эволюции) СТТ-*complexity*, которые бы могли описывать неопределенность 2-го типа [14].

Одновременно сейчас в ТХС доказано наличие и неопределенности 1-го типа, когда стохастика показывает неизменность выборок параметров  $x_i$ , а другими методами мы регистрируем реальные изменения (эволюцию) биосистемы. Фактически неопределенности 1-го и 2-го типов инвертируют понятие статистики (неизменности параметров СТТ) и кинематики (эволюции СТТ). То, что в стохастике считалось неизменным (выборки  $x_i$ ), в ТХС демонстрирует статистическую неустойчивость. Наоборот, то что в стохастике может считаться неизменным (выборки статистически не различаются для разных физиологических состояний), в ТХС может оцениваться как существенные изменения (эволюция).

Возникают существенные противоречия между стохастикой и реальным поведением парамет-

ров функций организма человека. Необходимо создавать новую биокибернетику, которая бы учитывала неопределенности 1-го и 2-го типов. Одновременно необходимо разрабатывать новые инварианты и новые модели для описания СТТ-*complexity*. Сейчас такую теорию мы создаем в виде ТХС на базе новой, третьей парадигмы естествознания [3–5, 10–11]. Напомним, что этими парадигмами будут: детерминистская (на базе функционального анализа), стохастическая и третья парадигма на базе ТХС [3–5, 10–11].

### Возможные перспективы развития биокибернетики на базе ТХС

Еще раз подчеркнем, что ключевым словом в третьей парадигме и ТХС является понятие неопределенности. В детерминизме все определено: и начальное состояние  $x(t_0)$  в виде задачи Коши, и вся траектория развития процесса в фазовом пространстве состояний (ФПС), и конечное состояние системы  $x(t_k)$ . Мы можем многократно повторять процесс и попасть в точку  $x(t_k)$  в ФПС многократно.

В стохастике мы имеем строгое (повторяющееся), определенное  $x(t_0)$ , т. к. опыт должен быть повторяем, но попасть в конечную точку  $x(t_k)$  — в ФПС для непрерывной случайной величины задача практически невыполнимая. Однако мы можем получить выборку  $x_i(t_k)$  и повторить статистическую функцию  $f(x)$ , СПС,  $A(t)$  и т.д. В рамках стохастики мы будем иметь инварианты, если с системой ничего не случилось и если  $x(t_0)$  многократно повторять.

Совершенно иная ситуация у нас с СТТ. В ТХС мы не можем произвольно попасть в  $x(t_0)$ , повторить траекторию  $x(t)$  в ФПС или повторить выборки  $x(t_k)$ . Все непрерывно и хаотически изменяется. Поэтому мы были вынуждены ввести новые инварианты для стационарных режимов СТТ-*complexity* и определить новые понятия статики и кинематики для вектора состояния биосистемы  $x(t)$  в ФПС. В ТХС мы ввели аналог принципа неопределенности Гейзенберга на погрешности (точнее, на вариационные размахи) для любой переменной  $x_{i1}$  и ее скорости изменения  $x_{i2} = dx_{i1}/dt$ .

В таком двумерном фазовом пространстве состояний вектора  $x_i = (x_{i1}, x_{i2})^T$  мы можем определить параметры некоторой ограниченной области ФПС (в виде псевдоаттрактора – ПА или квазиаттрактора Еськова), внутри которой непрерывно и хаотически движется вектор  $x_i(t)$ . Площадь  $S$  такого ПА, координаты его центра являются инвариантами для данного физиологического состояния биосистемы. Нами это было доказано в многочисленных исследованиях при регистрации ТМГ, теппинграмм (ТПГ), ЭМГ, параметров ССС, электроэнцефалограмм (ЭЭГ), электронейрограмм (ЭНГ) и многих других параметров  $x_i$  организма человека [21–23, 26–30].

Введение в виде параметров ПА, новых инвариантов, которые базируются на неопределенности  $x_i$ , позволило нам построить новые математические модели СТТ-*complexity* даже в рамках детерминизма. Для этого были использованы модели компартментно-кластерной теории биосистем (ККТБ), в которые [12–13] ввели разрывные функции в правую часть дифференциальных уравнений [21, 22]. Оказалось, что ККТБ обеспечивает построение матриц, которые подобны табл. 1, 2, 3 и тысячам таких же (с низкими значениями  $k_1, k_2, k_3$ ).

Расчет ПА в психологии, медицине, экологии позволил нам выявить реальные различия между разными физиологическими состояниями как отдельного человека, так и групп испытуемых. Эти испытуемые могут находиться в разных состояниях и мы можем выявить различия между ними на фоне неопределенности 2-го типа. Более того, сейчас мы использовали два главных свойства СТТ (непрерывные реверберации, т. е.  $dx/dt \neq 0$ , и хаос  $x(t)$ ) в работе искусственных нейросетей. В итоге мы подошли к моделированию эвристической работы мозга [11]. Хаос и реверберации характеризуют любую живую систему, а это составляет основу ТХС и третьей парадигмы [26–30].

### Заключение

За последние 40–50 лет наблюдается некоторый спад научного интереса к кибернетике как теории регуляции систем (ее разделили на множество частей) и к биомедицинской кибернетике в частности. Однако общие проблемы управления в живых и неживых системах остаются актуальными и в наши дни. По нашему мнению, сейчас возможно возрождение такого научного интереса в связи с открытием систем третьего типа (СТТ-*complexity*) и доказательством их особых свойств [26–27].

Речь идет об отсутствии статистической устойчивости любых выборок  $x_i$  — параметров организма человека, находящегося в неизменном физиологическом состоянии (или группы испытуемых). В результате был доказан эффект Еськова–Зинченко (ЭЭЗ), введены новые инварианты для вектора

состояния биосистемы (на базе псевдоаттракторов), были представлены неопределенности 1-го и 2-го типов и разработаны модели поведения СТТ в рамках ККТБ. Главное во всем этом новом — это особая неопределенность (и она глобальная) для любых параметров  $x_i$  биосистемы [25, 26–30].

В итоге мы пришли к новым моделям эвристической деятельности мозга человека и новым моделям в персонафицированной медицине. Нам представляется, что для медицинской и биологической кибернетики открываются новые перспективы при раскрытии неопределенностей 1-го и 2-го типов, по построению математических моделей с разрывной правой частью (на базе ККТБ), в области персонафицированной медицины, психологии, экологии. Одновременно мы предлагаем методы решения задачи системного синтеза, т. е. нахождения параметров порядка (главных диагностических признаков). Все это составляет основу для развития новых направлений в биокибернетике и медицине и открывает новые перспективы для развития кибернетики в целом. Будущее кибернетики — в познании живых систем, принципов их организации, в познании систем третьего типа — *complexity*.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Анохин П. К. *Кибернетика функциональных систем*. М.: Медицина; 1998. 400 с.
2. Weaver W. Science and Complexity. *American Scientist*. 1948;36:536–544.
3. Еськов В. М., Филатова О. Е., Башкатова Ю. В., Нувальцева Я. Н., Веденева Т. С. Новое понимание статичности в биомеханике и проблема стандартов гомеостаза. *Сложность. Разум. Постнеклассика*. 2019;3:22–31.
4. Еськов В. М., Аршинов В. И. Состояние науки в современной России. *Сложность. Разум. Постнеклассика*. 2019;3:32–41.
5. Попов Ю. М., Иванова Н. В., Белощенко Д. В., Поросинин О. И., Игнатенко А. П. Иерархия хаоса в системах управления движением. *Сложность. Разум. Постнеклассика*. 2018;4:24–33.
6. Прохоров С. А., Гумарова О. А., Монастырецкая О. А., Хвостов Д. Ю., Афаневич И. А. Нестабильные системы: проблема однородности групп. *Сложность. Разум. Постнеклассика*. 2019;1:62–72.
7. Eskov V. M., Eskov V. V., Gavrilenko T. V., Zimin M. I. Uncertainty in the Quantum Mechanics and Biophysics of Complex Systems. *Moscow University Physics Bulletin*. 2014;69(5):406–411.
8. Eskov V. M. Evolution of the Emergent Properties of Three Types of Societies: The Basic Law of Human Development. *Emergence: Complexity and Organization*. 2014;16(2):107–115.
9. Eskov V. M., Eskov V. V., Gavrilenko T. V., Vochmina J. V. Biosystem Kinematics as Evolution: Stationary Modes and Movement Speed of Complex Systems: Complexity. *Moscow University Physics Bulletin*. 2015;70(2):140–152.
10. Eskov V. M., Eskov V. V., Vochmina J. V., Gavrilenko T. V. The Evolution of the Chaotic Dynamics of Collective Modes as a Method for the Behavioral Description of Living Systems. *Moscow University Physics Bulletin*. 2016;71(2):143–154.
11. Филатова О. Е., Мельникова Е. Г., Горбунов С. В., Нувальцева Я. Н. Особенности гомеостатических систем (третьего типа). *Сложность. Разум. Постнеклассика*. 2019;2:28–39.
12. Eskov V. M. Identification of Parameters of Linear Models of Transmitters. *Measurement Techniques*. 1993;36(4):365–368.
13. Eskov V. M., Filatova O. E. Respiratory Rhythm Generation in Rats: The Importance of Inhibition. *Neurophysiology*. 1993;25(6):348–353.
14. Филатова О. Е., Горбунов С. В., Щипицин К. П., Гумарова О. А., Королев Ю. Ю. Понятие однородности для экспериментальных групп в биомеханике. *Сложность. Разум. Постнеклассика*. 2018;3:26–33.
15. Попов Ю. М., Хвостов Д. Ю., Муравьева А. Н., Гумарова О. А. Роль парадигм и методологии в развитии науки. неизбежность 3-й парадигмы. *Сложность. Разум. Постнеклассика*. 2018;4:34–43.
16. Пятин В. Ф., Галкин В. А., Еськов В. В., Иляшенко Л. К. Физические основы изучения и моделирования эвристической деятельности мозга. *Сложность. Разум. Постнеклассика*. 2018;4:59–67.
17. Филатов М. А., Григорьева С. В., Горбунов Д. В., Белощенко Д. В., Фадюшина С. И. Неоднородность разовых выборок параметров функциональных систем организма человека. *Сложность. Разум. Постнеклассика*. 2019;2:71–79.
18. Haken H. Principles of Brain Functioning: a Synergetic Approach to Brain Activity, Behavior and Cognition. *Springer Series in Synergetics*. Springer; 1995. 349 p.

19. Prigogine I. R. The Philosophy of Instability. *Futures*. 1989;21(4):396–400.
20. Horgan J. *The End of Science. Facing the Limits of Knowledge in the Twilight of the Scientific Age*. Addison-Wesley, Helix; 1996.
21. Филиппов А. Ф. Обыкновенные дифференциальные уравнения с разрывными правыми частями. *Мат. сб.* 1960;51(4):101–128.
22. Галкин В. А. *Анализ математических моделей: системы законов сохранения, уравнения Больцмана и Смолуховского*. Москва: БИНОМ. Лаб. знаний; 2009. 408 с.
23. Filatova O. E., Bazhenova A. E., Grigorieva S. V., Piyashenko L. K. Estimation of the Parameters for Tremograms According to the Eskov–Zinchenko Effect. *Biophysics*. 2018;63(2):262–267.
24. Bernshtein N. A. *The coordination and regulation of movements*. Oxford, New York: Pergamon Press; 1967. 196 p.
25. Piyashenko L. K., Bazhenova A. E., Berestin D. K., Grigorieva S. V. Chaotic Dynamics Parameters of the Tremograms at the Stress Exposure. *Russian Journal of Biomechanics*. 2018;22(1):62–71.
26. Шакирова Л. С., Синенко Д. В., Ворошилова О. М., Илюйкина И. В. Матрицы межаттракторных расстояний в оценке показателей параметров спектральной мощности variability сердечного ритма школьников при широтном перемещении. *Сложность. Разум. Постнеклассика*. 2016;1:5–11.
27. Нифонтова О. Л., Шакирова Л. С., Нерсисян Н. Н., Рассадина Ю. В. Динамика параметров спектральной мощности variability сердечного ритма школьников при широтном перемещении. *Вестник новых медицинских технологий. Электронное издание*. 2016;1:34–42.
28. Шакирова Л. С., Филатова Д. Ю., Трусов М. В., Мороз О. А. Матрицы межаттракторных расстояний в оценке показателей параметров сердечно-сосудистой системы мальчиков и девочек в условиях широтных перемещений. *Вестник новых медицинских технологий. Электронное издание*. 2017;1:24–29.
29. Филатов М. А., Филатова Д. Ю., Химикова О. И., Романова Ю. В. Метод матриц межаттракторных расстояний в идентификации психофизиологических функций человека. *Сложность. Разум. Постнеклассика*. 2012;1:20–24.
30. Еськов В. В., Филатов М. А., Филатова Д. Ю., Прасолова А. А. Границы детерминизма и стохастичности в изучении биосистем – complexity. *Сложность. Разум. Постнеклассика*. 2016;1:83–91.