

БИОФИЗИКА И МЕДИЦИНСКАЯ ФИЗИКА

Классификация неопределенностей при моделировании сложных биосистем

В. В. Еськов,^{1,а} Д. Ю. Филатова,^{1,б} Л. К. Иляшенко,² Ю. В. Вохмина¹¹ Сургутский государственный университет, Институт естественных и технических наук, кафедра биофизики и кибернетики. Россия, 628415, ХМАО, Сургут, пр. Ленина, 1.² Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Тюменский индустриальный университет». Филиал ТИУ в г. Сургуте, кафедра естественно-научных и гуманитарных дисциплин. Россия, 628404, ХМАО, Сургут, ул. Энтузиастов, 38.

Поступила в редакцию 01.02.2018, после доработки 05.07.2018, принята к публикации 09.08.2018.

Для сложных биосистем — complexity — в рамках новой теории хаоса-самоорганизации был введен аналог принципа неопределенности Гейзенберга. Необходимость такого анализа обусловлена отсутствием стационарных режимов биосистем ($dx/dt \neq 0$ непрерывно для вектора состояния complexity $x(t)$), непрерывным хаотическим изменением статистических функций $f(x)$ и др. характеристик. Сейчас это обозначается как неопределенность 2-го типа. Одновременно для complexity вводится и неопределенность 1-го типа, когда $f(x)$ не изменяются, а параметры квазиаттрактора могут изменяться при этом. Искусственная нейронная сеть одновременно так же фиксирует различия между выборками при отсутствии статистических различий.

Ключевые слова: хаос, неопределенность первого и второго типа, квазиаттрактор.

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

ВВЕДЕНИЕ

Развитие биологии и медицины в настоящее время подошло к некоторому рубежу, который обусловлен целым рядом противоречий в динамике поведения различных параметров гомеостаза организма человека и его психики. В психологии и психофизиологии наука сейчас подошла к новому пониманию явления «повторение без повторений» Н. А. Бернштейна [1], которое количественно представлено эффектом Еськова–Зинченко [2–7]. Речь идет о невозможности дважды (подряд) получить две одинаковые выборки треморограмм или теппинграмм у одного и того же человека, находящегося в одном гомеостазе [8–12]. В новой теории хаоса-самоорганизации [10–14] дается и новая трактовка самого гомеостаза как непрерывный хаос параметров организма в пределах квазиаттракторов. Это составляет основу новой теории хаоса-самоорганизации [4–12] и открывает новые перспективы в объективном (реальном) описании систем третьего типа по W. Weaver [15].

Последнее означает сейчас только то, что с организмом ничего существенного не происходит и при этом на организм не действуют внешние силы и процессы. Однако сам организм при этом демонстрирует непрерывные и хаотические изменения своих параметров $x_i(t)$, которые составляют некоторый общий вектор состояния организма (его гомеостаза) $x = x(t) = (x_1, x_2, \dots, x_m)^T$. При этом все эти компоненты $x_i(t)$ находятся в непрерывном и хаотическом изменении ($dx/dt \neq 0$ непрерывно) и одновременно все статистические функции распределения $f_j(x_i)$ для полученных выборок x_i на интервале Δt_j тоже непрерывно изменяются. Это означает, что для любых двух выборок на интервале Δt_j и Δt_{j+1} получить равенство $f_j(x_i) = f_{j+1}(x_i)$ весьма затруднительно. С момента

выхода публикации Н. А. Бернштейна (1947 г.) [1] только в 2012 г. группа ученых Стенфордского университета [16] как-то попыталась это изучить, но моделей этих процессов они не представили. Это сложно выполнить в рамках функционального анализа или стохастики из-за хаоса статистических функций распределения $f(x)$ получаемых подряд выборок x_i .

Для треморограмм и теппинграмм вероятность равенства функций $f(x_i)$ для двух подряд получаемых выборок не превышает 0.03 ($p \leq 0.03$). Это очень малая величина, и она наносит серьезный удар по всему статистическому подходу в биологии и медицине. Что мы измеряем, если две подряд получаемые выборки x_i параметра гомеостаза невозможно отнести к одной генеральной совокупности (они не «совпадают»)? Какую выборку следует считать истинной, и что с чем сравнивать? Одновременно в рамках новой теории хаоса-самоорганизации мы наблюдаем калейдоскоп разных спектральных плотностей сигнала x_i , его автокорреляций $A(t)$ и т. д. Все это в теории хаоса-самоорганизации получило название неопределенность второго типа, когда нет произвольного повтора выборки для биосистем в гомеостазе и все $f(x_i)$, спектральных плотностей сигнала, $A(t)$ и т. д. непрерывно и хаотически изменяются [2–7, 13]. Однако для таких систем третьего типа имеются и другие неопределенности, которые существенно изменяют наши представления о живых системах (сложных системах, complexity) [17–21]. Именно об этом говорил W. Weaver, но его выступление осталось без внимания [15], как и работы Н. А. Бернштейна в биомеханике [1].

1. НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ СИСТЕМ ТРЕТЬЕГО ТИПА — COMPLEXITY И НОВОЕ ПОНЯТИЕ ПОКОЯ И ДВИЖЕНИЯ

Для неопределенности второго типа мы ввели понятие квазиаттрактора [2–7], и теперь по параметрам квазиаттракторов можно определить гомеостаз

^а E-mail: firing.squad@mail.ru

^б E-mail: dfil.diana@yandex.ru

(неизменность функциональных состояний организма) или его эволюцию [6]. В последнем случае мы можем говорить об особых изменениях систем третьего типа, когда на фоне хаоса статистических функций распределения ($f_j(x_i) \neq f_{j+1}(x_i)$) мы для гомеостаза имеем неизменность параметров квазиаттрактора. К этим параметрам мы сейчас относим координаты центра квазиаттрактора в фазовом пространстве состояний, объем квазиаттрактора V_G . Подчеркнем, что для многих x_i в биологии мы используем двумерное фазовое пространство состояний, в котором $x_1(t)$ — это любая измеряемая координата $x_i(t)$, а $x_2 = dx_1/dt$ представляет скорость изменения $x_1(t)$ [2–7]. Тогда для них применим аналог принципа неопределенности Гейзенберга, но в рамках биофизики complexity [4, 13, 14].

Для тремора и теппинга эти координаты имеют прямой физический смысл. Конкретно: координата x_1 — положение части тела в пространстве, а $x_2(t)$ — скорость движения этой части тела. Для этих реальных физических перемещений мы имеем вектор состояния биосистемы (в биомеханике), для которого нами был введен аналог принципа Гейзенберга на вариации координаты Δx_1 и скорости Δx_2 в виде параметров $V_{G_{\max}} \geq \Delta x_1 * \Delta x_2 \geq V_{G_{\min}}$. Построенные $V_{G_{\max}}$ и $V_{G_{\min}}$ представляют максимально возможные $V_{G_{\max}}$ (и минимально возможные $V_{G_{\min}}$ соответственно) объемы фазового пространства состояний, которые определяются как квазиаттракторы. В пределах этих квазиаттракторов мы можем наблюдать непрерывное и хаотическое изменение вектора $x(t)$ и эти изменения (они ограничены квазиаттрактором) в теории хаоса–самоорганизации представлены как неопределенность 2-го типа. Для этого типа неопределенности характерен хаотический калейдоскоп статистических функций распределения $f(x)$ для биосистемы, находящейся в неизменном гомеостазе (якобы стационарном режиме, покое) [2–7, 22–24].

Неопределенность 2-го типа в принципе изменяет наши представления (устоявшиеся в физике) о покое и движении. В целом мы сейчас говорим об изменении понятия покоя, т. к. традиционные представления о стационарных режимах динамических систем в детерминизме в виде $dx/dt = 0$ или в стохастике в виде сохранения статистических функций распределения $f(x)$, в теории хаоса–самоорганизации приобретает иной смысл. Движение в виде $dx/dt \neq 0$ или изменение состояния динамической системы в виде непрерывного изменения статистических функций, когда $f_j(x_i) \neq f_{j+1}(x_i)$ для двух одинаковых состояний (гомеостаза) системы является фундаментом новой биологии и медицины. Однако, как мы это доказали в теории хаоса–самоорганизации, это неравенство может быть справедливо для одной и той же системы, находящейся в якобы одинаковом состоянии [2–8] (с позиций современной науки).

Иными словами, для двух подряд взятых интервалов времени Δt_j и Δt_{j+1} мы будем иметь неравенство двух подряд получаемых выборок и их статистических функций $f(x_i)$, их спектральных плотностей сигнала, их автокорреляций $A(t)$ и различных других статистических характеристик. Это мы и обозначили в теории хаоса–самоорганизации как неопределенность 2-го типа. В этом случае для биосистемы (системы третьего типа, complexity) непрерывно $dx/dt \neq 0$ и непрерывно

изменяются их $f(x_i)$, их спектральные плотности сигнала, $A(t)$ и т. д. Все непрерывно изменяется, наблюдается хаотический калейдоскоп выборок, который описывает якобы неизменное состояние организма человека [2–7, 13, 14]. Это характеризует гомеостаз, но это не является стационарным состоянием в современной науке [2, 3, 6–10]. Гомеостаз не является статикой (неизменяемостью) с позиций современной детерминистской и стохастической науки, нет $dx/dt = 0$, и нет неизменности статистических функций распределения подряд получаемых выборок одной и той же биосистемы в одном гомеостазе [21–25].

Все эти непрерывные изменения выборок доказывают полную неправильность применения стохастических методов в описании любых динамических параметров организма человека в медицине (и животных в биологии). Выборки кардиоинтервалов, треморограмм, теппинграмм, электроэнцефалограмм, электромиограмм, электронейрограмм и многих других динамических переменных, описывающих состояние организма человека и животных (а также экосистемы, биосферы Земли и даже климат и метеопараметры среды обитания) в биофизике сложных систем, медицине и биологии (экологии, психологии, метеорологии и т. д.) имеют временный характер. Любое измерение $x(t)$ на интервале Δt — это уже история. До настоящего времени все измерения в медицине, биологии, экологии и психологии имеют исторический характер. Мы изучали и изучаем артефакты [2–8, 21–25], т. е. работаем с разовыми (уникальными) выборками, о которых говорил J. A. Wheeler [26], R. Penrose [27] и I. R. Prigogine [28]. При этом все глубоко уверены, что получаемые выборки описывают реальные биопроцессы (фактически они описывают историю биосистемы). В рамках теории хаоса–самоорганизации современные биология, медицина, психология (и т. д.) имеют исторический характер [2–8].

Неопределенность 2-го типа в естествознании — это фундаментальное свойство любых биосистем (и других систем хаотических в своей динамике), и это необходимо осознать и принять как базовое свойство любых гомеостатических систем [22–25]. Это характеристика гомеостаза, это базовое понимание статичности системы третьего типа, для которых непрерывно $dx/dt \neq 0$ и все подряд регистрируемые статистические функции $f(x)$ демонстрируют калейдоскоп непрерывно изменяющихся параметров. Поскольку вся детерминистская и стохастическая наука в этой связи не может описывать такие уникальные системы, находящиеся в гомеостазе, то мы вынуждены были для системы третьего типа — complexity ввести другие понятия стационарных режимов и их статичности [2–9, 22–25].

Статичность систем третьего типа — complexity в рамках теории хаоса–самоорганизации базируется на неизменности параметров квазиаттракторов внутри которых $dx/dt \neq 0$, непрерывно и статистические функции $f(x)$ также хаотически изменяются ($f_j(x_i) \neq f_{j+1}(x_i)$) [2–9, 11–14]. Динамика нестационарности $x(t)$ в теории хаоса–самоорганизации переходит в статику квазиаттракторов, в гомеостаз. Это новая трактовка гомеостатичности сложных биосистем. Все это базируется на 2-м типе неопределенности, которая подобна неопределенности Гейзенберга в квантовой механике [3–9]. Теперь $x(t)$ непрерывно и хаотически

изменяется, но это изменение ограничено областью квазиаттрактора — ограниченным объемом фазового пространства состояний [3]. При переходе в другой гомеостаз мы наблюдаем изменения квазиаттрактора и такой процесс мы обозначаем как эволюцию сложной биосистемы (гомеостаза). Для эволюции системы третьего типа разработаны новые критерии оценки скорости и ускорения, как движение квазиаттрактора в фазовом пространстве состояний [4–9, 13, 23].

Однако на фоне нового понимания гомеостаза и эволюции системы третьего типа, как непрерывный хаос $x(t)$ в пределах квазиаттрактора, мы в рамках теории хаоса–самоорганизации вводим и другие понятия неопределенности. Наряду с неопределенностью 2-го типа, мы вводим понятие неопределенности 1-го типа. Эта неопределенность связана с традиционным пониманием статичности биосистем, когда реально мы имеем изменение $x(t)$ в фазовом пространстве состояний, т. е. биосистема (система третьего типа — complexity) не находится в стационарном режиме [2–6], но с позиций стохастики параметры системы не различаются (две сравниваемые выборки x_i можно отнести к одной генеральной совокупности). В этом случае мы имеем другой тип инверсии: статистическое (неизменное) состояние в стохастике в рамках новой теории хаоса–самоорганизации переходят в кинематику — изменение параметров квазиаттракторов и разделение выборок в рамках решения задачи бинарной классификации с помощью искусственных нейронных сетей — нейроэмуляторов, т. е. компьютерная модель (программа), представляющая собой вычислительное устройство, состоящее из большого числа простых процессорных элементов — формальных нейронов и связей между ними. Это 1-й тип неопределенности, он отличен от 2-го типа, а вместе сейчас они составляют основу новой теории хаоса–самоорганизации и серьёзно ограничивают возможности функционального анализа и стохастики в описании сложных биосистем, точнее, теория хаоса–самоорганизации вообще ограничивает возможности стохастики в биомедицине [2–8, 13, 23–25].

2. НЕОПРЕДЕЛЕННОСТЬ 1-ГО ТИПА В ТЕОРИИ ХАОСА–САМООРГАНИЗАЦИИ — ИНВЕРСИЯ ПОНЯТИЯ СТАЦИОНАРНОСТИ

В стохастике мы говорим о неизменности состояния биосистемы, если для двух интервалов времени Δt_j и Δt_{j+1} будем иметь равенство их статистических функций $f_j(x_i) = f_{j+1}(x_i)$. В этом случае биология и медицина считают, что с функциями организма исследуемых биосистем ничего существенного не происходит. Параметры системы как бы находятся в стационарном режиме. Такое состояние может происходить с группой людей, которые реально изменяют свое функциональное состояние, но при этом их статистические характеристики существенно не изменяются. Это создаёт огромные трудности в медицине, т. к. невозможно отличить здоровых от больных, учесть влияние терапии, нет эффективной оценки лечебных мероприятий (при выздоровлении) [22–25].

Для примера мы можем рассмотреть три возрастные группы женщин-ханты, которые по параметрам сердечно-сосудистой системы могут существенно и не отличаться. В наших исследованиях с сердечно-сосудистой

Табл. 1. Результаты статистической обработки (значения p критерия Вилкоксона, при критическом $p < 0.05$) основных шести интегральных параметров x_i variability сердечного ритма женщин коренного населения Югры (ханты)

	1 и 2	2 и 3	1 и 3
SIM	0.37	0.00	0.00
PAR	0.11	0.09	0.00
SDNN	0.54	0.01	0.00
INB	0.84	0.03	0.02
SpO2	0.07	0.01	0.00
HR	0.01	0.21	0.02

системой было выбрано 5 основных параметров, характеризующих состояние сердечно-сосудистой системы человека. Сформированы три возрастные группы: младшая (средний возраст 29 лет), средняя (средний возраст 46 лет), старшая (средний возраст 53 года), по 38 человек в каждой группе. В табл. 1 мы представляем статистическое сравнение (критерий Вилкоксона) этих трех возрастных групп попарно (1-ю со 2-й, 2-ю с 3-й и 1-ю с 3-й) по шести параметрам x_i ($i = 1, 2, \dots, 5$) гомеостаза кардио-респираторной системы, конкретно сердечно-сосудистой системы:

- 1) SIM — показатель активности симпатического отдела нейровегетативной системы. Он рассчитывается по формуле $4 \cdot A_{M_o}/n20\%$, где A_{M_o} — значение амплитуды моды гистограммы распределения кардиоинтервалов, численно равное числу кардиоинтервалов, соответствующих по длительности поддиапазону моды, выражается в % к объему выборки (M_o — мода распределения — значение длительности кардиоинтервала наиболее часто встречающееся во всей выборке кардиоинтервалов), а $n20\%$ — это число поддиапазонов гистограммы, содержащих количество кардиоинтервалов, превышающих уровень 20% от значения A_{M_o} ;
- 2) PAR — показатель активности парасимпатического отдела нейровегетативной системы, вычисляется суммированием модулей разностей значений i -го разряда исходной и преобразованной гистограммы кардиоинтервалов (при преобразовании разряды исходной гистограммы, находящиеся слева от моды, располагаются в преобразованной гистограмме по убыванию влево от моды, т. е. разряд, занимаемый максимальным после моды значением будет $i(\text{моды})-1$; таким же образом преобразуется исходная гистограмма справа от моды, у. е.);
- 3) SDNN — стандартное отклонение всех кардиоинтервалов выборки (мс);
- 4) INB — индекс Баевского, вычисляется по формуле $INB = A_{M_o}/2 \cdot M_o \cdot \Delta X$ (ΔX — вариационный размах — разность между максимальным и минимальным значением длительности кардиоинтервала в выборке, у. е.);
- 5) SpO2 — уровень оксигемоглобина в крови испытуемых (%);
- 6) HR — частота сердечных сокращений (уд./мин).

Из 1-го столбца следует, что почти все x_i не различаются (за исключением частоты сердечных сокращений — HR) при сравнении 1-й и 2-й возрастных групп по 6 параметрам. Часть параметров также имеет

Табл. 2. Расчёт весов пяти признаков при сравнении 2-й и 3-й возрастных групп женщин-ханты с помощью искусственной нейронной сети при малом числе p итераций ($p \leq 50$)

Нейросети с $p \leq 200 = 4 \cdot 50$					
Расчеты итераций по выборкам ($k \geq 50$)	Средние значения весов признаков $\langle w_i \rangle$ для координат вектора состояния системы x_i по наибольшим и наименьшим весам				
	SIM, $\langle w_1 \rangle$	HR, $\langle w_2 \rangle$	PAR, $\langle w_3 \rangle$	SDNN, $\langle w_4 \rangle$	INB, $\langle w_5 \rangle$
$k = 200 \ j = (1, \dots, 200)$	1.000	0.346	0.335	0.317	0.297
$k = 50 \ j = (1, \dots, 50)$	1.000	0.353	0.329	0.315	0.305
$k = 50 \ j = (50, \dots, 100)$	1.000	0.353	0.325	0.326	0.301
$k = 50 \ j = (100, \dots, 150)$	1.000	0.348	0.350	0.311	0.292
$k = 50 \ j = (150, \dots, 200)$	1.000	0.332	0.336	0.317	0.288
Интервалы изменений $\langle \Delta w_i \rangle$	0.000	0.020	0.025	0.015	0.017

Табл. 3. Расчёт весов пяти признаков при сравнении 2-й и 3-й возрастных групп женщин-ханты с помощью искусственной нейронной сети при большом числе p итераций ($p \leq 4000$)

Нейросети с $p \leq 4000 = 4 \cdot 1000$					
Расчеты итераций по выборкам ($k \geq 50$)	Средние значения весов признаков $\langle w_i \rangle$ для координат вектора состояния системы x_i по наибольшим и наименьшим весам				
	SIM, $\langle w_1 \rangle$	HR, $\langle w_2 \rangle$	PAR, $\langle w_3 \rangle$	SDNN, $\langle w_4 \rangle$	INB, $\langle w_5 \rangle$
$k = 4000 \ j = (1, \dots, 4000)$	1.000	0.350	0.348	0.326	0.301
$k = 1000 \ j = (1, \dots, 1000)$	1.000	0.349	0.343	0.324	0.302
$k = 1000 \ j = (1000, \dots, 2000)$	1.000	0.350	0.351	0.327	0.300
$k = 1000 \ j = (2000, \dots, 3000)$	1.000	0.349	0.348	0.323	0.299
$k = 1000 \ j = (3000, \dots, 4000)$	1.000	0.351	0.350	0.329	0.304
Интервалы изменений $\langle \Delta w_i \rangle$	0.000	0.002	0.007	0.006	0.004

уровень значимости $p > 0.05$ во 2-м столбце. Из таблицы следует, что целый ряд параметров x_i при парном сравнении совпадают. Их различия статистически не определяются согласно рассчитанному критерию Вилкоксона, т. к. уровень p значимости $p > 0.05$. Медицина и биология в этом случае должны сделать вывод (неправильный) о том, что эти три возрастные группы существенно (по всем x_i) не различаются. С позиций геронтологии это означает отсутствие старения по параметрам сердечно-сосудистой системы. Существенно, что только 1-я и 3-я возрастные группы статистически различаются по всем 5 параметрам. Две другие пары не дают такой картины, имеется несколько x_i , у которых критерий Вилкоксона $p > 0.05$ (нет различий).

Однако, если эти пары m -мерных выборок сравнить с помощью нейроэмулятора (и 1–2, и 2–3 группы), то нейроэмуляторы продемонстрируют различия между двумя выборками (в пятимерном фазовом пространстве состояний), что представлено в табл. 2 и 3 для двух возрастных групп. Искусственная нейронная сеть устанавливает различия между возрастными группами, хотя статистика это отрицает. Более того, хотя и нет существенных различий с позиций стохастики, нейроэмулятор показывает существенную значимость тех признаков, которые в стохастике не отличаются. Это и есть неопределенность 1-го типа. Особо она выражена в табл. 1 для пары 1 и 2, меньше совпадений (по PAR и HR) у пары 2 и 3. Но искусственная нейросеть различает и пару 1–2, и пару 2–3, т. е. искусственная нейросеть даёт различие между всеми параметрами сравнения и устраняет неопределённость 1-го типа.

Одновременно в табл. 2 и 3 мы получаем веса признаков x_i , т. е. решается задача системного синтеза (отыскание параметров порядка) [29–34].

Характерно, что при малом числе итераций j мы имеем существенные различия в параметрах весов признаков x_i , что представлено в табл. 2. Однако при увеличении числа повторов k настройки нейроэмулятора в режиме бинарной классификации (при этом каждая настройка задает начальные веса признаков w_{i0} хаотически, из равномерного распределения на интервале $w_{i0} \in (0, 1)$) наблюдается сходимость весов w_i при числе повторов $k \geq 1000$ настройки искусственной нейросети. Мы наблюдаем сходимость итоговых значений w_i к некоторым предельным значениям, которые представлены в табл. 3. Для биомедицины всегда надо брать $k \geq 1000$, и тогда мы получим w точно в пределах двух значащих цифр после запятой [22, 23]. Такая точность вполне достаточна для биологии и медицины [34–39]. Для иллюстрации этого высказывания представляем сравнительный рисунок поведения средних значений $\langle \Delta w_i \rangle$ отклонений w_i для каждой итерации при малом их числе ($k_1 = 200$) и при большом числе итераций ($k_2 = 4000$). Очевидно, что при $k_1 = 200$ усреднение модулей отклонений каждого w_i (при $i = 1, \dots, 200$) от i -го среднего значения проявляется во втором знаке после запятой ($\langle \Delta w_2 \rangle = 0.02$ и т. д.). Однако при увеличении числа итераций ($k_2 = 4000$) эти величины на порядок уменьшаются ($\langle \Delta w_2 \rangle = 0.002$ и т. д.). Это кратное уменьшение погрешности w_i характерно для всех i , кроме $i = 1$ (здесь $w_i = 1$ во всех случаях). Этот график наглядно демонстрирует эффект

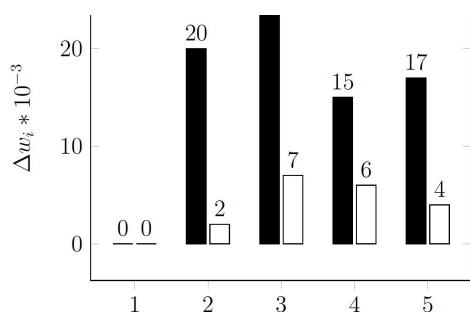


Рисунок. График изменения усредненных интервалов вариаций (ΔW_i) при числе итераций $k_1 = 200$ (затемненные колонки) и при $k_2 = 4000$ (светлые колонки).

многократных повторений решения одной задачи искусственной нейросетью (чем больше итераций — тем выше точность измерения) [34–39].

Мы высказали предположение, что в таком же режиме работает и гиппокамп, который делает итерации возбуждений в нейронных сетях, и чем больше итераций, тем лучше запоминается внешний сигнал (а при малом k плохо воспроизводится). В этом смысле наша нейросеть имитирует работу мозга человека в режиме распознавания и запоминания. В целом неопределенность 1-го типа может быть разрешена и с помощью нейроэмуляторов в режиме бинарной классификации, и с помощью методов теории хаоса–самоорганизации, когда мы рассчитываем параметры квазиаттрактора [2–8, 22, 23].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Сложные биосистемы (системы третьего типа — complexity) в общем случае демонстрируют два типа неопределенностей. Для неопределенности 2-го типа характерен хаос статистических функций распределений $f(x_i)$ для биосистемы, находящейся в неизменном состоянии (гомеостазе).

При неопределенности 1-го типа мы, наоборот, имеем одинаковые выборки, которые якобы статистически не изменяются, но реально биосистема претерпевает существенные изменения. В этом случае целесообразно использовать нейроэмуляторы в режиме бинарной классификации при условии, что число итераций k (настройки искусственной нейросети) будет велико ($k \geq 1000$).

При решении задачи разделения выборок двух сравниваемых состояний гомеостаза одной и той же биосистемы неопределенности 1-го и 2-го типов выводят систему третьего типа — complexity за пределы современной детерминистской и стохастической науки. При этом модели динамического хаоса к complexity нет смысла применять. Для решения задачи системного синтеза (отыскания параметров порядка) мы предлагаем использовать искусственные нейронные сети и расчет квазиаттракторов, которые одновременно диагностируют различия между выборками (устраняют неопределенность 1-го типа). Такие итерации настроек подобны работе мозга человека, и в определенном смысле наш подход имитирует работу мозга в режиме многократных повторений, что подтверждает особую сложность систем третьего типа [35–39].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Bernstein N. / London. 1967.
- Зилов В. Г., Еськов В. М., Хадарцев А. А., Еськов В. В. // Бюллетень экспериментальной биологии и медицины. 2017. № 1. С. 4.
- Betelin V.B., Eskov V.M., Galkin V.A., Gavrilenko T.V. // Doklady Mathematics. 2017. **95**, № 1. P. 92.
- Еськов В. М., Еськов В. В., Гавриленко Т. В., Зимин М. И. // Вестн. Моск. ун-та. Физ. Астрон. 2014. № 5. С. 41. (Eskov V.M., Eskov V.V., Gavrilenko T.V., Zimin M.I. // Moscow Univ. Phys. Bull. 2014. **69**, N 5. P. 406.)
- Еськов В. М., Еськов В. В., Гавриленко Т. В., Вохмина Ю. В. // Вестн. Моск. ун-та. Физ. Астрон. 2015. № 2. С. 62. (Eskov V.M., Eskov V.V., Gavrilenko T.V., Vokhmina Yu. V. // Moscow Univ. Phys. Bull. 2015. **70**, N 2. P. 140.)
- Еськов В. М., Еськов В. В., Вохмина Ю. В., Гавриленко Т. В. // Вестн. Моск. ун-та. Физ. Астрон. 2016. № 2. С. 3. (Eskov V.M., Eskov V.V., Vokhmina Yu. V., Gavrilenko T.V. // Moscow Univ. Phys. Bull. 2016. **71**, N 2. P. 143.)
- Rusak S.N., Eskov V.V., Molyagov D.I., Filatova O.E. // Human Ecology. 2013. N 11. P. 19.
- Eskov V.M., Gavrilenko T.V., Kozlova V.V., Filatov M.A. // Measurement Techniques. 2012. **55**, N 9. P. 1096.
- Eskov V.M., Gavrilenko T.V., Vokhmina Yu. V. et al. // Measurement Techniques. 2014. **57**, N 6. P. 720.
- Eskov V.M. // Emergence: Complexity and Organization. 2014. **16**, N 2. P. 107.
- Gavrilenko T.V., Eskov V.M., Khadartsev A.A., Sokolova A.A. // Advances in Gerontology. 2014. **27**, N 1. P. 30.
- Vokhmina Yu. V., Eskov V.M., Gavrilenko T.V., Filatova O.E. // Measurement Techniques. 2015. **58**, N 4. P. 462.
- Eskov V.M., Eskov V.V., Gavrilenko T.V., Vokhmina Yu. V. // Biophysics. 2017. **62**, N 1. P. 143.
- Garaeva G.R., Eskov V.M., Eskov V.V. et al. // Human Ecology. 2015. N 9. P. 50.
- Weaver W. // American Scientist. 1948. P. 536.
- Churchland M.M., Cunningham J.P., Kaufman M.T. // Nature. 2012. **487**. P. 51.
- Eskov V.M. // Neural Network World. 1998. **8**, N 3. P. 353.
- Es'kov V.M., Filatova O.E. // Biophysics. 1999. **44**, N 3. P. 524.
- Eskov V.M., Filatova O.E. // Biophysics. 2003. **48**, N 3. P. 497.
- Es'kov V.M., Papshev V.A., Es'kov V.V., Zharkov D.A. // Measurement Techniques. 2003. **46**, N 1. P. 93.
- Eskov V.M., Eskov V.V. // Modelling, Measurement and Control C. 2005. **66**, N 5, 6. P. 1.
- Eskov V.M., Filatova O.E., Provorova O.V., Khimikova O.I. // Human Ecology. 2015. N 5. P. 57.
- Eskov V.M., Khadartsev A.A., Eskov V.V., Vokhmina J.V. // Advances in Gerontology. 2016. **6**, N 3. P. 191.
- Karpin V.A., Filatova O.E., Soltys T.V. et al. // Human Ecology. 2013. N 7. P. 3.
- Eskov V.M., Eskov V.V., Filatova O.E. et al. // Advances in Gerontology. 2016. **6**, N 1. P. 24.
- Wheeler J.A. In Feynman and Computation: Exploring the Limits of Computers. Perseus Books, 1999.
- Penrose R. The Emperor's New Mind: Concerning Computers, Minds, and the Laws of Physics (Popular Science). Oxford University Press, 2002.
- Prigogine I. The End of Certainty: Time, Chaos, and the New Laws of Nature. London, Free Press, 1997.
- Es'kov V.M., Filatova O.E., Ivashenko V.P. // Measurement Techniques. 1994. **37**, N 8. P. 967.
- Eskov V.M. // Modelling, Measurement and Control C. 1995. **48**, N 1–2. P. 47.
- Es'kov V.M., Filatova O.E. // Neurophysiology. 1995. **25**, N 6. P. 348.

32. Eskov V.M., Eskov V.V., Braginskii M.Ya., Pashnin A.S. // Measurement Techniques. 2011. **54**, N 7. P. 832.
33. Берестин Д. К., Горбунов Д. В., Поскина Т. Ю., Сидоренко Д. А. // Сложность. Разум. Постнеклассика. 2015. № 3. С. 20.
34. Филатов М. А., Веракса А. Н., Филатова Д. Ю., Поскина Т. Ю. // Сложность. Разум. Постнеклассика. 2016. № 1. С. 24.
35. Ivanitskii G. R. // Phys. Usp. 2010. **53**. P. 327.
36. Ivanitskii G. R. // Phys. Usp. 2012. **55**. P. 1155.
37. Ivanitskii G. R. // Phys.Usp. 2017. **187**. P. 757.
38. Eskov V.M., Filatova O.E., Eskov V.V., Gavrilenko T.V. // Biophysics. 2017. **62**, N 5. P. 809.
39. Eskov V.V., Gavrilenko T.V., Eskov V.M., Vochmina Yu. V. // Technical Physics. 2017. **62**, N 11. P. 1611.

Classification of Uncertainties in Modeling of Complex Biological Systems

V. V. Eskov^{1,a}, D. Yu. Filatova^{1,b}, L. K. Plyashenko², Yu. V. Vochmina¹

¹Department of Biophysics and Neurocybernetics, Institute of Natural and Technical Sciences, Surgut State University. Surgut 628415, Russia.

²Department of Natural Sciences and Humanities, Surgut Branch, Tyumen Industrial University. Surgut 628404, Russia. E-mail: ^afiring.squad@mail.ru, ^bdfil.diana@yandex.ru.

An analogue of the Heisenberg uncertainty principle (complexity) is introduced for complex biological systems in the framework of the new chaos–self-organization theory. The requirement for such an analysis is determined by the absence of stationary regimes of biosystems ($dx/dt \neq 0$ is continuous for the state vector complexity $x(t)$) uninterrupted chaotic change of the statistical functions $f(x)$ and other parameters. At present, this is defined as type 2 uncertainty. At the same time, type 1 uncertainty is introduced for the complexity when $f(x)$ do not change, and the quasi-attractor parameters can change. A neuron network simulator finds the differences between the samples in the absence of statistical differences.

Keywords: chaos, types 1 and 2 uncertainties, quasi-attractor.

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

Received 01 February 2018.

English version: *Moscow University Physics Bulletin*. 2019. **74**, No. 1. Pp. 57–63.

Сведения об авторах

1. Еськов Валерий Валериевич — канд. мед. наук, доцент; тел.: (3462) 76-30-79, e-mail: firing.squad@mail.ru.
2. Филатова Диана Юрьевна — ст. науч. сотрудник; тел.: (3462) 76-30-90, e-mail: dfil.diana@yandex.ru.
3. Иляшенко Любовь Кирилловна — канд. пед. наук, доцент, зав. кафедрой; тел.: (3462) 35-83-87, e-mail: end_fiz@mail.ru.
4. Вохмина Юлия Владимировна — аспирант; тел.: (3462) 76-30-90, e-mail: vachmina@mail.ru.