

Неопределенность в квантовой механике и биофизике сложных систем

В. М. Еськов^а, В. В. Еськов, Т. В. Гавриленко, М. И. Зимин^б

Сургутский государственный университет, Институт естественных и технических наук, кафедра биофизики. Россия, 628405, Сургут, пр. Ленина, д. 1.

E-mail: ^аvalery.eskov@gmail.com, ^бzimin7@yandex.ru

Статья поступила 08.04.2014, подписана в печать 28.05.2014.

В соответствии с принципом неопределенности Гейзенберга постулируется некоторая аналогичная динамика (поведение) для сложных биологических систем. Пять специфических свойств и тринадцать отличий этих особых систем третьего типа (complexity) от традиционных детерминистских и стохастических систем определяют необходимость введения принципа неопределенности для таких особых систем. Величина специального граничного объема фазового пространства V_G^{\min} как квазиаттрактора, внутри которого непрерывно и хаотически движется вектор состояния биосистемы, представляет правую часть такого неравенства. Объемы C_G^{\min} и V_G^{\max} реально представляют особые свойства каждой биологической динамической системы как complexity (или системы третьего типа). Конкретные примеры из биомеханики доказывают невозможность использования детерминистского или стохастического подхода для описания complexity и только методы новой теории хаоса — самоорганизации могут быть полезны для описания сложных биосистем. Обсуждаются также возможности практического применения этой теории в различных областях биологии и медицины.

Ключевые слова: системы третьего типа, теория хаоса-самоорганизации, вектор состояния системы, фазовое пространство состояний.

УДК: 613.1, 612.014. PACS: 87.10.–e.

Введение

Теоретическая биофизика с момента своего возникновения постоянно пытается найти аналоги поведения сложных биологических динамических систем (БДС) и объектов неживой природы. Для подтверждения этого достаточно вспомнить фундаментальное выступление А. В. Хилла [1]. Имеются и некоторые итоговые издания (см. напр., [2]), которые еще в 1930-е гг. представляли подобные аналогии между физическими системами и БДС. Существенно, что в этих многочисленных попытках существует очень мало примеров установить аналогии между объектами квантовой механики и БДС. В настоящей работе вводится принцип неопределенности для сложных БДС (complexity), который является некоторым аналогом соотношения Гейзенберга. Однако проблема неопределенности динамики поведения объектов микромира может реально иметь некоторые общие корни с объектами макромира, например со сложными биосистемами (complexity). При этом может быть продемонстрирована возможность некоторого аналога туннельного эффекта для complexity (БДС) на основе использования метода многомерных фазовых пространств.

Известно, что с момента выхода работ Шмальгаузена, Рашевского, Лотки и Вольтерра прошло уже более 70 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 функцией мембран и др.). При переходе к сложным

динамическим системам 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. Гелл-Манн в своем известном обращении по проблеме неопределенности для complexity [3]. Принципиальная непредсказуемость и неповторимость динамики поведения сложных динамических систем обусловлена особыми свойствами сложных БДС, которые мы сейчас определяем как системы третьего типа (СТТ). В современной теоретической биофизике СТТ определяют как complexity, но при этом нет строгого определения этих систем и их свойств.

1. Системы третьего типа в биологии и медицине

Первые попытки ввести некоторые понятия о СТТ были выполнены 65 лет назад У. Уивер в его известной публикации «Science and complexity» [4]. Однако, вводя понятие организованной сложности, Уивер 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 1950-е гг. Хилл, не дали нужных результатов [1] из-за особых свойств СТТ. Многочисленные попытки Г. Хакена [5] и И. Пригожина [6] 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» [6] особым образом выделил системы в природе, которые современная наука не изучает и не описывает. Речь идет об уникальных системах, без их повторения в пространстве и времени. Однако, как мы сейчас

покажем, 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 [7] и В. В. Смолянинов [8]. Однако особое свойство непрерывного мерцания и эволюции каждой complexity остается все-таки за пределами обсуждения с позиций детерминизма и стохастики [9–14].

Во-первых, все СТТ (complexity в трактовке Пригожина-Хакена) не имеют точек покоя в традиционном (детерминистско-стохастический подход, 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 определенном энергетическом уровне в атоме) ограничено определенными рамками, накладываемыми на фазовые координаты. Таким образом, СТТ не имеет стационарных режимов в аспекте ДСП, но их движение в ФПС ограничено.

Во-вторых, в биомеханике такими фазовыми координатами являются 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 все-таки будут иметь определенные 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). Объем квазиаттрактора V_G является важной характеристикой объекта и он используется сейчас нами в биологии, психологии и медицине для диагностики функций организма испытуемого [9–11]. Таким образом, квазиаттракторы — важная характеристика любой СТТ (complexity), динамики их ВСС.

Это особый тип систем, которые находятся в непрерывной хаотической динамике и для которых отсутствует возможность какого-либо прогноза в будущем их конечного состояния $x(t_u)$. Именно это пытался сказать М. Гелл-Манн в своем обращении, но только в отношении физических систем [3]. У этих особых СТТ наряду с особым хаосом имеются и механизмы самоорганизации. Поэтому мы сейчас разрабатываем новые методы описания систем третьего типа (отличных от детерминистских и стохастических систем), которые базируются на новой теории хаоса-самоорганизации (ТХС). Эта теория включает в себя пять принципов организации СТТ: компартментно-кластерное строение, свойство «мерцания» СТТ (когда непрерывно $dx/dt \neq 0$), эволюцию СТТ и их телеологическое движение к некоторому конечному квазиаттрактору, 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 квазиаттрактора характерно только для БДС. Технические или физические системы в этом случае просто прекращают свое существование. Однако в квантовой механике такие эффекты имеют место в ви-

де 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

$$\Delta x_1 * \Delta x_2 \geq V_G^{\min}, \quad (1)$$

где V_G^{\min} — минимальный фазовый объем, 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 неопределенности накладывает ограничения в виде

$$\Delta x_1 * \Delta p \geq h/4\pi, \quad (2)$$

где $p = mv$ — импульс 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

$$\Delta x_1 * \Delta x_2 \geq Z = h/4\pi m. \quad (3)$$

Фактически величина Z имеет тот же смысл, что и V_G^{\min} , так как представляет некоторый минимальный объем фазового пространства вектора $x = (x_1, x_2)^T$, 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, так как правая часть содержит массу m , которая тоже зависит от скорости частицы (она легко изменяется) и, следовательно, Z будет «индивидуальной» величиной. Эта правая часть Z для каждой частицы с конкретной массой будет «индивидуальной» 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 еще и специфику физиологического или психического состояния испытуемого. Фактически V_G^{\min} — 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 еще одно существенное отличие биологических систем от объектов квантовой физики. Из-за самоорганизации динамика поведения СТТ такова, что обычно ВСС движется внутри некоторого особого объема фазового пространства состояний, т. е. в общем случае мы имеем вместо неравенства (1) неравенство (4) в виде

$$V_G^{\max} \geq \Delta x_1 * \Delta x_2 \geq V_G^{\min}. \quad (4)$$

Более того, мы чаще используем левую часть неравенства (4) для многих СТТ в виде

$$V_G^{\max} \geq \Delta x_1 * \Delta x_2, \quad (5)$$

так как механизмы самоорганизации ограничивают движение ВСС в ФПС не только снизу, но и сверху. Проиллюстрировать эти высказывания проще 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 квазиаттракторов — 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 [9–11].

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 невоспроизводим), наличие ограничений на сопряженные 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 объем 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, так как ДСП-методы и модели бессильны в их описании. Покажем на конкретных примерах бесполезность детерминистского и стохастического подходов в отношении систем третьего типа.

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 неравенства вида (1) и (5), оба этих движения не могут числиться произвольными движениями, так как 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 неповторим и невоспроизводим. Это движение хаотическое, но в пределах ограниченных объемов ФПС (квазиаттракторов). Квазиаттрактор можно повторить и он может изучаться в ТХС.

Отметим, что число выполненных нами биомеханических измерений и измерений параметров кардиоинтервалов (КИ) превышает двадцать тысяч измерений. Здесь КИ — это временной отрезок Δt между последовательными сокращениями сердца и переменная величина $x_1(t)$, которая тоже имеет свои 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 $x = x(t) = (x_1, x_2)^T$.

В рамках сравнения эффективности двух подходов методами стохастики и теории хаоса — самоорганизации были выполнены вычисления параметров распределения треморограмм (первоначально с позиций

стохастики). При этом нами были установлены следующие закономерности. Во-первых, основные измерения, выполненные у одного (каждого) испытуемого при разбиении общего отрезка регистраций треморограммы длительностью $\tau = 5$ с (этот интервал τ разбивался на три отрезка τ_i , т. е. $\tau_1 + \tau_2 + \tau_3 = \tau_{\text{total}} = \tau$) на интервалы $\tau_1 = \tau_2 = \tau_3$, показали отсутствие возможности рассматривать эти участки треморограмм как нормальное распределение. В редких случаях на всех трех участках τ_i можно было использовать нормальное распределение. Однако при этом параметры этих распределений Гаусса не удовлетворяли условию отнесения этих выборок к одной (общей) генеральной совокупности. Во-вторых, каждый участок τ_i представлял свою (особую) функцию распределения для конкретного испытуемого на каждом отрезке τ_i общего интервала в 1 с. Более того, при других измерениях у этого же испытуемого (в следующие 5 с) результат был аналогичным, т. е. распределение постоянно изменяется (параметрическое — непараметрическое), функции распределения также изменяются и отличаются на каждом измеренном интервале τ .

Чаще всего средние значения \bar{x} еще могли удовлетворять критерию отнесения всех $\langle x_i \rangle$ для отрезков τ_i к одной общей генеральной совокупности (не более 20% 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 с регистрации в разные моменты времени (в течение рабочего дня), то возможность совпадения $\langle x \rangle$ и статистических дисперсий D^* вообще становится нулевой. Иными словами, если испытуемый на интервале регистрации $\tau = 5$ с еще какое-то подобие (по средним или дисперсиям) может продемонстрировать (иногда!), то в разные моменты времени (для разных интервалов 5 с) такое практически воспроизвести невозможно. Любой интервал регистрации $\tau = 5$ с будет уникальным и неповторимым, даже если испытуемый будет находиться в спокойном (физиологически и психологически устойчивом) состоянии.

Различия между участками треморограмм в аспекте нормального распределения или непараметрического распределения (между короткими отрезками измерений одной треморограммы в 5 с) столь существенны, что любые попытки использования традиционного стохастического подхода разбиваются о реалии хаоса. При этом следует отметить одну особенность, которая составляет все-таки закономерность (ее можно использовать на практике): при различных внешних воздействиях (например, испытуемому предлагалось послушать классическую музыку, шум или ритмическую музыку) в системе регуляции тремора происходила некоторая нормализация распределения (в буквальном смысле). Например, матрица попарного расчета дисперсий по критерию Фишера для случая ритмической музыки, от исходной первой матрицы (счет 4/2, т. е. для четырех пар дисперсии не совпадают, а для двух могут совпадать) переходила ко второй матрице (счет 0/6, т. е. все пары удовлетворяли условию нулевой гипотезы: дисперсии могут совпадать по критерию Фишера) при действии этой музыки. Однако для различных испыту-

емых эти соотношения могут быть разными, равно как и для одного испытуемого при повторении испытаний.

Например, результаты расчета треморограмм (время регистрации тремора $T = 5$ с. было разбито на три интервала) у испытуемого Х.А.С., в спокойном состоянии (до воздействия), когда все три интервала не удовлетворяли условию распределения Гаусса (критерий Лиллиефорса $p < 0.05$) и только один отрезок треморограммы (2-й) удовлетворял нормальному распределению. Однако при воздействии ритмичной музыкой уже все четыре отрезка треморограммы не удовлетворяли условию нормального распределения. Эти различия очевидны для двух характерных треморограмм до воздействия и при действии ритмической музыки (здесь критический порог $p < 0.05$).

Результаты расчета критерия Вилкоксона для пар сравнения трех 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) представлены в табл. 1. 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 , т. е. различия не существенны) в основном существенны с учетом поправки Бонферрони.

Таблица 1

Проверка статистической значимости различий выборки из треморограмм (по $T = 5$ с измерения) с разбиением на три участка по $T/3$ испытуемого Х.А.С. до воздействия (столбец) и после воздействия (строка) с использованием критерия Вилкоксона

	Ритмич. 1	Ритмич. 2	Ритмич. 3
До возд. 1	N 0.0000	0.2061	N 0.0000
До возд. 2	N 0.0000	0.4443	N 0.0000
До возд. 3	N 0.0000	N 0.0000	N 0.0000

Аналогичные результаты мы получаем и при анализе кардиоинтервалов, миограмм, электроэнцефалограмм. Нельзя выделить закон распределения! Для иллюстрации представим второй характерный пример из области регистрации кардиоритмики, когда $x_1 = x(t)$ — функция кардиоинтервалов, а $x_2 = dx_1/dt$ — скорость изменения $x_1(t)$ и мы образуем фазовую плоскость вектора $x = (x_1, x_2)^T$.

Мы можем представить некоторую аналогию предыдущего примера с постуральным тремором, но теперь уже у испытуемого Х.А.С. регистрируются параметры с помощью пульсоксиметра (время между ударами пульса) и общий интервал измерения теперь $\tau = 5$ мин (сравните с 5 с для тремора), который разбивается на четыре интервала по 1 мин (первая минута отбрасывается из-за неустоявшегося режима регистрации пульса), т. е. $\tau_1 + \tau_2 + \tau_3 + \tau_4 = 4$ 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 хаотическую динамику. Для этого первоначально проверялась

статистическая сопоставимость между собой этих интервалов τ_i и также с общим интервалом в 5 мин (с его разбиением на четыре отрезка), когда на испытуемого действовали ритмической музыкой (аналогично с опытом по тремору) и при его нахождении в спокойном состоянии [9–11].

Действительно, 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) показали, что для всех десяти сравниваемых интервалов (один испытуемый) критерий Лиллиефорса (граничное значение $p < 0.05$ свидетельствует о ненормальном распределении), в четырех случаях демонстрирует отход от нормального распределения, для других же измерений у этого испытуемого динамика аналогичная — хаотическая. Более того, для многих других обследуемых (всего более 20 тыс. измерений кардиоинтервалов) картина приблизительно аналогичная: распределения переходят от нормальных к непараметрическим и обратно и это длится непрерывно и хаотически. 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 статистические дисперсии D^* , их моды, медианы, изменяется все. Такие биосистемы находятся в непрерывной вариации (а не флуктуации!), так как они хаотически изменяются.

Характерный пример из всех 20 тыс. измерений представлен в табл. 2. Имеем полную неопределенность в динамике поведения кардиоинтервалов (как и треморограмм, теппинграмм, миограмм), которая уже начинается с неопределенности вида функций распределения (игра идет между параметрическими и непараметрическими распределениями) и далее с попыткой идентификации различий между группами. В нашем примере мы получили (для четырех пар сравнения $p < 0.05$) соотношение 4/12, но есть и противоположные примеры (12/4), и много других примеров. Эти

Таблица 2

Характерный пример проверки статистической значимости различий в кардиоинтервалах (отрезки по 1 мин каждый) испытуемого Х.А.С. с использованием критерия Вилкоксона до и после воздействия ритмичной музыки на испытуемого

	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	N 0.259575	0.583441

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 все будет другим, и достоверную информацию от статистических методов обработки подобных сигналов мы не получим. Все эти данные непрерывно изменяются. Традицион-

ная ДСП — наука для подобных систем оказывается практически неэффективной. И. Пригожин в своем обращении [6] подчеркивал это особым образом, говоря об уникальных системах. Для выхода из создавшегося положения мы ввели для биосистем аналог принципа неопределенности Гейзенберга и постулировали, что ВСС хаотически и непрерывно движется внутри некоторых квазиаттракторов, а статистические функции (и их характеристики) непрерывно мерцают [3–8, 10–14].

Расчет объемов квазиаттракторов мы производим исходя из его определения: квазиаттрактор — ненулевое подмножество Q фазового n -мерного пространства D ($l = \overline{1, m}$) динамической биологической системы, являющееся объединением всех значений $f_l(t)$ состояния биологической динамической системы на конечном отрезке времени $[t_j, \dots, t_e]$ ($j \ll e$, где t_j — начальный момент времени, а t_e — конечный момент времени состояний БДС):

$$Q = \bigcup_{l=1}^m \bigcup_{i=j}^e f^l(t_i), \quad Q \neq 0, \quad Q \in D, \quad (6)$$

где m — количество пространственных измерений.

В качестве основной меры квазиаттрактора используется объем V_G области Q m -мерного пространства, внутри которого заключены все значения $f^l(t_i)$ состояния биологической динамической системы в промежутке времени $[t_j, \dots, t_e]$:

$$V_G = \text{mes}(Q) = \prod_{l=1}^m (\max(f^l(t_j), \dots, f^l(t_e)) - \min(f^l(t_j), \dots, f^l(t_e))). \quad (7)$$

Оказалось, что V_G может характеризовать норму и патологию, экологический стресс и состояние психических функций человека. Более того, там, где статистика не показывает различий, параметры квазиаттракторов демонстрируют существенные отличия и служат мерой эффективности лечебных мероприятий или степени физической (психической) нагрузки.

Заключение

1. В живой природе существует огромное количество особых систем третьего типа, которые невозможно описать и прогнозировать в рамках детерминистских или стохастических (вероятностных) подходов.

2. Для таких систем третьего типа справедлив некоторый аналог принципа Гейзенберга, когда интервалы изменений (вариационный размах) для каждой фазовой координаты Δx_e укладываются внутрь некоторого ограниченного объема фазового пространства состояний $V_G^{\max} \geq \prod_{e=1}^m \Delta x_e$, где Δx_e — интервалы, внутри которых каждая x_i хаотически и непрерывно движется.

3. Параметры квазиаттракторов 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) обладают особыми пятью свойствами и одно из них (эволюция организма) требует мониторинга параметров квазиаттракторов (желательно непрерывно).

Список литературы

1. Hill A.V. Why biophysics? // Science. 1956. **124**, 3234. P. 1233.
2. Rashevsky N. // Dover. 1960. **1**, 2. P. 56.
3. Gell-Mann M. // Complexity. 1997. **3**, N 1. P. 9; **3**. P. 1.
4. Weaver W. // Amer. Scientist. 1948. **36**. P. 536.
5. Haken H. Principles of Brain Functioning: A Synergetic Approach to Brain Activity, Behavior and Cognition. Springer, 1995.
6. Prigogine I.R. // Futures. Bull. of the World Futures Studies Federation. 2000. **25**, N 4. P. 17.
7. Ivanitskii G.R. // Physics — Uspekhi (Advances in Physical Sciences). 2010. **53**, N 4. P. 327.
8. Smolyaninov V.V. // Biophysics. 2010. **55**, N 3. P. 513.
9. Еськов В.М., Еськов В.В., Филатова О.Е. и др. // Вестн. новых мед. технологий. 2011. **18**, № 3. С. 331.
10. Еськов В.М., Карпин В.А., Еськов В.В. и др. // Систем. анализ и управление в биомед. системах. 2013. **12**, № 3. С. 622.
11. Eskov V.M., Gavrilenko T.V., Kozlova V.V. et al. // Measurement techniques. 2012. **55**, N 9. P. 1096.
12. Eskov V.M., Khadartsev A.A., Eskov V.V. et al. // J. Analyt. Sci. Methods and Instrum. 2013. **6**, N 3. P. 67.
13. Eskov V.M., Khadartsev A.A., Eskov V.V. et al. // J. Biomed. Sci. and Engineering. 2013. **6**, N 6. P. 847.
14. Eskov V.M., Eskov V.V., Filatova O.E. et al. // J. Biomed. Sci. and Engineering. 2012. **5**, N 10. P. 602.

Uncertainty in the quantum mechanics and biophysics of complex systems

V. M. Eskov^a, V. V. Eskov, T. V. Gavrilenko, M. I. Zimin^b

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

E-mail: ^avalery.eskov@gmail.com, ^bzimin7@yandex.ru.

In accordance with the Heisenberg uncertainty principle, a similar dynamics (behavior) for complex biosystems is postulated. Five peculiar properties and thirteen differences of these specific three-type systems (complexity) from traditional deterministic and stochastic systems determine the need for introducing the uncertainty principle for these specific systems. The value of the special boundary volume of the phase space, V_G^{\min} (which is considered as quasiattractor), inside of which the state vector of a biosystem moves chaotically and permanently, is the right side of this inequality. The volumes V_G^{\min} and V_G^{\max} really represent the peculiar properties of each dynamic biosystem

(or each three-type system) as complexity. Particular examples from biomechanics prove the impossibility of using the deterministic or stochastic approach for the description of complexity, and only methods of the new theory of chaos (self-organization) can be useful for the description of complex biosystems. The possibilities of the practical application of this theory in various fields of biology and medicine are also discussed.

Keywords: three-type systems, theory of chaos–self-organization, state vector of system, phase space of states.

PACS: 87.10.–e, 87.18.–h, 87.18.Vf.

Received 8 April 2014.

English version: *Moscow University Physics Bulletin* 5(2014).

Сведения об авторах

1. Еськов Валерий Матвеевич — доктор физ.-мат. наук, профессор, зав. лабораторией; тел.: (3462) 763088, e-mail: valery.eskov@gmail.com.
2. Еськов Валерий Валерьевич — канд. мед. наук, доцент, доцент; тел.: (3462) 763079, e-mail: z.asconcrete@gmail.com.
3. Гавриленко Тарас Владимирович — канд. тех. наук, доцент, ст. науч. сотрудник; тел.: (3462) 763090, e-mail: taras.gavrilenko@gmail.com.
4. Зимин Михаил Иванович — канд. тех. наук, доцент, ст. науч. сотрудник; тел.: (3462) 763090, e-mail: zimin7@yandex.ru.