

DOI: 10.51790/2712-9942-2023-4-2-10

КВАНТОВОМЕХАНИЧЕСКИЙ ПОДХОД В ЭЛЕКТРОФИЗИОЛОГИИ**О. Е. Филатова^{1,a}, М. А. Филатов^{2,b}, Т. В. Воронюк^{2,c}, М. И. Музиева^{2,d}**¹ Сургутский филиал Федерального государственного учреждения «Федеральный научный центр Научно-исследовательский институт системных исследований Российской академии наук», г. Сургут, Российская Федерация² Сургутский государственный университет, г. Сургут, Российская Федерация^a ✉ filatovamail@mail.ru, ^b filatovmik@yandex.ru, ^c kosolty@list.ru, ^d m-madina94@mail.ru

Аннотация: за последние 100–120 лет изучения механизмов возникновения и генерации биопотенциалов мозга, нервов, мышц сложилось твердое убеждение, что биопотенциалы могут описываться в рамках стохастических подходов. Вместе с тем открытие эффекта Еськова–Зинченко (статистической неустойчивости выборок любых параметров гомеостатической системы) существенно подрывает возможности стохастики в электрофизиологии. Отметим, что для описания биопотенциалов мы можем взять в качестве первой фазовой координаты $x_1(t)$ величину этих биопотенциалов, а в качестве второй — $x_2=dx_1/dt$ — скорость их изменения. В таком двумерном фазовом пространстве состояний мы вводим аналог принципа неопределенности Гейзенберга (на вариационные размахи Δx_1 и Δx_2) и тем самым приближаем электрофизиологию к аппарату квантовой механики. В работе представлены различия и сходства между квантовой механикой и электрофизиологией гомеостатических систем. Вместо статистических функций $f(x)$ предлагается рассчитывать параметры псевдоаттракторов в двумерном фазовом пространстве состояний (биопотенциалов) вектора $x(t) = (x_1, x_2)^T$.

Ключевые слова: хаос, неопределенность, эффект Еськова–Зинченко, псевдоаттракторы.*Для цитирования:* Филатова О. Е., Филатов М. А., Воронюк Т. В., Музиева М. И. Квантовомеханический подход в электрофизиологии. *Успехи кибернетики*. 2023;4(2):68–77. DOI: 10.51790/2712-9942-2023-4-2-10.*Поступила в редакцию:* 02.05.2023.*В окончательном варианте:* 19.06.2023.**A QUANTUM MECHANICAL APPROACH TO ELECTROPHYSIOLOGY****О. Е. Filatova^{1,a}, М. А. Filatov^{2,b}, Т. V. Voronyuk^{2,c}, М. I. Muzieva^{2,d}**¹ ¹ Surgut Branch of Federal State Institute “Scientific Research Institute for System Analysis of the Russian Academy of Sciences”, Surgut, Russian Federation² Surgut State University, Surgut, Russian Federation^a ✉ filatovamail@mail.ru, ^b filatovmik@yandex.ru, ^c kosolty@list.ru, ^d m-madina94@mail.ru

Abstract: for the last 100-120 years of studying the brain, nerves, muscles biopotential generation they were described as stochastic processes. The discovery of the Eskov–Zinchenko effect (stochastic instability of any homeostatic system sample datasets) makes it impossible to apply stochastic laws to electrophysiology. We can define biopotentials with their magnitude x_1 as the first phase coordinate and their variation rate $x_2=dx_1/dt$ as the second coordinate. In such a 2D phase space, we defined an analog to the famous Heisenberg uncertainly principle (for Δx_1 and Δx_2 variation ranges). We also present the similarities between electrophysiology and quantum mechanics. We suggested to estimate the properties of pseudo-attractors in the 2D phase space of biopotentials (for the $x(t) = (x_1, x_2)^T$ vector) instead of the statistical $f(x)$ functions.

Keywords: chaos, uncertainly, Eskov–Zinchenko effect, pseudo-attractors.*Cite this article:* Filatova O. E., Filatov M. A., Voronyuk T. V., Muzieva M. I. A Quantum Mechanical Approach to Electrophysiology. *Russian Journal of Cybernetics*. 2023;4(2):68–77. DOI: 10.51790/2712-9942-2023-4-2-10.*Original article submitted:* 02.05.2023.*Revision submitted:* 19.06.2023.**Введение**

В середине 50-х годов XX века нобелевский лауреат *A. V. Hill* пытался в журнале *Nature* ответить на вопрос: почему биофизика является разделом физики [1]. При этом выдающийся специалист

в области физиологии и биофизики мышечного сокращения обосновывал свое высказывание двумя весомыми аргументами: во-первых, в биофизике в основном используются физические методы исследования, которые общепризнаны в физике, и во-вторых, он пытался обосновать, что биосистемы в своем поведении подобны многим физическим системам [1].

За эти более чем 60 лет наука доказала правоту первого постулата *Hill*, но нет строгих доказательств второму его постулату (поведение биосистем подобно динамике физических систем) [2–12]. Напомним, что почти за 10 лет до этой статьи наш выдающийся биомеханик и физиолог Н. А. Бернштейн выдвинул гипотезу о «повторении без повторений», в которой он говорил фактически об отсутствии статистической устойчивости выборок в биомеханике [13]. Год спустя *W. Weaver* вообще выделил все биомедицинские системы в отдельные системы третьего типа (СТТ) [14], которые должны были отличаться от детерминистских систем (описываются в рамках функционального анализа) и стохастических систем [15–26].

Таким образом, Бернштейн [13] и *Weaver* [14] пытались вывести биофизику из области детерминизма (функциональный анализ) и стохастики, но ничего вместо детерминистско-стохастической науки (ДСН) эти двое ученых не предложили. Отметим, что мышцы (основной объект *Hill* и Бернштейна) управляются центральной нервной системой (ЦНС), состояние которой объективно регистрируется в виде параметров электроэнцефалограмм (ЭЭГ) и электромиограмм (ЭМГ). И ЭЭГ, и ЭМГ сопровождают любой двигательный акт, и их изучение составляет основу нервно-мышечной физиологии [2–12]. Возникает закономерный вопрос: можно ли изучать такие объекты в рамках ДСН? Можно ли использовать стохастику в электрофизиологии?

Отметим, что с позиций новой теории хаоса-самоорганизации (ТХС) сейчас доказан факт статистической неустойчивости любых электрофизиологических параметров в виде эффекта Еськова–Зинченко (ЭЭЗ) [20–26]. Тогда возникает закономерный вопрос: можно ли в рамках ТХС и ЭЭЗ продемонстрировать особые свойства ЭЭГ и ЭМГ, которые бы приблизили нервно-мышечную систему (НМС) к физическим объектам не только из-за физических методов (и параметров — биопотенциалов), которые используются при регистрации активности, но и по особым свойствам СТТ (биосистемам)?

Очевидно, что эти особые свойства должны приблизить СТТ (живые системы) к физическим системам, возможно, по особой динамике поведения их параметров [2–12]. Именно эту сторону связи биосистем с физическими системами мы бы и хотели выделить в настоящем сообщении, т. к. физические методы уже давно используются в изучении НМС [2–12, 13–21], но насколько оправдано использовать стохастику и функциональный анализ в этих целях?

Особые свойства биомедицинских систем (СТТ-complexity)

С момента провозглашения синергетики *H. Haken* в Штутгарте (1969 год) в различные науки активно вводится термин «*complexity*» и «эмерджентные свойства» для описания различных систем [16–26]. Подчеркнем, что до настоящего времени нет четкого определения ни «*complexity*», ни «эмерджентных» систем. Это послужило поводом для историка науки *J. Hogan* саркастически отметить усилия известного американского физика *Seth Lloyd* по определению термина *complexity* (*Lloyd* представил более 30 определений этого термина). Все это сподвигло *J. Hogan* написать известную книгу под броским названием «*The End of Science*». О каком «конце науки» можно сейчас говорить, ведь ДСН господствует, а постулаты и модели ТХС еще только внедряются в биологию и медицину [2–12, 15–21]. При этом Г. Р. Иваницкий реально подчеркивает сложность в изучении биосистем с позиций ДСН.

Сейчас уже очевидно, что конец науки наступил в отношении дальнейшего использования функционального анализа (детерминизм), что доказывал еще *I. R. Prigogine* в 1990-х годах, и математической статистики (всей стохастики в целом) в описании и изучении живых систем (СТТ-complexity), что сейчас доказывается в ТХС в виде ЭЭЗ [2–14]. Для тех, кто не знаком с основами ТХС, напомним, что речь идет о потере статистической устойчивости выборок любых параметров x_i , образующих любой вектор состояния биосистемы $x = x(t) = (x_1, x_2, \dots, x_m)^T$ в m -мерном фазовом пространстве состояний (ФПС) [2–14]. При этом движение $x(t)$ не описывается динамическим хаосом Лоренца [2–12, 15–26].

Это означает, что если мы, например (согласно требованиям европейской ассоциации кардиологов), зарегистрируем за 5 минут не менее 300 кардиоинтервалов (КИ) при нормальной работе сердца испытуемого и изучим статистическую функцию распределения $f(x)$ для этих КИ, их спектральную плотность сигнала (СПС), автокорреляции $A(t)$ и т. д., то любые эти знания (о $f(x)$, СПС, $A(t)$ и т.

д.) будут иметь уникальный характер [9, 10, 21–26]. В следующие 5 минут у этого же обследуемого мы получим другую выборку, с другой $f_2(x)$, СПС₂, $A_2(t)$ и т. д. [2, 3, 21–24]. Невозможно два раза подряд у одного испытуемого получить две выборки, которые бы имели одну общую генеральную совокупность [15–26].

Это касается любых других параметров организма человека: треморограмм (ТМГ), теппинграмм (ТПГ), КИ, параметров состояния нейро-вегетативной системы (НВС) и любых электрофизиологических параметров [16–19]. В нашем сообщении мы будем говорить именно об электрофизиологических параметрах, в первую очередь, речь идет об ЭЭГ и ЭМГ. Для примера мы представляем две характерные таблицы: табл. 1 (для ЭМГ) и табл. 2 (для ЭЭГ), в которых представлены критерии Вилкоксона p (при парном сравнении выборок) со значением $p \geq 0,05$. Отметим, что в этих таблицах мы сравниваем выборки ЭМГ и ЭЭГ, которые были получены при повторных регистрациях от отдельного (одного) испытуемого, находящегося в одном (неизменном) физиологическом состоянии. Здесь числа k_1 (для ЭМГ) и k_2 (для ЭЭГ) — это числа пар выборок, которые (эти две сравниваемые) мы можем отнести к одной генеральной совокупности. Для таких пар выборок ЭМГ (или ЭЭГ) мы имеем критерий Вилкоксона $p \geq 0,05$, т. е. они статистически совпадают (имеют общую генеральную совокупность). Остальные пары не совпадают ($p < 0,05$). Это доказывает ЭЭЗ и в электрофизиологии, а не только при изучении ССС и тремора [2–12].

Таблица 1

Матрица парного сравнения ЭМГ одного и того же человека при слабом напряжении мышцы ($p = 50 Н$), представляющая критерий Вилкоксона (критерий значимости $p < 0,05$, число совпадений $k_1 = 6$)

	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	0,87		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
5	0,51	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	0,71	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	0,07	0,00	0,26		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	0,45	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	

В табл. 1 мы имеем при слабом сжатии динамометра (за 5 секунд регистрации ЭМГ одним и тем же испытуемым, сила сжатия $F_1 = 50Н$) число пар $k_1 = 6$. Из всех 105 разных пар сравнения мы имеем только менее 10% пар, которые (эти две сравниваемые выборки ЭМГ) могут по критерию Вилкоксона ($p \geq 0,05$) иметь одну общую генеральную совокупность. Подчеркнем, что таких пар крайне мало ($k_1 = 6$), и все эти k_1 пар имеют разные генеральные совокупности [2–12]. Фактически это означает, что мы не можем подобрать произвольно однородные выборки для одного испытуемого в его неизменном физическом состоянии [21–26]. Невозможно даже получить подряд три выборки, которые статистически совпадают [21–26].

Все это доказывает статистическую неустойчивость подряд получаемых выборок ЭМГ от одного и того же испытуемого (в его неизменном гомеостазе). Такая неустойчивость лежит в основе ЭЭЗ в биомеханике, и сейчас мы говорим об ЭЭЗ и в электрофизиологии, и в биофизике электрогенерируемых систем. Теоретически этого и следовало ожидать, т. к. неустойчивость механограмм (ТМГ или ТПГ) должна обеспечиваться работой мышц [23–26]. Эта работа сопровождается генерацией био-

потенциалов (ЭМГ). Если ТМГ или ТПГ статистически неустойчивы, то было бы весьма экзотично (маловероятно) наблюдать статистическую устойчивость биопотенциалов мышц (ЭМГ). При этом подчеркнем, что переменными $x_1(t)$ являются величины биопотенциалов (мышцы — табл. 1 и мозга — табл.2). Это перемещение не механическое, а изменение электрическое, но они — эти изменения (как и ТМГ) — статистически неустойчивы.

Таблица 2

Матрица парных сравнений параметров ЭЭГ одного и того же здорового человека (15 выборок ЭЭГ подряд) без воздействий (канал Т6-Ref, число совпадений $k_1 = 33$)

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1		0,00	0,32	0,05	0,10	0,64	0,01	0,55	0,00	0,28	0,31	0,00	0,90	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	0,58
3	0,32	0,00		0,75	0,00	0,03	0,67	0,19	0,00	0,01	0,30	0,02	0,10	0,00	0,00
4	0,05	0,00	0,75		0,00	0,07	0,83	0,00	0,00	0,00	0,06	0,03	0,04	0,00	0,00
5	0,10	0,00	0,00	0,00		0,00	0,00	0,41	0,38	0,66	0,03	0,00	0,21	0,00	0,00
6	0,64	0,00	0,03	0,07	0,00		0,21	0,86	0,00	0,21	0,52	0,00	0,66	0,00	0,00
7	0,01	0,00	0,67	0,83	0,00	0,21		0,02	0,00	0,00	0,01	0,19	0,00	0,00	0,00
8	0,55	0,00	0,19	0,00	0,41	0,86	0,02		0,08	0,93	0,15	0,00	0,97	0,00	0,00
9	0,00	0,00	0,00	0,00	0,38	0,00	0,00	0,08		0,06	0,00	0,00	0,07	0,00	0,01
10	0,28	0,00	0,01	0,00	0,66	0,21	0,00	0,93	0,06		0,00	0,00	0,36	0,00	0,00
11	0,31	0,00	0,30	0,06	0,03	0,52	0,01	0,15	0,00	0,00		0,00	0,05	0,00	0,00
12	0,00	0,00	0,02	0,03	0,00	0,00	0,19	0,00	0,00	0,00	0,00		0,00	0,00	0,00
13	0,90	0,00	0,10	0,04	0,21	0,66	0,00	0,97	0,07	0,36	0,05	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	0,58	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	

Как мы показываем в табл. 1, все регистрируемые ЭМГ одного испытуемого в неизменном гомеостазе не могут демонстрировать статистическую устойчивость (это и есть ЭЗ в электрофизиологии). Только очень малое число пар k_1 имеют одну генеральную совокупность (для них $p \geq 0,05$, но эти все для $k_1 = 6$), генеральные совокупности все разные, совпадают только отдельные пары ЭМГ. Это доказывает ЭЗ и для ЭМГ, и тем самым мы доказываем отсутствие однородности выборок ЭМГ, которые получены от одного испытуемого (в его неизменном физиологическом состоянии) [15–26].

Если не совпадают выборки ЭМГ для одного человека, то трудно ожидать совпадения выборок ЭМГ для разных испытуемых. В табл. 3 мы наблюдаем матрицу парных сравнений выборок ЭМГ 15 разных испытуемых, которые сжимают динамометр с одинаковым усилием $F_1=50Н$. Очевидно, что k_3 (число пар ЭМГ, имеющих одну, общую генеральную совокупность), тоже невелико ($k_3= 11$) в табл. 3. Но это число k_3 довольно часто показывает большее значение, чем k_1 для одного испытуемого. Это получило название в ТХС эффекта Еськова–Филатовой (ЭЕФ), когда группа из разных испытуемых более статистически подобна, чем один испытуемый при 15 повторах регистрации ЭМГ. В ЭЕФ мы имеем $k_3 > k_1$, и это парадокс новой ТХС. Если ЭЗ мы сейчас хорошо описываем (и объясняем) в ТХС, то ЭЕФ даже ТХС пока объяснить не может.

Отметим, что и ЭЭГ демонстрируют также ЭЕФ, когда k_2 для одного человека меньше, чем k_4 для группы испытуемых. Пока этому явлению ни современная наука (ДСН), ни ТХС не могут дать объяснение, но ЭЕФ наблюдаются довольно часто и в биофизике электровозбудимых систем, и в электрофизиологии. Подчеркнем, что ЭЗ и ЭЕФ наблюдаются всегда для электрогенераторных структур. Мы это доказали в наших многочисленных биофизических исследованиях с ЭМГ и с нейросетями мозга — НСМ [2, 15–19]. Этим СТТ-complexity отличаются от традиционных объектов ДСН, что уводит ТХС из области современной науки в область новых знаний о живых системах. Очевидно, что потеря однородности выборок (см. табл. 1, 2, 3) уводит СТТ из области стохастики, т. к. математическая статистика не может описывать статистически неустойчивые биосистемы, тем более, что мы не можем уже повторно воспроизвести начальное состояние вектора $x_1(t_0)$ для ЭМГ и ЭЭГ. Как их тогда описывать и моделировать? Возможен ли прогноз поведения СТТ-complexity?

Таблица 3

Матрица парного сравнения ЭМГ группы девушек (число испытуемых $N = 15$) при слабом напряжении мышцы ($F_1 = 50$ Н), использовался критерий Вилкоксона (значимость $p < 0,05$, число совпадений $k_3 = 11$)

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1		0,35	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	0,35		0,67	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
3	0,00	0,67		0,03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,40	0,00	0,00	0,05	0,00	0,00
4	0,00	0,00	0,03		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,93	0,00	0,00	0,28	0,03	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		0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,55	0,00	0,00	0,00
7	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	0,00
8	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		0,55	0,00	0,00	0,00	0,00	0,73	0,00
9	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,55		0,00	0,00	0,00	0,00	0,11	0,00
10	0,00	0,02	0,40	0,93	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		0,00	0,00	0,22	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	0,00	0,00
12	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,55	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		0,00	0,00	0,00
13	0,00	0,00	0,05	0,28	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,22	0,00	0,00		0,12	0,00
14	0,00	0,00	0,00	0,03	0,00	0,00	0,00	0,73	0,11	0,00	0,00	0,00	0,12		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	

Квантовая механика и базовые принципы ТХС

Напомним, что в основе квантовой механики лежит ряд базовых принципов поведения квантовых объектов. В первую очередь, это касается принципа неопределенности Гейзенберга, который накладывает ограничение на точность определения двух фазовых координат: соответственно, механической координаты x_1 и ее скорости изменения x_2 в виде: $\Delta x_1 \times (\Delta x_2 \times m) \geq h/4\pi$. Если масса объекта существенно не изменяется (при малых скоростях движения объекта, т. е. при $x_2 \ll c$, где c — скорость света), то m можно перенести вправо и получить неравенство для двух фазовых координат: $x_1 \times \Delta x_2 \geq h/4\pi m = Z$, где Z — некоторая константа [2–10].

В таком виде принцип неопределенности, как нами было показано [20–26], можно применять и для любых координат, описывающих состояние функций организма человека x_i . Подчеркнем, что в биофизике электрогенераторных систем $x_1(t)$ — это величина биопотенциала, а x_2 — величина скорости изменения $x_1(t)$. Обе эти величины удовлетворяют ЭЭЗ, т. е. они статистически неустойчивы [18–26].

Эти координаты x_i входят в общий вектор состояния функций организма человека $x(t)$, и они демонстрируют статистическую неустойчивость выборок, т. е. их выборки не однородны как для одного человека (табл. 1), так и для группы, (табл. 3). Очевидно, что для каждой такой координаты x_i мы можем рассчитать скорость ее изменения $x_{2i} = dx_i/dt$. В этом случае мы получаем двумерный вектор состояния для параметра x_i , и в таком двумерном ФПС мы можем сформулировать ряд ограничений на движение такого вектора: $x^* = (x_i, x_{2i})^T$. При этом очень важно подчеркнуть, что эти ограничения следуют из внутренних (особых) свойств биосистемы, а не зависят от внешних факторов среды обитания организма. В квантовой механике свойства электрона — это тоже его (особые) свойства, а не результат внешней стохастичности.

Наличие таких внутренних ограничений обусловлено особыми свойствами биосистемы (СТТ-complexity). В ТХС были сформулированы 5 таких принципов функционирования СТТ: компартментно-кластерная организация, неопределенность 2-го типа (аналог принципа Гейзенберга), эволюция СТТ, телеологичность, свойство выхода за пределы трех сигм (пяти, десяти, двадцати и т. д. сигм). Подчеркнем, что главный принцип из этих пяти — это принцип неопределенности 2-го типа. Этот принцип основан на ЭЭЗ, и он охватывает любые параметры организма человека [3–12, 16–18].

В рамках этого 2-го принципа мы сейчас говорим, что СТТ может находиться в непрерывном движении, когда $dx_i/dt \neq 0$ непрерывно. Очевидно, что для НСМ (для ЭЭГ) это обязательное условие. При отсутствии биоэлектрической активности мозга (для биопотенциалов НСМ x_i) будем иметь

$dx_i/dt = 0$ и $x_i = \text{const}$, что означает смерть организма. Это имеет место и для тремора, работы сердца, но вот мышца, если она не работает (находится в расслабленном состоянии), может иметь (для ЭМГ) $x_2 = \text{const}$ (отсутствие активности мышцы). В рабочем состоянии мышцы это невозможно, при напряжении мышцы имеем $dx_2/dt \neq 0$. Подчеркнем, что даже потенциал покоя (на мембране мышечного волокна) все-таки демонстрирует некоторые изменения (колебания), т. е. там $dx_1/dt \neq 0$.

Таким образом, наличие ненулевой скорости ($dx_i/dt \neq 0$) — это главное свойство любой биосистемы, если она находится не в полном покое. Для квантовых частиц мы также (во многих случаях) имеем условие $dx_i/dt \neq 0$. Очевидно, что для живых систем мы можем написать ограничения в виде неравенств, но теперь мы будем иметь систему неравенств вида: $Z_{\max} \geq \Delta x_1 \times \Delta x_2 \geq Z$, где Z_{\min} и Z_{\max} — это некоторые величины, ограничивающие движение вектора состояния биосистемы по параметрам $x(t)$ в ФПС [8–13].

В новой ТХС Z_{\max} играет роль предельного объема некоторого псевдоаттрактора (ПА), внутри которого непрерывно и хаотически движется вектор $x_i^* = (x_i, x_{2i})^T$. Например, тремор каждого человека происходит внутри некоторого прямоугольника в таком двумерном ФПС со сторонами Δx_1 и Δx_{2i} . Площадь такого ПА является характеристикой физиологического состояния организма человека (в данном гомеостазе). Обычно переход в другое состояние изменяет и эти вариационные размахи Δx_1 и Δx_{2i} . При этом имеется площадь S прямоугольника (ПА, $S = \Delta x_1 \times \Delta x_2$) как инварианта данного физиологического состояния [2, 4–12].

Еще раз подчеркнем, что речь идет об изменении внутренних свойств биосистемы, но они (ПА) могут меняться и за счет внешних факторов среды обитания человека. Например, это могут быть охлаждение организма, физические нагрузки, прием лекарственных препаратов и т. д. [11, 15]. В рамках такого подхода очень важно понимать, как изменяются системы регуляции функций, т. е. внутренние свойства объекта. В стохастике традиционно вариационный разброс появляется за счет влияния каких-либо внешних факторов среды, это возмущающие воздействия на биопроцесс. В ТХС такие постоянные изменения — это внутреннее свойство биосистемы (СТТ-*complexity*).

Иными словами (говоря терминологией психологии), вся математическая статистика построена на экстравертных воздействиях, а объекты квантовой механики (и наши СТТ-*complexity*) имеют особые (внутренние) свойства. Такие системы интровертны, т. е. их неопределенность зависит от их особых (внутренних) свойств. Например, движение квантовых частиц (в рамках принципа Гейзенберга) не зависит от внешних случайных воздействий. Рассеяние электронов (и фотонов) на щели, по сути, происходит не только из-за того, что внешние факторы возмущают их движение.

Квантовые объекты и СТТ-*complexity* демонстрируют принцип неопределенности Гейзенберга (и его аналог в ТХС) из-за особых свойств самого исследуемого объекта (электрона, фотона или функциональной системы организма человека). Этим СТТ-*complexity* и квантовые частицы отличаются от обычных механических систем (на макроуровне или даже на уровне Вселенной). В этой связи *W. Weaver* [14] был прав, когда говорил об особых системах 3-го типа, т. к. эти системы приближаются по особым свойствам к квантово-механическим системам. Их статическая неопределенность не возникает из-за хаоса внешних воздействий (как в стохастике), а является внутренним свойством СТТ-*complexity* [2–8, 20–26].

СТТ-*complexity* имеют два особых свойства, которые отсутствуют у детерминистских и стохастических систем: они находятся в непрерывном движении ($dx_i/dt \neq 0$ непрерывно), и это движение на фазовой плоскости вектора $(x_i, x_{2i})^T$ ограничено некоторым прямоугольником $Z_{\max} = \Delta x_1 \times \Delta x_{2i}$, т. е. ПА. Площадь этого ПА $S = \Delta x_1 \times \Delta x_2$ зависит от внутренних свойств СТТ (она имеет интровертную природу), но механизмы регуляции S все-таки зависят и от факторов внешней среды. Для биопотенциалов x_1 (ЭМГ) и x_2 (ЭЭГ) мы всегда можем найти их скорости изменения ($x_{12} = dx_1/dt$ и $x_{22} = dx_2/dt$) и построить фазовые траектории на такой двумерной ФПС.

ПА на такой ФПС будет описывать движения вектора организма человека в том или ином физиологическом состоянии (человека). При изменении физиологического состояния организма человека изменяются и параметры ПА. Для квантовой частицы это может означать, например, изменение массы частицы, тогда будет изменяться и $Z_{\min} = h/4\pi$ (в правой части 1-го неравенства). Рассмотрим ряд примеров изменения площади S для ПА при изменении состояния функций организма.

Применение аналогий квантовой механики в биофизике мышечного сокращения

Еще раз подчеркнем, почему мы вышли за пределы функционального анализа (детерминизма)

и стохастики. Во-первых, мы всегда для СТТ наблюдаем непрерывное и хаотическое изменение их вектора состояния ($dx_i/dt \neq 0$ непрерывно). При этом такие изменения проявляются в непрерывном (и хаотическом) изменении статистических функций распределения $f(x_i)$, их СПС, $A(t)$ и других характеристик. Это показывают таблицы 1, 2, 3 (выше) и тысячи других матриц, которые мы получали в различных наших исследованиях [2–13, 25].

Это главное свойство СТТ-*complexity*, и это неоднократно отмечал Г. Р. Иваницкий в своих публикациях [15, 16]. Очень важно теперь представить модели для описания таких статистически неустойчивых систем (СТТ). Выше мы показали некоторую аналогию с квантовыми объектами и предложили рассчитывать параметры ПА. К таким параметрам относятся: площадь S для ПА и координаты их (ПА) центров x_1^C и x_2^C в двумерном ФПС. Рассмотрим ряд иллюстративных примеров для ЭМГ и ЭЭГ [3–12]. Подчеркнем, что изменение ПА может происходить как за счет внутренних перестроек организма (заболевание, например), так и под действием внешних факторов [2, 17, 23].

В табл. 4 мы представляем расчет площади ПА для ЭМГ отводящей мышцы мизинца при двух разных силах сжатия испытуемым динамометра. В первом столбце табл. 4 мы представляем площади S_1 при силе сжатия $F_1 = 50\text{Н}$, а во втором столбце мы представляем площади S_2 при силе сжатия $F_2 = 100\text{Н}$. Испытуемый был один и тот же, но площади ПА для ЭМГ существенно различаются ($S_1 \neq S_2$). Здесь напряжение мышцы – это внутренняя перестройка функций организма [2].

Очевидно, что площадь S для ПА ЭМГ является мерой оценки физиологического состояния мышцы (силы сжатия). При этом в любом состоянии (при фиксированном значении F_1 или F_2) мы будем иметь калейдоскоп статистических функций распределения $f(x_i)$, разных СПС и $A(t)$ при фиксированном F (неизменном физиологическом состоянии испытуемого). Статистика не может объективно описывать биопотенциалы мышц (ЭМГ), т. к. отсутствуют статистические инварианты в неизменном состоянии НМС, выборки ЭМГ все разные [4–11].

Площадь же ПА для ЭМГ существенно изменяется при переходе от F_1 к F_2 . Могут изменяться и координаты центров ПА для состояний НМС с F_1 и F_2 . Более того, такие изменения наблюдаются не только для одного человека (что доказывает ЭЗЗ для НМС), но и для группы испытуемых из 15 человек, которые сначала сжимали динамометр с силой F_1 (изучали S^2_1 и среднее значение $\langle S^2_1 \rangle$ по этой группе), а затем с силой F_2 (получали S^2_2 и среднее значение $\langle S^2_2 \rangle$ по группе).

Таблица 4

Значение площадей ПА S выборок ЭМГ одной и той же девушки при слабом ($F_1 = 50\text{ Н}$) и сильном ($F_2 = 100\text{ Н}$) напряжении мышцы (15 повторных измерений)

	Одна и та же девушка	
	$S_1, 50\text{ Н}$	$S_2, 100\text{ Н}$
1	26508	107260
2	24300	114935
3	35802	139755
4	27459	111734
5	32208	119712
6	18792	101084
7	29848	152609
8	24336	191360
9	16968	100000
10	16968	68904
11	21242	116864
12	15200	101403
13	18984	104682
14	20304	113634
15	30965	86064
$\langle S \rangle$	23992	115333
	Т-критерий значимости функций $f(x)$ $p = 0,00$	

Подчеркнем, что это не единичные измерения, а десятки и сотни рассчитанных матриц парных сравнений выборок для ЭМГ как одного испытуемого (при многократных повторях по 225 раз), так и групп испытуемых (при 225 повторях их измерений ЭМГ (и ЭЭГ)). Везде картина одинаковая: число пар статистически совпадающих выборок k невелико для ЭМГ (как группы, так и одного испытуемого при повторениях), а параметры S для ПА различаются для разных испытуемых и для разных сил сжатия ($S_1 \neq S_2$ при F_1 и F_2) [3–12, 25, 26].

Неопределенность 2-го типа для ЭЭГ

Аналогичная закономерность получается и для ЭЭГ как для разных испытуемых (в группе), так и для одного испытуемого при $n = 15$ повторных измерениях ЭЭГ в спокойном состоянии. Для доказательства этого утверждения мы представляем табл. 5, в которой приводится расчет площадей S для ПА ЭЭГ одного испытуемого, находящегося в двух разных физиологических состояниях. Левый столбец — это расчет $S_1^{\text{Э}}$ для ПА₁ ЭЭГ испытуемого, находящегося в спокойном состоянии, а правый столбец показывает $S_2^{\text{Э}}$ для ПА₂ ЭЭГ при фотостимуляции с частотой 10Гц (раздражение зрительного анализатора), отведение с одной и той же точки, одним и тем же электродом (отведение *T6-Ref*).

Таблица 5

Значение площадей ПА S выборок ЭЭГ здорового человека в период релаксации ($S_1^{\text{Э}}$) и в период фотостимуляции ($S_2^{\text{Э}}$)

	Здоровый человек	
	$S_1^{\text{Э}}$, в период релаксации	$S_2^{\text{Э}}$, в период фотостимуляции
1	6240	3048
2	3595	3811
3	3494	2814
4	3430	3453
5	2983	2572
6	3338	4190
7	6834	3874
8	7986	3670
9	4508	3710
10	2533	3503
11	4244	2774
12	4178	2566
13	4933	3015
14	4810	3502
15	8282	2455
< S >	4759	3264
Т-критерий, значимость различий выборок $f(x)$: $p = 0,01$		

Очевидно, что средняя площадь до фотостимуляции $\langle S_1^{\text{Э}} \rangle$ отличается от средней площади ПА₂ при фотостимуляции $\langle S_2^{\text{Э}} \rangle$. Обычно фотостимуляция зрительного анализатора приводит к уменьшению площади ПА₂ для ЭЭГ у одного и того же испытуемого. Иллюстрация этого эффекта представлена на рисунке, где рис. А дает фазовый портрет ЭЭГ в координатах $x^{\text{Э}}_1$ — величина биопотенциалов в микровольтах (период квантования сигнала $\tau = 100$ Гц), а вторая фазовая координата $x^{\text{Э}}_2 = dx^{\text{Э}}_1/dt$ — скорость изменения биопотенциалов в ЭЭГ. Такие фазовые координаты подобны фазовым координатам в квантовой механике, но здесь уже регистрировались не механические перемещения, а величины биопотенциалов мозга. Значения $S_1^{\text{Э}}$ (до фотостимуляции) представлены в условных единицах (как площади ПА).

Подчеркнем, что при патологии (например, при эпилепсии) площадь $S_2^{\text{Э}}$ резко возрастает, что является маркером отклонений в функциях организма. В целом площадь S и координаты центра ПА являются важными характеристиками функционального состояния испытуемых. Они являются инвариантами для данного физиологического состояния одного исследуемого человека (а это основа персонализированной медицины).

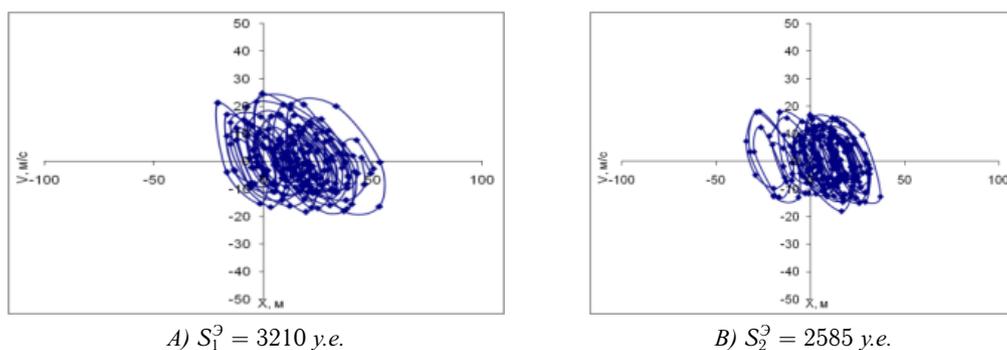


Рис. Фазовые портреты движения вектора состояния $(x = (x_1, x_2)^T)$ ЭЭГ условно здорового испытуемого в период: А — релаксации (спокойное состояние), площадь ПА $S_1^3 = 3210 \text{ у. е.}$; В — при фотостимуляции, $S_2^3 = 2585 \text{ у. е.}$ Здесь по оси абсцисс откладываются величины измеряемых биопотенциалов x_1 (в мкВ), а по оси ординат у. е. — скорости изменения этих же биопотенциалов ($x_2 = dx_1/dt = V$) в отведение Т6-Ref.

Заклучение

ЭЗ в электрофизиологии (исходно он был доказан в биомеханике) приводит нас к статистической неопределенности в регистрируемых выборках ЭЭГ и ЭМГ как для одного и того же испытуемого (при повторях испытаний), так и для группы разных испытуемых (см. табл. 1, 2, 3). Этот эффект сейчас нами распространяется на всю биологию и медицину, но в электрофизиологии и биофизике в качестве переменных выступают биопотенциалы нервов, мышц и других электрогенераторных структур.

Выборки для ЭМГ и ЭЭГ генерируют статистический хаос не только для одного человека, но и для группы (ЭЗ). При этом группа может быть статистически более подобна, чем один человек (при повторях регистрации его ЭЭГ и ЭМГ). Это получило название ЭЕФ, и он пока не имеет объяснения даже в ТХС (и тем более в ДСН).

Для выхода из кризиса стохастики (и ДСН) мы предлагаем аналог принципа неопределенностей Гейзенберга для координат x_1 (биопотенциалы) и $x_2 = dx_1/dt$. Оказалось, что площади (объемы) ПА и фазовые портреты вектора $x(t) = (x_1, x_2)^T$ объективно описывают состояние биосистемы. Они являются мерой неизменности (покоя) СТТ или их изменений (кинематики, эволюции СТТ). Возникает реальная сложность (*complexity*) для СТТ (живых систем), которая пока в биофизике не учитывается. Выборки ЭМГ и ЭЭГ имеют историчный характер (они уникальны), их будущее не может прогнозироваться в рамках стохастики.

ЛИТЕРАТУРА

- Hill A. V. Why biophysics? *Science*. 1956;124(3234):1233–1237.
- Газя Г. В., Еськов В. В., Стратан Н. Ф., Салимова Ю. В., Игнатенко Ю. С. Использование искусственных нейросетей в промышленной экологии. *Вестник новых медицинских технологий*. 2021;28(2):111–114.
- Хадарцева К. А., Филатова О. Е. Новое понимание стационарных режимов биологических систем. *Успехи кибернетики*. 2022;3(3):92–101. DOI: 10.51790/2712-9942-2022-3-3-10.
- Чемпалова Л. С., Яхно Т. А., Манина Е. А., Игнатенко А. П., Оразбаева Ж. А. Гипотеза W. Weaver при изучении произвольных и непроизвольных движений. *Вестник новых медицинских технологий*. 2021;28(1):75–77.
- Еськов В. В., Ивахно Н. В., Гриценко И. А., Мамина К. Е. Новое понятие системного синтеза в биомедицине и экологии человека. *Вестник новых медицинских технологий*. 2021;28(4):118–122.
- Еськов В. М., Пятин В. Ф., Башкатова Ю. В. Медицинская и биологическая кибернетика: перспективы развития. *Успехи кибернетики*. 2020;1(1):58–67.
- Зимин М. И., Пятин В. Ф., Филатов М. А., Шакирова Л. С. Что общего между «Fuzziness» L. A. Zadeh и «Complexity» W. Weaver в кибернетике. *Успехи кибернетики*. 2022;3(3):102–112. DOI: 10.51790/2712-9942-2022-3-3-11.

8. Еськов В. В., Башкатова Ю. В., Шакирова Л. С., Веденева Т. С., Мордвинцева А. Ю. Проблема стандартов в медицине и физиологии. *Архив клинической и экспериментальной медицины*. 2020;29(3):211–216.
9. Хадарцев А. А., Филатова О. Е., Еськов В. В., Мандрыка И. А. Энтропийный подход в физике живых систем и теории хаоса-самоорганизации. *Успехи кибернетики*. 2020;1(3):41–49.
10. Галкин В. А., Еськов В. В., Пятин В. Ф., Кирасирова Л. А., Кульчицкий В. А. Существует ли стохастическая устойчивость выборок в нейронауках? *Новости медико-биологических наук*. 2020;20(3):126–132.
11. Еськов В. В. *Математическое моделирование гомеостаза и эволюции complexity: монография*. Тула: Издательство ТулГУ; 2016. 307 с.
12. Eskov V. V., Orlov E. V., Gavrilenko T. V., Manina E. A. Capabilities of Artificial Neuron Networks for System Synthesis in Medicine. *Silhavy R. (eds) Cybernetics Perspectives in Systems. CSOC 2022. Lecture Notes in Networks and Systems*. 2022;503. Режим доступа: https://doi.org/10.1007/978-3-031-09073-8_16.
13. Бернштейн Н. А. *О построении движений*. М.: Медгиз; 1947. 254 с.
14. Weaver W. Science and Complexity. *American Scientist*. 1948;36:536–544.
15. Еськов В. В., Пятин В. Ф., Шакирова Л. С., Мельникова Е. Г. *Роль хаоса в регуляции физиологических функций организма*. Самара: ООО «Порто-принт»; 2020. 248 с.
16. Еськов В. М., Галкин В. А., Филатова О. Е. *Complexity: хаос гомеостатических систем*. Самара: Изд-во ООО «Порто-принт»; 2017. 388 с.
17. Gazyu G. V., Eskov V. M. Uncertainty of the First Type in Industrial Ecology. *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science*. 2021;839(042072). DOI:10.1088/1755-1315/839/4/042072.
18. Eskov V. M. Methods for Identifying Two Types of Uncertainty in BioCybernetics. *AIP Conference Proceedings*. 2021;2402(050042). DOI: <https://doi.org/10.1063/5.0072488>.
19. Козупица Г. С., Пятин В. Ф., Кухарева А., Байтуев И. А. Три великие проблемы Гинзбурга и три реальные проблемы биомедицины. *Сложность. Разум. Постнеклассика*. 2022;3:5–14. DOI: 10.12737/2306-174X-2022-3-5-14.
20. Газя Г. В., Еськов В. В. Искусственные нейросети в оценке возрастных изменений. *Вестник новых медицинских технологий*. 2022;29(1):101–105. DOI: 10.24412/1609-2163-2022-1-101-105.
21. Еськов В. В., Газя Г. В., Асриев Е. А. Возрастные аспекты изменения параметров кардиоритма женского населения Севера РФ. *Вестник новых медицинских технологий*. 2022;29(2):100–103. DOI: 10.24412/1609-2163-2022-2-100-103.
22. Газя Г. В., Еськов В. В., Бодин О. Н., Веденев В. В. Системный анализ параметров сердечно-сосудистой системы мужчин и женщин Югры. *Вестник новых медицинских технологий*. 2021;4:26–29. DOI: 10.24412/1609-2163-2021-4-26-29.
23. Газя Г. В., Еськов В. В., Орлов Е. В., Стратан Н. Ф. Влияние факторов севера и промышленного производства на возрастные изменения работы сердца. *Вестник новых медицинских технологий*. 2022;29(1):106–109. DOI: 10.24412/1609-2163-2022-1-106-109.
24. Еськов В. В., Шакирова Л. С. Почему детерминистский и стохастический подход невозможно использовать в кардиологии и во всей медицине? *Вестник новых медицинских технологий*. 2022;29(4):117–120. DOI: 10.24412/1609-2163-2022-4-117-120.
25. Еськов В. В., Газя Г. В., Коннов П. Е. Фундаментальные проблемы биокрибернетики из-за неустойчивости выборок биосистем. *Успехи кибернетики*. 2022;3(4):110–122. DOI:10.51790/2712-9942-2022-3-4-13.
26. Eskov V. M. Methods for Identifying Two Types of Uncertainty in BioCybernetics. *AIP Conference Proceedings*. 2021;2402(050042). DOI: <https://doi.org/10.1063/5.0072488>.