

### III. МАТЕМАТИКА В ОПИСАНИИ ХАОСА И СИНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМ

DOI 10.12737/3397

#### МАТЕМАТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ГЛОБАЛЬНОЙ НЕСТАБИЛЬНОСТИ БИОСИСТЕМ

Т.В. ГАВРИЛЕНКО, Ю.В. ВОХМИНА, М.И. ЗИМИН, Ю.М. ПОПОВ

*ГБОУ ВПО «Сургутский государственный университет ХМАО – Югры»,  
пр. Ленина, д.1, г. Сургут, Россия, 628412*

**Аннотация.** В работе представлены особенности моделирования сложных биосистем – complexity. У этих особых систем третьего типа нет повторений функций распределений (и их характеристик), нет повторений начальных условий (а теория вероятности требует повторения начальных условия и повторения опытов многократно), нет никаких определенностей в плане прогноза будущего состояния сложной системы, т. е. система непрерывно изменяемая и непредсказуема. Возникает вопрос: что делать с такими системами, как их описывать и прогнозировать? Детерминистский и стохастический подходы бесполезны. I. R. Prigogine про такие уникальные системы говорил: «они не являются объектами науки». Очень важно, что хаос, который демонстрируют системы регуляции тремора, теппинга, кардиоинтервалов, миограмм и электроэнцефалограмм, этот хаос не соответствует аттракторам Лоренца, т. е. модельному хаосу в теории хаоса (нет определенных начальных условий и нельзя повторять на одном объекте (человеке) параметры квазиаттракторов (в моделях традиционного хаоса эти параметры повторимы, можно рассчитать константы Ляпунова, а автокорреляционные функции сходятся). У нас все наоборот: и автокорреляция ведет себя неустойчиво, константы Ляпунова рассчитывать нельзя, моделей нет. Для этих систем авторы предлагают рассчитывать квазиаттракторы.

**Ключевые слова:** стохастика, хаос, самоорганизация, квазиаттрактор.

#### MATHEMATICAL BASIS OF THE GLOBAL INSTABILITY OF BIOSYSTEMS

T.V. GAVRILENKO, Y.V. VOKHMINA, M.I. ZIMIN, Y.M. POPOV

*Surgut State University, Lenina, 1, Surgut, Russia, 628412 пр. Ленина, д.1, г. Сургут, Россия,  
628412*

**Abstract.** The article presents features of modelling of complex systems – complexity. Specific systems of third type have no repetitions of distribution functions (and their measures), no repetitions of initial states (but the probability theory requires initial states to be repeated and experiences should be repeated many times), no certainties in prediction of the future state of a complex system, i.e. system is constantly changing and unpredictable. There is a question: what should we work with such systems, how to describe and predict them? Deterministic and stochastic approaches are useless. I.R. Prigogine thought that such unique systems are not objects of the science. It is very important that the chaos that demonstrates regulation of tremor, tapping, heart rate beats, myograms and electroencephalograms does not suit to Lorenz attractor, or model chaos in chaos theory (because there are no certain initial states and parameters of quasi-attractors of the same subject (a human) cannot be repeatable). In models of traditional chaos these parameters are repeatable, the Lyapunov exponents are calculated, and the Lyapunov exponents are calculated.

punov exponents can be calculated and autocorrelation functions coincide). But in our case everything is opposite: the autocorrelation functions are unstable, the Lyapunov exponents cannot be calculated, and there are no models. The authors suggest calculating volumes of quasi-attractors.

**Key words:** stochastic, chaos self-organization, quasiattractor.

**Введение.** Теоретическая биофизика с момента своего возникновения постоянно пытается найти аналоги поведения сложных биологических динамических систем (БДС) и объектов неживой природы [10,13]. Существенно, что в этих многочисленных попытках существует очень мало примеров аналогии между объектами квантовой механики и БДС. В *теории хаоса и самоорганизации* (ТХС) вводится принцип неопределенности для сложных БДС (complexity), который является некоторым аналогом соотношения Гейзенберга. Однако проблема неопределенности динамики поведения объектов микромира может иметь некоторые общие корни с объектами макромира, например со сложными биосистемами (complexity). При этом демонстрируется возможность некоторого аналога туннельного эффекта для complexity на основе использования метода многомерных фазовых пространств. Наличие такой неопределенности в БДС свидетельствует о множественности механизмов организации поведения систем третьего типа (СТТ), для физики это означает ограниченность наших знаний об организации движения частиц.

Для более полной аналогии с физическими подходами и объектами нами были взяты в качестве примеров биомеханические системы, организующие *постуральный тремор и теппинг*. В таких БДС можно легко вводить координаты  $x_1(t)$ , скорости  $x_2=dx_1/dt$  и ускорения  $x_3=dx_2/dt$ , тогда вектор состояния  $x=x(t)=(x_1, x_2, x_3)^T$  таких биомеханических систем образует привычное для физики трёхмерное фазовое пространство состояний (ФПС). Однако, в отличие от физических систем биомеханические системы не могут демонстрировать абсолютный или относительный покой в виде  $dx/dt=0$  для всех координат вектора состояния системы (ВСС), т.е.  $x=x(t) \neq const$ . *Постуральный тремор и теппинг* – яркая иллюстрация хаотической динамики ВСС в ФПС. Именно об этом пытались сказать

Пригожин И.Р. и Курдюмов С.П. в своей дискуссии о роли неопределенности в науках о complexity [1,2].

Известно, что с момента выхода работ Шмальгаузена, Рашевского, Лотки и Вольterra прошло уже более 70-ти лет, но проблема построения некоторого единого подхода в теоретической биофизике остается открытой. Существенным пробелом здесь остается отсутствие классических разделов (столь характерных для теоретической физики), например в виде классической механики (биомеханики) и аналога квантовой механики в динамике поведения сложных систем (complexity). При этом на молекулярно-клеточном уровне (в биофизике) мы имеем несомненные достижения и успехи (в виде изучения наследственности, строения и функций мембран и др.). При переходе к сложным БДС с самоорганизацией проблема прогнозируемости таких систем и даже возможности повторения их начального состояния (в виде  $x=x(t_0)$  или любой динамической траектории ВСС в ФПС) остается принципиально нерешенной. На это обращал внимание и М. Gell-Mann в своём известном обращении по проблеме неопределённости для complexity [8].

**1. Системы третьего типа в биологии и медицине и принцип неопределенности Гейзенберга.** Принципиальная непредсказуемость и неповторимость динамики поведения сложных динамических систем обусловлена особыми свойствами сложных БДС, которые мы сейчас определяем как СТТ. В современной теоретической биофизике СТТ обозначают как complexity, но при этом нет строгого определения этих систем и их свойств. Рассмотрим факты особого поведения (и свойств) СТТ на конкретных примерах без детального описания методов их моделирования. Формальный аппарат для описания СТТ будет представлен на основе биологического аналога принципа неопределённости Гейзенберга, который в рамках *детерминистско-*

стохастического подхода (ДСП) общепризнан на микроуровне.

Первые попытки ввести некоторые понятия о СТТ были выполнены 65 лет назад Warren Weaver в его известной публикации «Science and complexity» [16]. Однако, вводя понятие организованной сложности W. Weaver тогда не выполнил систематизацию таких объектов, их основных свойств и, главное, не предложил методы и модели для их описания. Традиционные физические подходы в биофизике на уровне complexity, как это и представлял в 50-х годах 20-го века А. Hill, не дали нужных результатов [12] из-за особых свойств СТТ. Многочисленные попытки Н. Haken [9] и I.R. Prigogine [12] в области синергетики и теории complexity также закончились безрезультатно в плане выделения особого математического аппарата и особых моделей для описания complexity с самоорганизацией. Более того, сам Пригожин в предсмертной статье «The Die is not Cast» [12] особым образом выделил системы в природе, которые современная наука не изучает и не описывает. Речь идёт об уникальных системах, без их повторения в пространстве и времени. Однако именно эти системы и составляют основные объекты в биологии и медицине. Эти особые объекты (и их свойства) уже описывали в своих обзорах Г.Р. Иваницкий [11] и В.В. Смолянинов [14]. Однако, особое свойство непрерывного мерцания и эволюции каждой complexity остаётся за пределами обсуждения с позиций детерминизма и стохастики [3-7].

Поскольку в настоящем сообщении будут представлены только факты, то принципы организации и особые свойства СТТ мы не будем доказывать (а это 5 принципов организации СТТ и 13 их отличий от объектов физики, химии, техники), а сразу укажем на особенности СТТ с позиций традиционной науки, т.е. физики и математики, описывающих объекты неживой природы. Выделим свойства объектов живой природы, которые отсутствуют у объектов неживой природы, но которые можно описывать аналогами физических подходов.

Во-первых, все СТТ (complexity в трактовке Пригожина-Хакена) не имеют точек

покоя в традиционном ДСП плане. Например, для СТТ никогда их ВСС  $x=x(t)$  не сможет продемонстрировать стационарный режим в виде  $dx/dt=0$ . Для любой СТТ их ВСС в ФПС испытывает непрерывное и хаотическое движение. Это движение (как и движение электрона в условиях энергетических ограничений, например, в потенциальной яме или на определённом энергетическом уровне в атоме) ограничено определёнными рамками, накладываемыми на фазовые координаты. Таким образом, СТТ не имеет стационарных режимов в аспекте ДСП.

Во-вторых, в биомеханике такими фазовыми координатами является положение конечности (пальца при *постуральном треморе*) по отношению к регистрирующему датчику –  $x_1=x_1(t)$  и скорость перемещения конечности  $x_2=x_2(t)=dx_1/dt$ . На фазовой плоскости вектора  $x=(x_1, x_2)^T$  можно построить фазовые траектории, которые всё-таки будут иметь определённые границы в пределах фазового пространства. Эти границы образуют некоторую область в ФПС, которая характеризует физиологическое (психическое) состояние субъекта (испытуемого) и которую мы будем обозначать как *квазиаттрактор* (КА). Объём КА ( $V_G$ ) является важной характеристикой объекта и он используется сейчас нами в биологии, психологии и медицине для диагностики функций организма испытуемого [3-7]. Таким образом, КА – важная характеристика любой СТТ (complexity), динамики поведения их ВСС.

В целом, для СТТ мы имеем некоторые области фазового пространства, внутри которых происходит непрерывное и хаотическое движение ВСС, но хаос БДС, т.е. СТТ, существенно отличается от хаотического движения, которое изучается на моделях в рамках разрабатываемой сейчас теории хаоса. Это отличие заключено в непрерывной и постоянной эволюции СТТ, которая связана с возрастными изменениями организма, а также возникновением заболеваний. Отметим, что после выздоровления организм человека не возвращается в исходное состояние (нельзя дважды переболеть одинаково одним заболеванием, т.к. организм эволюционирует и после выздо-

рования не возвращается в исходное состояние). Таким образом, СТТ имеют свойство эволюции, когда их КА движутся в ФПС (например, при старении организма).

Если в теории хаоса с помощью данной модели (повторяя параметры математической модели) можно воспроизвести параметры КА, то для биосистем (СТТ) дважды повторить их внутреннее состояние или динамику поведения их ВСС даже на коротком интервале времени невозможно. Более того, если использовать статистические методы для описания СТТ, то мы можем получать даже на коротких интервалах времени  $\tau_1=\tau_2=\tau_3=\dots$  разные функции распределения. Такая динамика имеет место при регистрации *постурального тремора*, *теппинга* (периодическое движение пальца), кардиоинтервалов, электромиограмм и электроэнцефалограмм. Любые параметры гомеостаза (включая и биохимические параметры крови) всегда демонстрируют полное отсутствие точек покоя (т.е.  $dx/dt \neq 0$ ) и непрерывное изменение параметров функций распределения  $f(x)$ .

Более того, на коротких интервалах времени  $\tau$  распределение может переходить от параметрического к непараметрическому распределению и обратно. Иными словами ни детерминистские модели в виде дифференциальных, разностных, интегральных или интегродифференциальных уравнений не могут описывать такие СТТ (т.к. начальное состояние ВСС в виде  $x(t_0)$  неповторимо и невозпроизводимо в принципе), ни стохастический подход в виде расчёта функций распределения  $f(x)$  не может быть использован для описания СТТ. Это особый тип систем, которые находятся в непрерывной хаотической динамике и для которых отсутствует возможность какого-либо прогноза в будущем на конечное состояние СТТ. Именно это пытался сказать М. Гелл-Манн в своём обращении, но только в отношении физических систем [8].

Однако, у этих особых СТТ наряду с особым хаосом имеются и механизмы самоорганизации. Поэтому разрабатываются новые методы описания систем третьего типа (отличных от детерминистских и стохастических систем), которые базируются

на новой ТХС, которая включает в себя 5 принципов организации СТТ (компаратментно-кластерное строение, свойство «мерцания» СТТ, когда непрерывно  $dx/dt \neq 0$ , эволюцию СТТ и их телеологическое движение к некоторому конечному КА, наконец, возможность выхода не только за 3 сигмы, но и за 10, 20 сигм, что в стохастике исключено полностью). Последнее свойство гигантских отклонений от координат центра КА характерно только для БДС. Технические или физические системы в этом случае просто прекращают своё существование. Однако, в квантовой механике такие эффекты имеют место в виде туннельных эффектов: частица может преодолеть потенциальный барьер (выйти из ядра, например) и даже возвратиться обратно.

То, что СТТ имеет ограничения на фазовые координаты, может быть представлено в виде:  $\Delta x_1 \times \Delta x_2 \geq V_G^{min}$ , (1) где  $V_G^{min}$  – это минимальный фазовый объём, за пределами которого происходит движение вектора состояния системы. Такое неравенство весьма подобно известному принципу Гейзенберга в квантовой механике. Для фазовых координат в виде  $x_1$  – перемещение и  $x_2$  – скорость этого перемещения в физике элементарных частиц принцип неопределённости накладывает ограничения в виде:  $\Delta x_1 \times \Delta p \geq h/4\pi$ , (2) где  $p=mv$  – является импульсом частицы. Если массу перенести в правую часть неравенства, то соотношение (2) примет вид неравенства (1), где роль  $V_G^{min}$  будет играть величина  $h/4\pi m = Z$ , т.е. имеем:  $\Delta x_1 \times \Delta x_2 \geq Z = h/4\pi m$ . (3)

Фактически, величина  $Z$  имеет тот же смысл, что и  $V_G^{min}$ , т.к. представляет некоторый минимальный объём фазового пространства вектора  $(x_1, x_2)^T$ , который накладывает ограничения на изменения фазовых координат  $x_1$  (смещение в пространстве) и  $x_2$  (скорость этого смещения). Неравенство (3) в квантовой механике может иметь смысл «индивидуального» неравенства для каждой частицы, т.к. правая часть содержит массу  $m$ , которая тоже зависит от скорости и, следовательно,  $Z$  будет «индивидуальной» величиной. Эта правая часть  $Z$  для каждой частицы с конкретной массой будет «индивидуальна» для каждой частицы. С

этих позиций и неравенство (1) тоже является индивидуальным неравенством (специфичным для каждого испытуемого). Более того, как мы показали,  $V_G^{min}$  характеризует ещё и специфику физиологического или психического состояния испытуемого. Фактически  $V_G^{min}$  – это универсальная константа для каждого испытуемого, находящегося в данных условиях наблюдения, она индивидуальна для каждого испытуемого как и  $Z$  в (3) для каждой элементарной частицы с массой  $m$  и скоростью  $v$ .

Имеется ещё одно существенное отличие БДС от объектов квантовой физики. Из-за самоорганизации динамика поведения СТТ такова, что обычно ВСС движется внутри некоторого объёма фазового пространства состояний, т.е. в общем случае мы имеем вместо неравенства (1) – неравенство (4) в виде:  $V_G^{max} \geq \Delta x_1 \times \Delta x_2 \geq V_G^{min}$ . (4)

Более того, мы чаще используем левую часть неравенства (4) для многих СТТ в виде:  $V_G^{max} \geq \Delta x_1 \times \Delta x_2$  (5)

Т.к., механизмы самоорганизации ограничивают движение ВСС в ФПС не только снизу, но и сверху. Иллюстрацию этим высказываниям проще выполнить на примерах из биомеханики. Однако, мы имеем огромное количество примеров и из других областей биологии и медицины. В общем случае мы всегда будем иметь особые области фазового пространства (квазиаттракторы), внутри которых мы будем иметь непрерывное и хаотическое движение любых параметров вектора состояния организма человека (ВСОЧ). Параметры КА – важная характеристика физиологического, психического, биохимического статуса объекта. Область фазового пространства состояний (квазиаттрактор) сейчас используется и в медицине для оценки нормы и патологии как для одного пациента, так и для оценки статуса группы пациентов [3-7].

В целом, биофизика отличается от физики. Здесь нет универсализма (одинаковости объектов исследования). Универсальными могут быть законы поведения: непрерывное и хаотическое движение ВСС в ФПС, отсутствие повторяющихся начальных условий (т.е.  $x(t_0)$  неповторим и невозпроизводим), наличие ограничений на со-

пряженные координаты ВСС в виде (1) или (5). Более того, специфика ТХС такова, что СТТ имеют не только  $V_G^{min}$ , но и  $V_G^{max}$ , т.е. некоторый максимальный объём ФПС, внутри которого непрерывно и хаотически движется ВСС. В этом заключено отличие СТТ от физических, химических или технических систем. Поэтому именно СТТ необходимо описывать в рамках ТХС, т.к. ДСП-методы и модели бессильны в их описании.

**2. Почему стохастика неприменима к системам третьего типа?** Прежде всего, отметим, что *постуральный тремор* и *теппинг* всегда рассматривались как примеры произвольных и произвольных движений. Однако, с позиций механики, с позиций ТХС и расчета неравенств вида (1) и (5), оба этих движения не могут числиться произвольными движениями, т.к. они с механической точки зрения (и с позиций ТХС) выполняются произвольно. Иными словами повторную траекторию тремора или теппинга воспроизвести невозможно! Любой динамический отрезок (траектория пальца в пространстве) для координат  $x_1(t)$  и  $x_2(t)$  в фазовом пространстве неповторима и невозпроизводима. Это движение хаотическое, но в пределах ограниченных объёмов ФПС (КА), которые можно повторить и он может изучаться в ТХС.

При этом оба этих хаотических движения (в пределах КА) являются по сути произвольными. Удержание пальца в данной точке пространства осуществляется сознательно, т.е. имеется цель и средства для её достижения. *Теппинг* (периодическое движение пальца в пространстве в виде вертикальных колебаний) – это тоже произвольное движение (участвует сознание). Но реализация этих двух видов движения осуществляется всегда произвольно, в пределах КА, то есть хаотически различаются виды этих двух КА: для треморограммы имеем равномерное распределение в пределах  $V_G^{max}$ , т.е. имеем неравенство (5), а для теппинга мы имеем неравенство вида (4). Однако, оба этих КА имеют внешнюю границу  $V_G^{max}$ .

Таким образом, и *теппинг*, и *тремор* – это два типа произвольных движений, которые, с позиций механики, реализуются

непроизвольно (т.е. хаотически, в пределах КА), и которые существенно зависят от психического или физиологического состояния человека. Иными словами, параметры КА ( $V_G^{min}$  и  $V_G^{max}$ ) зависят от состояния систем регуляции двигательными функциями человека, т.е. являются параметрами ВСОЧ. Продемонстрируем это на конкретных примерах стохастического и хаотического подходов в оценке биомеханических параметров испытуемых.

Отметим, что число выполненных нами биомеханических измерений и измерений параметров *кардиоинтервалов* (КИ) превышает двадцать тысяч измерений. Здесь КИ – это временной отрезок  $\tau$  между последовательными сокращениями сердца и это – переменная величина  $x_1(t)$ , которая тоже имеет свою скорость  $x_2=dx_1/dt$  и ускорение  $x_3=dx_2/dt$ . И для движения пальца и для работы сердца мы имеем одинаковые (с физической точки зрения) фазовые пространства с размерностью  $m=3$  (т.е. имеем ВСС  $x=x(t)=(x_1, x_2, x_3)^T$ ), а в более упрощенном виде мы используем только фазовую плоскость вектора  $x=x(t)=(x_1, x_2)^T$ , т.е.  $m=2$ .

В рамках сравнения эффективности двух подходов методами стохастики и ТХС были выполнены вычисления параметров распределения треморограмм (первоначально с позиций стохастики). При этом нами были установлены следующие зависимости. Во-первых основные измерения, выполненные у одного (каждого) испытуемого при разбиении общего отрезка регистраций треморограммы длительностью  $\tau=5$  сек (этот интервал  $\tau$  разбивался на 3 отрезка  $\tau_i$ , т.е.  $\tau_1+\tau_2+\tau_3=\tau_{общ}=\tau$ ) на интервалы  $\tau_1=\tau_2=\tau_3$ , показали отсутствие возможности рассматривать эти участки треморограмм как нормальное распределение. В редких случаях, когда на всех трёх участках  $\tau_i$  можно было использовать нормальное распределение, параметры этих распределений Гаусса не удовлетворяли условию отнесения этих выборок к одной (общей) генеральной совокупности. Каждый участок  $\tau_i$  представлял свою (основную) функцию распределения для конкретного испытуемого на интервале 5 сек. Более того, при других изменениях у этого же испытуемого

(в следующие 5 сек.) результат был аналогичным, т.е. распределение постоянно изменяется (параметрическое – непараметрическое), функции изменяются и по виду, и по своим характеристикам.

Чаще всего средние значения  $\langle x \rangle$  ещё могли удовлетворять критерию отнесения всех  $\langle x_i \rangle$  для отрезков  $\tau_i$  к одной общей генеральной совокупности (не более 20% от всех испытуемых). Однако, дисперсии всегда давали различие между попарными сравнениями (три отрезка  $\tau_i=\tau/3$  и один общий отрезок  $\tau=\tau_1+\tau_2+\tau_3$ ). Если брать испытуемого с 5 секундами регистрации в разные моменты времени (в течение рабочего дня), то возможность совпадения  $\langle x \rangle$  и дисперсий  $D^*$  вообще становится нулевой. Иными словами, если испытуемый на интервале регистрации  $\tau=5$  см ещё какое-то подобие (по средним или дисперсиям) может продемонстрировать (иногда!), то в разные моменты времени (для разных интервалов 5 сек.) такое практически воспроизвести невозможно. Любой интервал регистрации  $\tau=5$  сек. будет уникальным и неповторимым, даже если испытуемый будет находиться в спокойном (устойчивом) состоянии.

Различия между участками треморограмм в аспекте нормального распределения или непараметрического распределения (между короткими отрезками измерений одной треморограммы в 5 сек.) столь существенны, что любые попытки использования традиционного стохастического подхода разбиваются о реалии хаоса. При этом следует отметить одну особенность, которая составляет всё-таки закономерность (но её использовать на практике нецелесообразно): при различных внешних воздействиях (например, испытуемому представлялась классическая музыка, шум или ритмическая музыка) в системе регуляции тремора происходила некоторая нормализация распределения (в буквальном смысле). В качестве иллюстрации в табл. 2 представлена матрица попарного расчета критерия Фишера для случая ритмической музыки, когда испытуемый от первой матрицы (счёт 4/2, то есть для 4-х пар дисперсии не совпадают, что обозначено со знаком «-»), а для двух могут совпадать – знак «+») пере-

ходил ко второй матрице (счёт 0/6, то есть все пары удовлетворяют условию нулевой гипотезы – дисперсии могут совпадать по критерию Фишера). Однако, для различных испытуемых эти соотношения могут быть разными, равно как и для одного испытуемого при повторении испытаний. Внешние акустические воздействия способны изменить структуру хаоса (усилить, или, наоборот, ослабить порядок). Мера таких изменений и является способом оценки влияния раздражения анализаторов на параметры двигательной активности человека.

Таблица 1

**Сравнение коротких интервалов треморограмм  $\tau_1=\tau_2=\tau_3=T/4$  из общего  $T=5$  сек по критерию Фишера до акустического воздействия**

	1	2	3	Общ.
1	0	1,27/2,9+	4,53/2,9-	5,01/2,79-
2	1,27/2,9+	0	5,76/3,18-	6,37/3,07-
3	4,53/2,9-	5,76/3,18-	0	1,11/3,07+
Общ.	5,01/2,79-	6,37/3,07-	1,11/3,07+	0
$\chi^2$	26,0324	5,17549	8,85327	63,43

Таблица 2

**Критерии Фишера во время воздействия ритмической музыкой: расчет 3-х интервалов тремора за  $T/3$  сек. и их общая треморограмма (общ.)**

	1	2	3	Общ.
1		2,69/4,15+	3,12/3,23+	1,61/3,07+
2	2,69/4,15+		1,16/3,37+	1,67/4,06+
3	3,12/3,23+	1,16/3,37+		1,93/3,14+
Общ.	1,61/3,07+	1,67/4,06+	1,93/3,14+	
$\chi^2$	49,75	2	45,29	33,57

Таким образом, внешние раздражители (возможно как стрессовые), могут обеспечить нормальный закон распределения, но на очень коротких интервалах времени  $\tau=5$  сек. Измерения на других интервалах в 5 сек уже не давали эффекты нормализации ни в сравнении с исходными 5-тью секундами, ни внутри своих интервалов разбиения  $\tau=\tau_1+\tau_2+\tau_3=5$  сек. Переход от параметрических распределений к непараметрическим и обратно происходил спонтанно (хаотически и непредсказуемо), без всяких возможностей прогноза.

**Проверка на нормальность распределения**

Группы сравнений	N	макс.D	К.-С. р	Лиллиеф. Р	W	P
до воздействия (1-83)	83	0,1520	$p<0,05$	NN $p<0,01$	0,9334	0,0003
до воздействия (84-166)	83	0,0738	$p>0,20$	$p>0,20$	0,9647	0,0224
до воздействия (167-249)	83	0,1874	$p<0,01$	NN $p<0,01$	0,8565	0,0000
до воздействия (общее)	249	0,1687	$p<0,01$	NN $p<0,01$	0,8841	0,0000
ритмическая (1-83)	83	0,3078	$p<0,01$	NN $p<0,01$	0,7113	0,0000
ритмическая (84-166)	83	0,1746	$p<0,05$	NN $p<0,01$	0,8650	0,0000
ритмическая (167-249)	83	0,1072	$p>0,20$	NN $p<0,05$	0,9682	0,0374
ритмическая (общее)	249	0,1468	$p<0,01$	NN $p<0,01$	0,8897	0,0000

Иными словами, попытки нормализации распределений иногда можно зарегистрировать в условиях *внешних управляющих воздействий*, но это настолько редкие случаи, что они сопоставимы с эффектами настройки нейросети на решение задачи бинарной классификации. При этом самое главное: никто и никогда не сможет подряд повторить такие эффекты несколько раз, все неповторимо и невоспроизводимо. В этом особенность хаоса биосистем, т.е. СТТ. Если же проверить любые, произвольные интервалы треморограмм (по  $\tau=5$  сек.) для разных воздействий, то мы будем получать калейдоскопы (чередование в произвольном порядке) возможностей использования нормальных распределений на некоторых интервалах  $\tau_i$ , входящих в общий интервал  $\tau=5$  см= $\tau_1+\tau_2+\tau_3$ , и непараметрических распределений (в табл. 3 это обозначено индексом NN). Например, в табл. 3 мы представляем результаты расчета треморограмм другого испытуемого Х.А.С., у которого в спокойном состоянии (до воздействия) 3 интервала не удовлетворяли условию распределения Гаусса (критерий Лиллиефорса  $p<0,05$ ) и только один отрезок треморограммы (2-й) удовлетворял нормальному распределению. Однако при ритмичной музыке все 4 отрезка треморограммы не удовлетворяли условию нормального распределения. Для сравнения в табл. 3 мы представили общую картину расчета первичных

стохастических данных, которая включила и расчет дисперсий  $D$ , и расчёт критерия Колмогорова-Смирнова. Последний тоже принимает различные значения, то есть закономерность одна – хаос в полученных результатах.

Таблица 4

**Оценка наличия различий между группами в рамках рангового дисперсионного анализа (ДА)**

Группы сравнений	Медиана	25,000 %	75,000 %
до воздействия (1-83)	0,9097	0,8859	0,9201
До воздействия (84-166)	0,8942	0,8844	0,9064
до воздействия (167-249)	0,9787	0,9509	0,9885
До воздействия (общее)	0,9116	0,8917	0,9509
Ритмическая (1-83)	0,7098	0,7053	0,7126
ритмическая (84-166)	0,9241	0,7758	0,9811
Ритмическая (167-249)	0,8029	0,7779	0,8380
Ритмическая (общее)	0,7779	0,7126	0,8435

Примечание: Ранговый ДА и конкордация, Кендалла (продолжение расчета данных табл. 1 и 2) по критерию Вилкоксона, ДА хи-кв. ( $N=83$ ,  $cc=14$ )= $948,8512$   $p<0,00000$  Ко эфф. конкордации= $0,81657$  Средн. ранг  $r=0,81433$

В табл. 4 мы представляем идентификацию наличия различий между группами в рамках дисперсионного анализа. Эти различия очевидны для двух характерных треморограмм до воздействия и при действии ритмической музыки (здесь критический порог  $p<0,05$ ). Например, нами, для полной картины, демонстрирующей возможности статистики (а точнее её невозможности) при применении к расчёту треморограммы, была получена матрица попарного сравнения выборок в гипотезе непараметрического распределения на основе критерия Вилкоксона (табл. 5).

Таблица 5

**Проверка статистической значимости различий с использованием**

**Критерия Вилкоксона**

Группы сравнений	ритмическая 1	ритмическая 2	ритмическая 3
До воздействия 1	N 0,0000	0,2061	N 0,0000
до воздействия 2	N 0,0000	0,4443	N 0,0000
до воздействия 3	N 0,0000	N 0,0000	N 0,0000

В табл. 5 представлены результаты расчета критерия Вилкоксона для пар сравнения трёх треморограмм испытуемого Х.А.С. до воздействия (спокойное состояние – левый столбец) и эти же выборки в сравнении с тремя интервалами треморограмм в условиях действия ритмической музыки как стрессового фактора (большая громкость). Индекс  $N$  означает, что различия между выборками до воздействия и после ритмической музыки (за исключением 2-го столбца, где два раза мы не имеем  $N$ , то есть различия не существенны) в основном существенны с учётом поправки Бонферрони.

Таким образом, система регуляции тремора такова, что мы не можем использовать обычные статистические методы расчета, так как на разных коротких (рядом лежащих) интервалах измерений тремора (аналогично *теппинга*, кардиоинтервалов, миограмм и т.д.) система ведет себя совершенно неустойчиво. Распределение из нормального переходит в непараметрическое, при этом и нормальное распределение даёт разные значения параметров среднего ( $\langle x \rangle$ ) и дисперсий ( $D$ ), то есть создается впечатление, что генерируется постоянно другая выборка. Если сравнивать два разных интервала измерения треморограмм  $\tau$ , то мы тоже получаем постоянно изменяющиеся результаты: либо различия по Вилкоксоу существенны, либо они статистически незначимы.

Всё будет зависеть от момента времени измерения. При этом такое поведение нельзя называть флуктуациями, так как нет среднего значения случайной величины. Точнее говоря, само это среднее (вместе с дисперсией или другими характеристиками) непрерывно и хаотически изменяется. Иногда даже возможно нормальное распределение на корот-



ком интервале времени, но это – редкое и случайное (хаотическое) явление.

Аналогичные результаты получены при анализе кардиоинтервалов, миограмм, электроэнцефалограмм. Хаотически себя ведут биохимические параметры крови и любые другие параметры гомеостаза. Нельзя выделить закон распределения! Для иллюстрации представим второй характерный пример из области регистрации кардиоритмики, когда  $x_1(t)$  – это функция кардиоинтервалов, а  $x_2=dx_1/dt$  – скорость изменения  $x_1(t)$ .

Таблица 6

### Проверка на нормальность распределения параметров

Группы сравнений	N	макс. D	К.-С. р	Лиллиеф. р	W	р
До воздействия 1	79	0,0818	p>.20	p>.20	0,9726	0,0878
До воздействия 2	79	0,0957	p>.20	p<.10	0,9800	0,2511
До воздействия 3	79	0,1054	p>.20	NN p<.05	0,9798	0,2452
До воздействия 4	79	0,0730	p>.20	p>.20	0,9868	0,5952
До воздействия общ.	398	0,0542	p<.20	NN p<.01	0,9944	0,1643
Ритмическая 1	79	0,0799	p>.20	p>.20	0,9731	0,0935
Ритмическая 2	79	0,0919	p>.20	p<.10	0,9735	0,0995
Ритмическая 3	79	0,0903	p>.20	p<.15	0,9692	0,0530
Ритмическая 4	79	0,1049	p>.20	NN p<.05	0,9721	0,0813
Ритмическая общ.	398	0,0707	p<.05	NN p<.01	0,9889	0,0042

В табл. 6 представляется некоторая аналогия предыдущего примера с *постуральным тремором*, но теперь уже у испытуемого регистрируются параметры с помощью пульсометра (время между ударами пульса) и общий интервал измерения теперь  $\tau=5$  мин (сравните с 5 сек. для тремора), который разбивается на 4 интервала по 1-й минуте (первая минута отбрасывается из-за неустоявшегося режима регистрации пульса), то есть  $\tau_1+\tau_2+\tau_3+\tau_4=4$  мин. Такая пятиминутная длительность общепринята в Европе, но мы сейчас продемонстрируем, что на каждой минуте измерения мы, как и в опытах с *тремором*, будем иметь хаоти-

ческую динамику. Для этого первоначально проверим статистически сопоставимы ли они между собой (эти интервалы  $\tau_i$  измеряемых кардиоинтервалов) и также с общим интервалом в 5 мин. (с его разбиением на 4 отрезка), когда на звуковые анализаторы испытуемого действовали ритмической музыкой (аналогично с опытом по тремору) и при его исходном нахождении в спокойном состоянии.

Подчеркнем, что в рамках ТХС механизмы регуляции *тремора*, *теппинга*, кардиоритмов, миограмм и электроэнцефалограмм имеют общие корни. Эта общность заключена в принципах организации и функционирования любых complexity, любых СТТ. Главный принцип – это непрерывное и хаотическое движение ВСС в пределах некоторого КА – области фазового пространства, внутри которого ВСС хаотически движется. Для таких движений стохастический подход, математическая статистика, неприменимы (как и для *тремора*). Для кардиоинтервалов мы имеем непрерывные переходы от параметрических распределений к непараметрическим и обратно – на коротких интервалах времени  $\tau$ . На этих же интервалах  $\tau$  сами эти функции распределения непрерывно меняются, то есть использовать методы математической статистики для СТТ – невозможно.

Действительно, в табл. 6 представлены результаты расчета двух отрезков измерения кардиоинтервалов (по 5 мин каждый) в спокойном состоянии (до воздействия) и после звукового воздействия (громкая ритмическая музыка, как фактор стресса). Очевидно, что для всех 10 сравниваемых интервалов (все для одного испытуемого) критерий Лиллифорса (граничное значение  $p<0.05$  свидетельствует о ненормальном распределении) значим только в четырех случаях. Отход от нормального распределения, для других измерений (чередующихся с нормальным распределением) у этого испытуемого обеспечивает аналогичную хаотическую динамику, как и у других испытуемых. Более того, для многих других обследуемых (и более 20-ти тысяч измерений кардиоинтервалов (больше 10 минут)) – картина аналогичная: распределения переходят от нор-

мальных к непараметрическим и обратно и это длится непрерывно и хаотически в течение суток и без повторов. Однако, главное даже не эта постоянная хаотическая игра с формой распределения. Главное то, что сами эти распределения постоянно изменяются: изменяются их средние значения  $\langle x \rangle$  и дисперсии  $D^*$ , их моды, медианы, изменяется всё. Такие биосистемы находятся в непрерывной вариации (а не флуктуации!), т.к. они хаотически изменяются.

Таблица 7

### Оценка наличия различий между группами

Группы сравнений	Медиана	25,000%	75,000%
До воздействия 1	800,0000	750,0000	840,0000
До воздействия 2	810,0000	760,0000	860,0000
До воздействия 3	790,0000	760,0000	820,0000
До воздействия 4	780,0000	750,0000	820,0000
Ритмическая 1	770,0000	700,0000	820,0000
Ритмическая 2	790,0000	750,0000	810,0000
Ритмическая 3	770,0000	740,0000	820,0000
Ритмическая 4	790,0000	740,0000	830,0000

Примечание: Ранговый ДА и конкордация Кендалла ДА хи-кв.(N=79, сс=7)=25,60529  
 $p < 0,00059$  Коэфф. конкордации=0,04630  
 Средн. ранг  $g=0,03408$

Таблица 8

### Проверка статистической значимости различий с использованием критерия Вилкоксона

Группы сравнений	Ритмика 1	Ритмика 2	Ритмика 3	Ритмика 4
До 1	0,029142	0,213508	0,109309	0,334257
До 2	N 0,000092	0,005654	N 0,000898	N 0,000103
До 3	N 0,002480	0,138930	0,032560	0,182606
До 4	0,041258	0,527835	0,259575	0,583441

В табл. 7 мы демонстрируем наличие различий между группами для выборок из табл. 6. Для всех 8 интервалов (изъяли общие интервалы)  $p < 0,05$ , т.е. с позиций дисперсионного анализа все эти выборки различны, они принадлежат к разным генеральным совокупностям. Однако, они получены от одного испытуемого за короткий интервал времени  $T=10$  минут! Различия весьма существенны, т.к. для всех 8 выборок  $p < 0,00059$ .

В табл. 8 представлена матрица проверки статистической значимости различий с использованием критерия Вилкоксона (для парного сравнения выборок до воздействия и после воздействия). Очевидно, что для 4-х пар сравнения полученные различия по критерию Вилкоксона статистически значимы, а для остальных 12-ти пар эти различия статистически не существенны. Выполнить достоверное заключение о различиях в кардиоинтервалах до воздействия и после – не представляется возможным из-за постоянных (хаотических) изменений параметров кардиоинтервалов. Выборки кардиоинтервалов ежеминутно изменяются и применять статистические методы для оценки состояния системы регуляции работы сердца не представляется возможным (получается, что все выборки генерируются из разных генеральных совокупностей, хотя обследуемый один и единственный в данном примере из всех 20-ти тысяч обследованных).

Такая полная неопределенность в динамике поведения кардиоинтервалов (как и треморограмм, теппингграмм, миограмм) уже начинается с неопределенности вида функций распределения (между параметрическими и непараметрическими распределениями) и далее с попыткой идентификации различий между группами. В нашем примере (табл. 8) мы получили соотношение 4/12, но есть и противоположные примеры 12/4 и много других примеров. Эти изменения наблюдаются непрерывно у одного (каждого) испытуемого, а значит, любые статистические результаты имеют ежесекундный для тремора (ежеминутный для кардиоинтервалов) характер изменения (хаотического!). В следующие интервалы времени всё будет другим, и достоверную информацию от статистических методов обработки подобных сигналов мы не получим. Все эти данные непрерывно изменяются. Традиционный ДСП для подобных систем оказывается практически неэффективным. И.Р. Пригожин в своём обращении [12] это подчеркивал особым образом, говоря об уникальных системах.

Для выхода из создавшегося положения мы ввели аналог принципа неопределенности Гейзенберга (см. неравенства 1-5)

и постулировали, что ВСС хаотически и непрерывно движется внутри некоторых КА, а статистические функции и их характеристики – непрерывно мерцают. Точнее говоря мерцают параметры ВСС в ФПС и потому мы сейчас определяем объемы КА, координаты их центров для диагностики состояний организма испытуемых и их реакций на внешние воздействия. Если КА начинает двигаться в ФПС, то это будет представлять эволюцию поведения систем регуляции и всего организма в целом. Мы постулируем пять особых свойств (принципов организации) СТТ и тринадцать отличий СТТ (complexity) от традиционных ДСП – систем.

**3. Основные принципы ТХС и отличия систем третьего типа от ДСП – систем.** Для построения нового подхода в изучении особых (уникальных по И.Р. Пригожину [1] и W.Weaver [16]) СТТ недостаточно демонстрации неприменимости методов детерминизма и стохастики. Необходимо описать основные свойства таких СТТ (принципы их организации), выделить их отличия от ДСП-систем и, далее, представить методы и модели для описания таких уникальных СТТ. Поскольку мы уже представляли в ряде публикаций эти принципы [3-7], то сейчас кратко их напомним и представим конкретные примеры из биомеханики, которые продемонстрируют эффективность анализа принципа Гейзенберга в изучении биосистем.

Итак, рассмотрим пять базовых свойств БДС, понимание которых имеет принципиальное значение для разработки новых концепций при их изучении и построении моделей их поведения. Эти свойства существенно отличают БДС от других систем, изучаемых в физике, химии или технике. Перечислим их:

1. БДС – это системы с *компарментной* и *кластерной структурой*, когда отдельная (условно!) единица (компармент) может состоять из одного элемента или целого множества, но при этом важна динамика поведения такого множества (компартамента или кластера – совокупности компарментов). Такой *компарментно-кластерный подход* (ККП) уже заложен в строении воды, которая входит в состав БДС. Такие кластерные БДС являются сложными, иерархи-

ческими системами и их необходимо описывать многокомпонентными векторами  $x = (x_1, \dots, x_m)^T$  в  $m$ -мерном ФПС.

2. Второй особенностью БДС является постоянное изменение структуры и связей, т.е. БДС относятся к кластеру «*glimmering system*», т.е. «мерцающим системам». Причем это «мерцание» относится не только к изменению величин параметров вектора состояния системы – ВСС, но и к размерности ФПС, к значимости  $x_i$  (сейчас эти  $x_i$  – параметры порядка, а чуть позже – уже нет, ими становятся другие). Работать с такими «мерцающими системами» очень сложно, для них нет аналогов в физике или химии, т.к. термин «флуктуация» в этих точных науках имеет уже укоренившееся значение и смысл, и можно только весьма условно его использовать для БДС, т.е. говорить о «биофлуктуациях» БДС. При этом нужно вкладывать в это понятие некоторый другой, биологический смысл (хотя бы в смысле «*glimmer*»), так как у этих систем отсутствуют возможности флуктуировать вблизи средних значений, т.е. распределение в некотором объеме ФПС (мы его будем в дальнейшем называть КА) может быть (и, как правило, бывает) равномерным.

3. Такие сложные, «мерцающие» БДС при этом обладают еще и *эволюцией*. Мы говорим о микроэволюции человека (как пример одной из 3-х БДС в ФПС от рождения до старости и смерти) или об эволюции человечества: переход от традиционалистского типа к технологическому обществу и далее в *знаниевое, синергетическое, постиндустриальное общество* – ЗСПО. Микро- или макроэволюция присущи любой БДС, и в этом заключена еще одна сложность (как прогнозировать динамику и конечное состояние этой эволюции).

4. Все БДС обладают свойством *телеологичности*. Возможно, в это понятие следует вкладывать другой смысл, чем это делал Л. фон Берталанфи, но некоторая конечная цель в динамике развития любой БДС имеется. Например, для человека – это процесс накопления информации для себя и для человечества (если этот человек – ученый) или неизбежность смерти человека, а может быть и всего человечества (!?). Все это еще предсто-

ит изучать, но эти свойства явно обозначаются в динамике любой БДС (в частности, и функциональных систем организма).

5. Самое экстравагантное свойство БДС и тяжело воспринимаемое сторонниками ДСП – это свойство *выхода за пределы трех сигм* (для распределения Гаусса попадание за эти границы имеет вероятность  $P < 0,003$ ). Принципиально, что БДС, вся эволюция живого происходит за пределами 3-х сигм, т.е. имеют место гигантские «биофлуктуации», отклонения от средних значений. Именно такие БДС, в частности, люди (гении) создают новые (тоже экстравагантные, выходящие далеко за интервалы устоявшихся границ) теории и подходы, новые направления в науке. Все биологические процессы, выходящие за пределы 3-х сигм, должны регистрироваться, изучаться, измеряться и для них необходимо строить модели в рамках новой ТХС.

Таблица 9

**Различия в подходах между детерминистской и стохастической парадигмами (дсп) и третьей парадигмой (тп) при описании биосистем**

ДСП в описании движения вектора состояния системы – ВСС	ТП в описании движения вектора состояния системы
1. Изучаются поведения отдельных элементов	1. Изучаются не отдельные элементы, а пулы, компартменты, кластеры (по Г. Хакену)
2. В формальном аппарате (в фазовом пространстве состояний – ФПС) работаем с точками или линиями	2. В ФПС работаем с областями ФПС, внутри которых движется вектор состояния системы (эти области – облака образуют квазиаттракторы)
3. Имеются стационарные режимы (для вектора состояния $x$ имеем $dx/dt=0$ и $x=const$ )	3. Не имеются стационарные режимы ( $dx/dt \neq 0$ и $x \neq const$ ), т.к. система находится в постоянном движении в ФПС (она обладает свойством «glimmering system»)
4. Системы иногда имеют компартментно-кластерную структуру (ККС)	4. Многие системы имеют ККС
5. Некоторые системы телеологичны (имеют прогнозируемое конечное состояние)	5. Многие системы (человекомерные) имеют телеологические свойства (прогнозируемое конечное состояние)

Продолжение таблицы 9

6. Некоторые системы эволюционируют	6. Все человекомерные системы эволюционируют
7. Выход за пределы 3-х сигм – артефакт и не изучается	7. Выход за пределы 3-х сигм – закономерность и активно изучается (влияет на параметры квазиаттракторов)
8. Распределения параметров ВСС неравномерные	8. Обычно распределения параметров ВСС равномерные
9. Хаотические режимы эпизодические и они моделируются ДСП-моделями	9. Система постоянно находится в микрохаосе и этот микрохаос описывается квазиаттрактором, ДСП-моделей нет
10. Единица (элемент) характеризует динамику процесса в рамках системного анализа	10. Единица - ничто и единица - всё (если она параметр порядка) в рамках системного синтеза (главная проблема синергетики и ТХС)
11. Обычно размерность ФПС (модели) не изменяется, мониторинг системы не требуется, т.к. априори есть модели или функции распределения для ВСС	11. Размерность $m$ ФПС изменяется легко, поэтому требуется постоянный мониторинг параметров порядка для ВСС
12. В теории хаоса (подход И.Р. Пригожина и В.И. Арнольда) начальное состояние задано определённно	12. Начальное состояние не определено (известны приблизительно параметры квазиаттрактора)
13. Параметры модельных квазиаттракторов могут быть определены точно	13. Параметры реальных (точнее идеальных) аттракторов никогда не могут быть определены (квазиаттракторы приблизительно представляют реальные аттракторы, как частота события его вероятность), но из-за 5-ти свойств биосистем реальные аттракторы никогда не достижимы

**Заключение:**

1. В живой природе существует огромное количество особых СТТ, которые невозможно описать и прогнозировать в рамках детерминистских и стохастических (вероятностных) подходов. Полная неопределенность динамики СТТ пока еще не признана современной наукой.

2. Для таких СТТ справедлив некоторый аналог принципа Гейзенберга, когда интервалы изменений для каждой фазовой координаты  $\Delta x_i$  укладываются внутри некоторого ограниченного объема фазового пространства состояний  $V_{G_{\max}} \geq \prod_{i=1}^m \Delta x_i$ , где  $\Delta x_i$  – интервалы, внутри которых каж-

дая  $x_i$  хаотически и непрерывно движется.

3. Параметры КА являются индивидуальной характеристикой исследуемой биосистемы и могут быть использованы в биологии, психологии, медицине для изучения статуса биообъекта (организма человека). Они характеризуют норму или патологию, реакцию организма на различные воздействия (в спорте, медицине и т.д.).

4. Биосистемы (организм человека) обладает особыми пятью свойствами и одно из них (*эволюция*) требует мониторинга параметров КА (желательно непрерывно). При признании этих пяти свойств возникают 13 отличий ДСП-систем от СТТ (complexity), что представлено в табл. 9.

### Литература

1. Пригожин И.Р. Философия неустойчивости // Вопросы философии.– 1991.– №6.– С. 47–52.

2. Интервью с Курдюмовым С.П. // Вопросы философии.– 1991.– №6.– С. 53–57.

3. Eskov V.M., Filatova O.E. Computer diagnostics of the compartmentation of dynamic systems // Measurement Techniques.– 1994.– Vol. 37, № 1.– P.114–119.

4. Eskov V.M., Filatova O.E., Kozlov A.P., Papshev V.A. Measurement of variable parameters of biological objects in motion // Measurement Techniques.– 1996.– Vol.39, № 4.– P. 443–447.

5. Eskov V.M., Eskov V.V., Filatova O.E. Characteristic features of measurements and modeling for biosystems in phase spaces of states // Measurement Techniques (Medical and Biological Measurements). 2011.– Vol. 53 (12).– P. 1404–1410.

6. Eskov V.M., Gavrilenco T.V., Kozlova V.V., Filatov M.A. Measurement of the dynamic parameters of microchaos in the behavior of living biosystems // Measurement Techniques.– 2012.– Vol.55, № 9.– P. 1096–1101.

7. Eskov V.M., Eskov V.V., Filatova O.E., Filatov M.A. Two types of systems and three types of paradigms in systems philosophy and system science // Journal of Biomedical Science and Engineering.– 2012.– Vol. 5, №. 10.– P. 602–607.

8. Gell-Mann M. Fundamental Sources

of Unpredictability // Complexity.– 1997.– Vol. 3, №1.– P. 13–19.

9. Haken H. Principles of brain functioning: a synergetic approach to brain activity, behavior and cognition (Springer series in synergetics). Springer.– 1995.– p. 349.

10. Hill A.V. Why biophysics? // Science.– 1956.– Vol. 124, № 3234.– P. 1233–1237.

11. Ivanitskii G.R. 21st century: What is life from the perspective of physics? // Physics – Uspekhi (Advances in physical sciences).– 2010.– V. 53, №4.– P. 327–356.

12. Prigogine I.R. The Die Is Not Cast // Futures. Bulletin of the World Futures Studies Federation. 2000.– Vol. 25, No.4.– P. 17–19.

13. Rashevsky, N. Mathematical Biophysics: Physico-Mathematical Foundations of Biology. Dover, New York, 1960.

14. Smolyaninov V.V. On the origins of some debatable biophysical conceptions (What life is from different points of view) // Biophysics. 2010.– Vol. 55, № 3.– P. 513–523.

15. Taleb N. The black swan: the impact of the highly improbable. New York: Random House, 2007.– P. 401.

16. Weaver. W. Science and complexity // American Scientist.– Vol. 36.– P. 536–544.

### References

1. Prigozhin IR. Filosofiya nestabil'nosti. Voprosy filosofii. 1991;6:47-52. Russian.

2. Interv'yu s Kurdyumovym S.P. Voprosy filosofii. 1991;6:53-7. Russian. Eskov VM, Filatova OE. Computer diagnostics of the compartmentation of dynamic systems. Measurement Techniques. 1994;37(1):114-9.

3. Eskov VM, Filatova OE, Kozlov AP, Papshev VA. Measurement of variable parameters of biological objects in motion. Measurement Techniques. 1996;39(4):443-7.

4. Eskov VM, Eskov VV, Filatova OE. Characteristic features of measurements and modeling for biosystems in phase spaces of states. Measurement Techniques (Medical and Biological Measurements). 2011;53(12):1404-10.

5. Eskov VM, Gavrilenco TV, Kozlova VV, Filatov MA. Measurement of the dynamic parameters of microchaos in the behavior of living biosystems. Measurement Techniques. 2012;55(9):1096-101.

6. Eskov VM, Eskov VV, Filatova OE, Filatov MA. Two types of systems and three types of paradigms in systems philosophy and system science. *Journal of Biomedical Science and Engineering*. 2012;5(10):602-7.

7. Gell-Mann M. *Fundamental Sources of Unpredictability. Complexity*. 1997;3(1):13-9.

8. Haken H. *Principles of brain functioning: a synergetic approach to brain activity, behavior and cognition* (Springer series in synergetics). Springer, 1995.

9. Hill AV. Why biophysics? *Science*. 1956;124(3234):1233-7.

10. Ivanitskii GR. 21st century: What is life from the perspective of physics? *Physics – Uspekhi* (Advances in physical sciences).

2010;53(4):327-56.

11. Prigogine IR. *The Die Is Not Cast. Futures*. Bulletin of the World Futures Studies Federation. 2000;25(4):17-9.

12. Rashevsky N. *Mathematical Biophysics: Physico-Mathematical Foundations of Biology*. Dover, New York; 1960.

13. Smolyaninov VV. On the origins of some debatable biophysical conceptions (What life is from different points of view). *Biophysics*. 2010;55(3):513-23.

14. Taleb N. *The black swan: the impact of the highly improbable*. New York: Random House; 2007.

15. Weaver W. Science and complexity. *American Scientist*;36:536-44.

DOI 10.12737/3398

## МОДЕЛИРОВАНИЕ КОГНИТИВНОЙ И ЭВРИСТИЧЕСКОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ МОЗГА С ПОМОЩЬЮ НЕЙРОЭМУЛЯТОРОВ

В.М. ЕСЬКОВ\*, А.А. ХАДАРЦЕВ\*\*, В.В. ЕСЬКОВ\*, М.А. ФИЛАТОВ\*

\* ГБОУ ВПО «Сургутский государственный университет ХМАО – Югры», пр. Ленина, д.1,  
г. Сургут, Россия, 628412

\*\* Медицинский институт, Тульский государственный университет,  
ул. Болдина, 128, г. Тула, Россия, 300028

**Аннотация.** В рамках использования нейросетевых моделей принятия решений при решении задачи бинарной классификации (задача разделения группы обследуемых, находящихся, например, в двух разных экологических или психических условиях) представлена модель принятия решения по установлению наиболее важных диагностических признаков (параметров порядка). Подобные задачи лежат в основе когнитивной и эвристической деятельности человека, которому необходимо выделять параметры порядка при изучении любого процесса и анализе любых событий. Показано, что при небольшом числе итераций ( $p < 100$ ) в условиях задания начальных весов признаков  $x_{i0}$  на основе равномерного распределения ( $x_{i0}$  из равномерного интервала  $(0, 1)$ ) возможность правильной идентификации параметров порядка (важнейших  $x_i$ ) очень мала. При возрастании  $p$  ( $p > 100$ ,  $p > 1000$ ) точность идентификации параметров порядка нарастает. В рамках этих моделей высказывается гипотеза о связи ревербераций в гиппокампе с эффективностью эвристической деятельности мозга человека.

**Ключевые слова:** параметр порядка, задача бинарной классификации, нейроэмулятор, итерация, нейросеть.