

III. МАТЕМАТИКА В ОПИСАНИИ ХАОСА И СИНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМ

МОДЕЛИ ХАОСА В ФИЗИКЕ И ТЕОРИИ ХАОСА-САМООРГАНИЗАЦИИ

Еськов В.В., Вохмина Ю.В., Гавриленко Т.В., Зимин М.И.

ГБОУ ВПО «Сургутский государственный университет ХМАО – Югры»

Было представлено и продемонстрировано: реальные биосистемы (сложные системы) находятся в непрерывном хаотическом движении и эти процессы не могут быть описаны в рамках классической теории хаоса (физической интерпретации). Новая теория хаоса-самоорганизации представляет два типа хаоса, а квазиаттракторы могут представлять описание такого (реального) хаоса биосистем. Некоторые аналоги с квантовой физикой представлены дополнительно.

Ключевые слова: квазиаттрактор, теория хаоса-самоорганизации.

Введение

Десятилетия и даже столетия биологи, медики, биофизики, физики и кибернетики описывали многие изменяющиеся во времени биологические процессы как некоторые периодические процессы или пытались их «подтянуть» к некоторым квазипериодическим процессам, которые довольно часто наблюдаются в физике, химии, технике и для которых разработан сравнительно качественный математический аппарат. Многочисленные попытки переноса, адаптации физических моделей и теорий на кажущиеся периодическими биопроцессы в конечном итоге не увенчались успехом. Биосистемы и их динамику не удавалось описывать традиционными дифференциальными, разностными, интегро-дифференциальными (и многими другими) уравнениями даже если в их структуру вводили флуктуирующие (хаотические) слагаемые (с небольшими амплитудами). Подобные возмущения не делали равномерным неравномерные распределения а детерминизм или стохастика не могут описывать хаотические процессы в

виде биосистем, т.к. сложные биосистемы находятся в непрерывном хаотическом движении (второй постулат теории хаоса-самоорганизации – ТХС).

Если строго говорить, то модели в рамках традиционного детерминистско-стохастического подхода (ДСП) можно применять для описания динамики поведения сложных биологических динамических систем (БДС), но только ретроспективно. Делать же на основе ДСП-моделей прогноз для БДС – дело лишённое каких-либо перспектив. Такую ситуацию мы сейчас объясняем (в рамках ТХС) непрерывной хаотической динамикой поведения любого вектора состояния системы (ВСС) $x=x(t)=(x_1, \dots, x_n)^T$ в фазовом пространстве состояний (ФПС). При этом такой хаос существенно отличен от хаоса в ДСП. Этот хаос характерен для особых систем третьего типа (СТТ), существующих в живой природе. Это хаос живых систем.

1. Особенности хаоса у СТТ. Хаос в физических, химических или технических системах существенно отличается от хаоса в биосистемах и

это отличие настолько принципиальное, насколько задача о динамике трех тел А. Пуанкаре отличается от хаотической динамики работы примитивной, искусственной трехнейронной сети (в виде нейроэмулятора). В чем отличие динамики хаоса физической системы от хаоса в нейросетях мозга (и во всех других эффекторных системах организма) мы представим ниже, хотя об этом уже написано нами много статей и книг [1-10], но сейчас мы постараемся всю эту информацию сжать до размера точки (или квазиаттрактора, как мы это сейчас представляем в ТХС). Если кратко, то это отличие уже отметил (правда весьма условно, приближенно) W. Weaver в своем известном сообщении «Science and complexity» [15]. Но он только обозначил канву и не вскрыл механизмы и следствия такой особой динамики поведения любых СТТ с самоорганизацией, например, нейросетей, находящихся в режиме непрерывного хаоса, как это мы сейчас имеем для СТТ в разрабатываемом нами ТХС.

Итак, в физике, химии, технике действуют определенные силы, которые описываются строгими законами. В рамках этих сил возможны флуктуации, но они дают неравномерные распределения измеряемых величин, параметров вектора состояния системы (ВСС) $x=x(t)$ или равномерные, но с конечным числом финальных состояний исследуемой системы. Если же мы получим в опыте равномерное распределение и, одновременно, бесконечное число финальных состояний (исходов событий,

процессов), то в этом случае мы говорим о хаосе. Именно это характерно для СТТ в ТХС, но при этом мы имеем хаотический режим ВСС и в начальном состоянии СТТ, т.е. непрерывный хаос с бесконечным набором начальных, промежуточных и финальных состояний. Такие процессы в физике называются уникальными и не изучаются в науке вообще (об этом говорил И.Р. Пригожин [14]).

Неопределенность конечного состояния в физических, химических или технических системах в режиме хаоса существенно отличается от биосистем тем, что (как говорил W. Weaver, П.К. Анохин а позже и Н. Haken с И. Пригожиным) в биосистемах имеются механизмы самоорганизации. Существенно, что эти особые механизмы не могут вывести биосистемы из хаоса, но они могут ограничить размеры областей фазовых пространств, внутри которых этот хаос можно наблюдать. Самоорганизация ограничивает хаос биосистем рамками квазиаттракторов, внутри которых обычно мы имеем равномерное распределение параметров x_i , описывающих динамику и состояние биосистемы со многими степенями свободы (фактически их бесконечное множество). Отсюда вывод: СТТ не имеют точек покоя, т.е. их ВСС всегда $dx/dt \neq 0$, но ВСС хаотически движется внутри квазиаттрактора, т.е. некоторые границы состояний СТТ имеются!

Однако, неопределенность конечного состояния (в виде бесконечного числа финальных состояний и их равномерные распределения) все-таки не является главным определителем хаоса БДС.

Для БДС-complexity или СТТ характерно отсутствие какого-либо повторения начального условия $x(t_0)$, где $x=x(t)=(x_1, x_2, \dots, x_m)^T$ – это вектор состояния системы (ВСС) в ФПС. Иными словами для СТТ хаос является не только конечным состоянием системы, но и ее начальным состоянием, т.к. $x(t_0)$ неповторим, невозпроизводим и для таких систем нельзя создавать какие-либо модели в рамках ДСП. При этом существенным (и вторым по значимости) отличием СТТ от ДСП-систем является то, что за счет самоорганизации такие особые БДС всегда находятся в пределах квазиаттрактора. Любая форма жизни – это хаос ВСС в ФПС, но в пределах ограниченного квазиаттрактора [7-10, 13].

Для иллюстрации сказанного легко привести конкретный пример для организма человека по одной координате. Температура тела каждого человека в норме все-таки колеблется в пределах 36,6 °С. Если человек заболевает, то центр его квазиаттрактора смещается в область более высоких значений, а размер квазиаттрактора увеличивается. Смещение центра квазиаттрактора и изменение его размеров характерно для СТТ. При этом хаотическая динамика СТТ сохраняется, но принимает другие числовые характеристики. Все это обусловлено наличием в СТТ многочисленных механизмов (подсистем), которые обеспечивают внутреннюю самоорганизацию БДС-complexity. При этом хаос таких СТТ будет в норме отличаться от хаоса в ДСП.

Самоорганизация в биосистемах имеет многозначность, она реализуется

в природе многими элементами, контурами, многими эфферентами и афферентами для биосистем. Последние дают сигналы о состоянии параметров вектора состояния системы (т.е. ВСС) $x=x(t)=(x_1, x_2, \dots, x_m)^T$ в подсистемах, которые осуществляют принятие решения и контроль за их выполнением. При этом все эти элементы, подсистемы находятся в непрерывном хаотическом режиме, но в пределах некоторых границ. Такие границы формируют изучаемые нами сейчас квазиаттракторы, т.е. области фазовых пространств состояний (ФПС), внутри которых хаотически движутся все ВСС. Это справедливо для всех биологических динамических систем, описываемых ВСС в ФПС, которые находятся в непрерывном хаосе.

В целом, в биомедицинских системах нет глобальных сил и нет глобальных законов, а борьба с постоянным хаосом происходит на всех уровнях, во всех подсистемах. Рассосредоточенность параметров, подсистем управления, множественность афферентных и эфферентных систем, их произвольное включение в работу и выключение, усиление их активности или ослабление, все это происходит без детерминистских и даже стохастических законов, т.е. хаотически, но в пределах некоторых границ. Для нас эти границы – размеры квазиаттракторов а для организма – это гомеостатическое состояние. Последнее – хаотическое по сути (из-за распределения параметров и подсистем), но самоорганизационное по механизмам.

В целом, сложность биосистем третьего типа (complexity) заключена в

отсутствии строгих и доминантных законов (например, закона всемирного тяготения в задаче о трех телах А. Пуанкаре) и в хаотическом распределении параметров, в хаосе активности любых элементов БДС. Там нет физических осцилляторов, а есть квазиаттракторы, внутри которых параметры ВСС якобы осциллируют, варьируют (хаотически!). Однако, эти вариации, которые организовываются и представляются физико-химическими осцилляторами, имеют другую природу (самоорганизационную), они построены на хаосе и самоорганизации СТТ на всех уровнях это и лежит в основе ТХС [7-10].

Этот хаос БДС организован тоже хаотически, но в рамках самоорганизации (по W. Weaver) и эта организация (самоорганизация) обеспечивает и существование биосистем в пределах квазиаттракторов, и эволюцию этих квазиаттракторов (самих биосистем с их механизмами самоорганизации), и достижения такими биосистемами (системами третьего типа – СТТ) некоторых финальных состояний (и тоже в пределах квазиаттракторов). Именно для СТТ мы разграничиваем хаос на микроуровне (в пределах квазиаттракторов) и на макроуровнях (в виде телеологической эволюции ВСС в ФПС к финальному квазиаттрактору) [7-10].

Подводя итог, можно уверенно сказать, что в первом приближении все системы гомеостаза (лучше говорить, участвующие в гомеостазе) находятся в непрерывном, хаотическом движении, у них нет детерминированных (строго) сил и законов, ограничивающих их динамику развития, они имеют крайне

рассосредоточенные параметры, и особые механизмы самоорганизации. Все это обеспечивает движение их ВСС в пределах некоторых квазиаттракторов (микрохаос) и одновременно они эволюционируют к своим финальным квазиаттракторам и это движение происходит хаотически (но в пределах квазиаттракторов, при этом мы говорим о макрохаосе) В любой клетке, в любой функциональной системе организма (ФСО) человека и во всем организме мы имеем хаос на уровне макросистемы (он подобен хаосу Вселенной): вроде и законы имеются и какой-то порядок даже, но все хаотически развивается и прогнозировать конечное состояние любой подсистемы и системы трудно, если и не возможно. Однако, ТХС представляет такую возможность в рамках измерения параметров квазиаттракторов [7-10, 13].

2. Формализация отличий (и внутреннего сходства) СТТ от ДСП-систем.

Из всего того, что было представлено выше можно сделать ряд фундаментальных выводов и определений: в природе существуют особые системы (т.е. СТТ), которые обладают особыми свойствами (их всего сейчас мы выделяем пять основных); они (СТТ) имеют существенные отличия от традиционных систем, изучаемых в физике, химии, технике; они требуют особых теорий для своего описания и прогнозирования. Очевидно, что все отличия СТТ от ДСП-систем образуют и их (СТТ) особые внутренние свойства. Поскольку пяти особым свойствам СТТ и 13-ти их отличиям от ДСП-систем было посвящено огромное

количество наших публикаций, то целесообразно более подробно остановиться на формализации этих отличий (и внутренних сходствах) и попытаться выделить главные факторы и признаки, обеспечивающие формализацию в описании СТТ [7-10]. На основании этих отличий школой профессора Еськова В.М. разработаны новые методы ТХС и новый подход в медицине в целом, который позволяет объективно для всей современной ДСП-медицины перейти к индивидуализации, к персонифицированной медицине. Такая индивидуальная медицина – реальная медицина будущего.

Следует отметить, что на сегодняшний день таких главных факторов (или направлений развития новой теории хаоса-самоорганизации) авторы выделяют три. Во-первых, особое понимание стационарных режимов БДС-complexity, т.е. СТТ. Во-вторых, особое понимание параметров порядка (ПП) и методов их (т.е. ПП) идентификации. Отметим при этом, что в ДСП вообще пока такой формализации нет. В-третьих, особое понимание хаоса с позиций ТХС, на основе понимания особых СТТ, их особых свойств. Как производное этих трёх базовых проблем – особые модели и особые задачи прогнозирования динамики поведения СТТ.

В целом, разрабатываемые школой профессора Еськова В.М. сейчас следующие три подхода в диагностике СТТ посвящены детализации и развитию по сути этих трех основных проблем или направлений (стационарные режимы, параметры порядка, обоснование типов хаоса и их описание и моделирование) как в

рамках ДСП-науки, так и нового направления – ТХС. Эти три направления имеют крайне важное значение не только для понимания третьей парадигмы, ТХС, но и для осознания того, что нами уже сделано нового в науке, и что еще необходимо сделать для детального развития всего естествознания и даже для развития человечества, если оно воспримет третью парадигму [7]. Однако, в первую очередь это касается медицины, т.к. наша ТХС соединяет восточную медицину (Тибет, Китай) и медицину Европы. Это соединение (лучше сказать создание синергических взаимоотношений) будет происходить только в рамках ТХС, т.к. для ДСП это все невозможные процессы, понятия, объекты. Формализация же в описании СТТ базируется на квазиаттракторах, на ТХС.

Подчеркнем, что эти три направления В.М. Еськовым начали разрабатываться еще 40 лет назад в связи с созданием теории нейросетей мозга, изучением работы дыхательного центра мозга млекопитающих и выходом на создание компартментно-кластерной теории биосистем (ККТБ). Уже в рамках ККТБ мы особым образом начали изучать стационарные режимы нейросетей мозга (была создана новая теория устойчивости БДС, отличная от теории Ляпунова-Пуанкаре), особые свойства и методы идентификации степени синергизма в БДС и особые свойства хаоса в биосистемах, которые существенно отличаются от хаоса в ДСП. Оригинальность последнего в рамках ТХС заключается в том, что микрохаос БДС в пределах квазиаттракторов как раз и представляет реальные

стационарные режимы БДС (хаос в пределах квазиаттрактора – это стационарный режим в динамике особых БДС, т.е. СТТ). Иными словами, если в ДСП стационарный режим реализуется при условии $dx/dt=0$, то в ТХС, наоборот, стационарный режим реализуется, если $dx/dt \neq 0$ и $x_i \neq const$, но при этом параметры квазиаттракторов приблизительно не изменяются. При стационарном режиме СТТ в ТХС вектор состояния системы (ВСС) $x=x(t)=(x_1, x_2, \dots, x_m)^T$ не может принимать постоянные значения, т.е. $x_i \neq const$ и ДСП не может описывать СТТ в принципе! Особый хаос в ТХС и представляет стационарные режимы СТТ. Наоборот, в ТХС, если $dx/dt=0$, то это означает или патологию или смерть биосистемы.

Фактически, мы замкнули хаос БДС с понятием стационарного режима биосистем в широком смысле и создали теорию изучения стационарных состояний реальных (природных) БДС, т.е. СТТ на основе изучения их хаотических режимов. Эти биосистемы обладают пятью особыми свойствами (они определены в ТХС), они имеют другие динамические режимы поведения их ВСС в ФПС, для их описания используются другие модели и понятия а их прогнозирование требует создания внешних управляющих воздействий (ВУВов), которые в ДСП в общем случае не используются. Необходимость задания ВУВов определяет сходство ТХС и третьей парадигмы с понятием постнеклассики, которое ввел В.С. Степин. Однако, постнеклассика остановилась в своем развитии как направление философии, у неё нет

формального аппарата, моделей в реальном мире, т.к. она должна была описывать СТТ, но понимания особенности СТТ нет. Попытки же определять СТТ как системы с постоянно меняющейся вероятностью противоречат и самой ДСП, и ничего не дают для развития науки complexity, да и всей науки в целом.

Все накопленные противоречия и ограничения сейчас остаются в прошлом, если перейти к ТХС в описании СТТ. При этом ККТБ остается посредником между ДСП и ТХС, третьей парадигмой. Это посредничество проявляется во всех указанных выше трех проблемах (стационарности, параметрах порядка и типах хаоса в природе). Но мы вынуждены кратко изложить суть наших методов для понимания существенных отличий ДСП-медицины (т.е. медицины Европы) от медицины Китая и др. традиционных медицин. В этих (последних) медицинах имеются два постулата: каждый человек уникален (и к нему нужен особый подход а не среднестатистические измерения) и второе, в динамике поведения его ВСС в ФПС не бывает случайностей, любое (даже очень редкое, якобы случайное) отклонение имеет причину и следствие, оно может в будущем привести к серьезной патологии и даже к смерти. Возможно, что синдром внезапной смерти имеет предвестников, но они столь редки, случайны, что мы их не можем зарегистрировать при нашей дискретной европейской медицине. Они (эти редкие и сильные отклонения) могут попасть случайно в поле наших измерений (и тогда резко изменится квазиаттрактор) или не попасть (и

тогда мы демонстрируем якобы стационарное состояние биосистемы). Однако, в рамках ТХС стационарность заключается не в $dx/dt=0$, а в приблизительно одинаковых параметрах квазиаттракторов. Но именно эти параметры сейчас медицина Европы и не измеряет. Она остается в рамках ДСП и, конкретно, базируется на стохастическом подходе.

На сегодняшний день в традиционном детерминистско-стохастическом подходе (науке) отсутствуют эффективные модели, которые бы описывали хаотическую динамику поведения биомеханической системы (постуральный тремор) в различных режимах якобы произвольного управления и многих других динамических систем с хаотической динамикой их поведения (уникальных СТТ). Иными словами, детерминистско-стохастические модели не могут представлять разнообразие регуляторных влияний мозга (нейросетей мозга) на динамику поведения, например, постурального тремора. Отсутствие таких возможностей легко объяснить тем, что при этом описании и моделировании необходимо моделировать сам хаос и не в рамках экспонент Ляпунова, с их расходящимися фазовыми траекториями, и не на основе анализа автокорреляционных функций, а с учетом того, что эти траектории могут сходиться, расходиться и даже пересекаться в ФПС в пределах квазиаттракторов. Хаос СТТ отличен от хаоса в физике, химии, технике! Его нельзя моделировать уравнениями, он не описывается свертками и преобразованиями. Это другой хаос других систем (СТТ). Его можно

описывать только параметрами квазиаттракторов и это следует из 2-го постулата В.М. Еськова и 5-ти свойств СТТ в целом.

Поскольку мы стоим на позициях биофизики, то можно представить физические аналоги таких систем. Хаос в динамике поведения фазовых траекторий реального тремора ограничивается только размерами квазиаттрактора, внутри которого движется ВСС. Эта ситуация подобна термодинамическому хаосу, когда молекулы могут сталкиваться, их траектории в пространстве могут пересекаться, но они не могут покинуть размеры сосуда, в котором они движутся. Хаос в термодинамике ограничен физическими границами (стенки сосуда). Хаос при треморе, хаос кардиоритмов, биопотенциалы мозга, хаос биохимических параметров крови и гомеостаза в целом ограничен параметрами их квазиаттракторов. Эти квазиаттракторы образуются за счет механизмов внутренней самоорганизации и поэтому 20 лет назад новый подход был назван В.М. Еськовым «Теория хаоса-самоорганизации», который принципиально отличен от ДСП и даже от синергетики и теории complexity (эти науки остались в ДСП, где есть хаос и порядок, а не непрерывный хаос в нашей ТХС).

Стенки сосуда в физике и внутренние механизмы самоорганизации биосистем, будут теми причинами, которые накладывают ограничения на динамику движения молекул (в сосуде) и вектора состояний биосистемы (ВСБ) $x=x(t)$ внутри квазиаттрактора. Но между физикой и биосистемами лежит огромная

пропасть. В физике многие процессы имеют неравномерное распределение. Например, распределение молекул газа по скоростям (распределение Максвелла – the distribution of Maxwell's). Для биосистем мы обычно имеем равномерное распределение, т.е. наблюдаем нестационарный процесс (однако, в пределах квазиаттракторов!), когда ВСС $x=x(t)$ всегда имеет значения $dx/dt \neq 0$, $x_i \neq const$ и нет начального и конечного состояния. В живых системах финальное состояние, смерть организма наблюдается только тогда, когда $dx/dt=0$, $x_i=const$. Но неживые системы – это уже объект термодинамики, т.е. физики в целом, а живые системы – объект ТХС.

3. Физические, химические и технические системы отличны от СТТ?

Сразу отметим, что попытки выделить и описать системы третьего типа [11, 12, 14, 15] производились давно. Если не считать ученых древней Греции (все течет, все изменяется) и Китая (Конфуций и даосизм), то все разработчики общей теории систем (А.Богданов, Т. Котарбинский, Л. фон Бергаланфи, Н. Винер и др.) многократно пытались формализовать описание СТТ, т.к. без этих систем нет живой природы, нет социумов, общества, нет теории сложных систем. Наиболее кратко и футурологически верно всю эту ситуацию описал Warren Weaver в своей выдающейся по качеству прогноза статье «Science and Complexity» [15]. Однако, за прошедшие 65 лет с момента ее опубликования ничего в науке существенного не произошло (в плане глобализации и всеобщего признания). Все современные достижения остаются

в рамках ДСП, а решение трех базовых (признание СТТ, создания их моделей и возможности прогноза, практическое внедрение ТХС и других технологий на базе СТТ), остается без внимания.

Ответы на эти вопросы мы увидим в ближайшем будущем, а сейчас рассмотрим в чем принципиальное отличие СТТ от ДСП-систем. При этом не будем детально останавливаться на особых свойствах СТТ и их 13-ти отличий от ДСП-объектов, т.к. все это было уже изложено в предыдущих работах автора и его коллег [7-10, 13], а выделим принципиальный момент, связанный с понятием науки вообще и борьбой с ненаукой в частности. И.Р. Пригожин в своем обращении к потомкам [14] указывал, что наука не занимается уникальными системами. С позиций ДСП (и третьей парадигмы, которая все это систематизировала) следует, что наука занимается повторяющимися, воспроизводимыми объектами, процессами, системами, которые можно описывать формальным аппаратом (наука требует моделей и математики) и на основе этих первых трех принципов (научности знаний) наука должна обеспечить прогноз будущего (при этом не отрицается возможность релятивизма, т.е. отрицания предыдущих моделей, теорий, прогнозов).

Все эти пять принципов или свойств (повторяемость, воспроизводимость, формализация (моделируемость), прогнозируемость и релятивизм) являются необходимыми атрибутами любых научных знаний, а уникальные процессы, действительно, под это все не попадают. Однако, они, т.е. уникальные системы и процессы, реально существуют и они находятся в

природе в большинстве (это все живые и социальные системы, биосфера Земли, Вселенная). ДСП-системы не столь всеобщие и локально существуют (вообще говоря, в пределах наших допущений). При этом для СТТ отсутствует любая возможность произвольного (по желанию экспериментатора) или непроизвольного (повторяющиеся процессы в природе) воспроизведения не только промежуточных, но и конечных значений вектора состояния системы (ВСС) $x=x(t)=(x_1, x_2, \dots, x_m)^T$ в фазовом пространстве состояний (ФПС), а также и любого начального состояния $x(t_0)$. Иными словами, ни $x(t_0)$, ни $x_i(t)$, как любые промежуточные значения ВСС, ни конечное состояние $x(t_k)$ для СТТ не повторимы и не воспроизводимы в принципе. Все это их существенно отличает от систем, изучаемых в физике, химии, технике. Однако, уже в рамках компартиментно-кластерной теории биосистем – ККТБ удалось создать новую теорию устойчивости биосистем, теорию идентификации степени синергизма в БДС и три новых метода идентификации параметров порядка (они отсутствуют в ДСП полностью) [1-6].

Для СТТ справедлив 2-й постулат ТХС: любое конкретное состояние биосистемы (точка в ФПС) произвольно неповторимо и не воспроизводимо. Более того, любое $x_i(t)$ не прогнозируемо, а это уже свойство хаотических систем. Неповторяемые и невозпроизводимые системы с хаотической динамикой движения ВСС в ФПС не являются объектом моделирования в ДСП (здесь необходимо иметь возможность

воспроизведения хотя бы начального состояния $x(t_0)$). Второй постулат ТХС (или свойство непрерывного мерцания) принципиально отделяет СТТ от ДСП, но еще больший водораздел составляет свойство самоорганизации, которое обеспечивает хаотическую динамику ВСС в пределах определенных объемов V_G фазовых пространств. Эти V_G мы представляем как квазиаттракторы – КА и они являются количественной характеристикой не только поведения, но и конкретного состояния СТТ.

В ТХС постулируется, что долго удерживать биосистему в пределах КА невозможно (из-за 3-го свойства СТТ – эволюции), т.к. сами КА хаотически движутся в ФПС (это движение образует макрохаос или хаос второго рода в других временных интервалах). Одновременно, любая СТТ имеет компартиментно-кластерную структуру, которую на молекулярном уровне с 1982 г. развивает Г.Р. Иваницкий с коллегами, вводя понятия иерархичности и дискретности в правило БИО (биолого-иерархического отбора) и с 1969 Н. Накен, развивая синергетику для макросистем. Специально для постулата Н. Накен (мы не работаем с отдельными элементами системы, а только с пулами (кластерами, компартиментами)) автором настоящего сообщения была разработана компартиментно-кластерная теория биосистем (ККТБ), которая математически реализовала только один (первый) принцип ТХС из всех пяти, которые декларируются в рамках третьей парадигмы [7-10].

В целом, эти пять принципов (или свойств СТТ) в виде компартиментно-кластерной организации, *glimmering property*, эволюции, телеологичности и

возможности выхода за пределы 3-х сигм (имеются примеры выхода за 20 сигм) – все эти базовые пять свойств приводили физику и биофизику к необходимости СТТ. Эти пять свойств, их отличия от ДСП-систем, требуют особых теорий и моделей для описания и прогноза СТТ. В рамках третьей парадигмы и разрабатываемой сейчас теории хаоса-самоорганизации, такие модели строятся и используются в практической работе врача, биолога-исследователя. Основу здесь составляет расчет параметров порядка, которые в медицине можно трактовать как наиболее важные диагностические признаки x_i , составляющие координаты вектора состояния системы (ВСС) $x=x(t)=(x_1, x_2, \dots, x_m)^T$. Последний находится в непрерывном и хаотическом движении в пределах некоторых ограниченных объемов фазовых пространств состояний, которые в разрабатываемой нами теории хаоса-самоорганизации, мы определяем как квазиаттракторы. Как вводятся эти понятия и в чём их отличия и сходство с общепринятыми в физике понятиями? На эти вопросы кратко ответим сейчас, но более подробно можно ознакомиться в предыдущих публикациях авторов [7-10].

В рамках ТХС сейчас постулируется непрерывное хаотическое движение ВСС в ФПС, но за счет самоорганизации биосистем это движение происходит в пределах КА. Смысл КА несколько подобен смыслу частоты $P^*(A)$ события A , которая как-то может представлять вероятность события A , т.е. $P(A)$, но в рамках теоремы Бернулли это представление весьма приблизительное (особенно при

малых выборках). Для нормального распределения частота $P^*(A)$ сходится по вероятности к вероятности $P(A)$. Однако, если в рамках детерминистско-стохастического подхода число испытаний мы можем повторять сколь угодно большое число раз n (т.е. $n \rightarrow \infty$), то в ТХС биосистема не может долго находиться в пределах одного КА. С течением времени сам КА, его параметры эволюционируют (вместе с эволюцией самой биологической динамической системы – БДС). Эта эволюция (движение КА в ФПС) носит хаотический характер и в ТХС мы постулируем наличие двух видов хаоса (двух темпоральных видов): кратковременное мерцание (хаотическое движение ВСС в ФПС за период времени τ) в пределах краткосрочного КА, а на больших интервалах времени T ($T \gg \tau$) имеем эволюцию КА в ФПС, при которой конечное состояние биосистемы полностью не определено (нет информации о моменте прекращения жизни объекта, о его состоянии перед смертью).

В целом, для любых живых организмов невозможно повторить дважды не только конечное состояние ($x(t_k)$), но и любое начальное состояние ($x(t_0)$). Все БДС являются уникальными системами, о которых И.Р. Пригожин говорил как об объектах, не изучаемых наукой [14]. Однако, сейчас в рамках ТХС мы СТТ изучаем, описываем параметрами квазиаттракторов и изучаем динамику эволюции этих КА в ФПС на больших интервалах времени T . В этой связи возникает базовый вопрос: как теория хаоса-самоорганизации связана с традиционной ДСП-наукой или

имеются ли какие-либо отличия между физикой, химией, техникой и ТХС? Для ответа на этот вопрос достаточно рассмотреть два базовых понятия квантовой физики: определенность (или неопределенность) и прогнозируемость (или непрогнозируемость).

Аналогии термодинамики квантовой механики и ТХС заканчиваются при переходе к живым системам и возникает проблема возможности моделирования хаоса в биосистемах (например, тремора) с позиций ДСП. Это возможно или нет? Первоначально отметим, что необходимо моделировать не просто хаос (как это делает сейчас физика, химия, математика и техника) а необходимо моделировать **системы управления хаосом**. Например, моделировать нормальные или патологические режимы дыхания, работы сердца, произвольных и непроизвольных движений, вообще норму и патологию в организме человека и животных. Для ответа на этот вопрос продемонстрируем возможность ТХС на начальном этапе ее возникновения, т.е. при выполнении только одного типа управления – управления параметрами непроизвольного движения (т.е. тремора). Отметим, что подобные механизмы самоорганизации имеются и в системах регуляции любых других биосистем (дыхания, работы сердца, гуморальных и висцеральных систем, гомеостаза в целом) [7, 11, 12, 15].

Сразу отметим, что в ТХС мы демонстрируем инверсию понятий. Если в ДСП любое регулярное движение в динамике поведения биосистемы (периодическое, например) было обычно нормой (якобы

нормальное (периодичное) дыхание, якобы нормальное биение сердца и т.д.), то сейчас мы говорим, что такая динамика – это обычно патология. Нормальное состояние любой сложной биосистемы (СТТ в нашей классификации) – это хаос, но в пределах квазиаттракторов. Патология возникает при периодических (регулярных) процессах или полном покое (в финале – это смерть).

Для демонстрации представим модели в рамках компартментно-кластерной теории биосистем (ККТБ-ССТВ), которая использует первый постулат ТХС (из всех 5-ти, сформулированных В.М. Еськовым в ТХС), т.е. мы работаем только с компартментами и кластерами (отдельный элемент – ничто в поведении БДС). С позиций ККТБ мы будем в норме иметь неповторимый и непредсказуемый (с позиций ДСП) хаос. Это означает, что для любого участка треморограммы мы никогда не получим одинаковую АЧХ и другие ДСП-характеристики (но параметры квазиаттрактора приблизительно сохраняются). На модели это выглядит следующим образом.

4. Пример использования квазиаттракторов в физиологии.

Для проведения эксперимента была отобрана группа испытуемых (аспиранты и сотрудники СурГУ) в количестве 34 человек и возрасте от 21 до 30 лет. Обследование проводилось неинвазивными методами и соответствовало этическим нормам Хельсинской декларации (2000 г.). Все испытуемые на момент проведения эксперимента находились в хорошей физической форме. Эксперимент проводился в 3 этапа. На первом этапе у

испытуемых регистрировались параметры ССС в спокойном состоянии (до употребления крепкого алкогольного напитка). На втором этапе каждому испытуемому был предложен алкогольный напиток в объеме 50 мл. с содержанием спирта 40% (водка). Через 10 минут после употребления алкогольного напитка повторно регистрировались параметры *функциональных систем организма* (ФСО) (момент первичного алкогольного опьянения). На третьем этапе испытуемым было предложено дополнительно по 50 мл. того же самого алкогольного напитка и через 10 минут были зарегистрированы параметры ФСО, которые представляют состояние *кардио-респираторной системы* (КРС) человека на Севере РФ.

Информация о состоянии параметров variability сердечного ритма была получена с использованием пульсоксиметра ЭЛОКС-01 М. В устройстве ЭЛОКС-01 М используется фотооптический датчик, с помощью которого регистрируется пульсовая волна с одного из пальцев испытуемого в положении сидя, в течении 5 мин интервала изменения. Данные обрабатывались методами теории хаоса – самоорганизации, рассчитаны квазиаттракторы (КА), их площади V_G для оценки уровня variability сердечных сокращений. В качестве основного параметра использовались значения межимульсных интервалов сердечных сокращений. Для сравнительного анализа использовались статистические методы обработки данных, в частности, были рассчитаны значения энтропии Шеннона, как показателя уровня хаоса в сигнале.

Реакция сердечно-сосудистой системы человека в ответ на

воздействие крепкого алкогольного напитка.

На рис. 1 представлена реакция ССС человека при воздействии крепкого алкогольного напитка в сравнении с состоянием без воздействия.

Из рис. 1 видно (см. ниже), что на втором этапе исследования спектр сердечных совращений значительно изменился, увеличилась амплитуда колебаний на некоторых интервалах, в частности, в зоне средних частот, объем квазиаттрактора сократился ($V_G = 45900$ после приема, в сравнении с $V_G = 49400$), что представляет уменьшение уровня хаотичности сердечных сокращений (это можно видеть по ритмограммам – рис. 1 – С). На третьем этапе variability сердечных сокращений продолжает снижаться. Спектр колебаний значительно перемещается из зоны низких частот в зону средних и высоких частот.

Для сравнения полученных результатов в рамках стохастики была рассчитана качественная оценка хаотической динамики - получены значения энтропии Шеннона (см. таблица) и построены гистограммы распределения частот попадания регистрируемых кардиоинтервалов NN (в msec) в один из 30 интервалов разбиения, что представлено на рис. 2. Значения площади квазиаттракторов V_G и энтропии Шеннона представлены в таблице.

Из таблицы видно, что при употреблении крепкого алкогольного напитка площадь квазиаттрактора уменьшается (с $V_G = 49400$, до $V_G = 45900$), а при повторном употреблении алкоголя, наблюдается еще более значительное сокращение площади квазиаттрактора (до V_G

=3300). Изменение значений энтропии Шеннона в полной мере согласуются с изменениями площади КА.

В результате проведенного исследования были показаны значительные изменения в динамике поведения параметров ФСО человека в сравнении стохастического подхода на основе гистограмм и энтропии Шеннона. На втором этапе эксперимента, то есть через 10 мин после употребления 1-й дозы алкоголя наблюдается сокращение вариабельности сердечного ритма и сокращение площади, т. е. при попадании алкоголя организм человека испытывает существенные изменения. На третьем этапе воздействие алкоголя и уровень этих изменений существенно растет. Имеется некоторая согласованность расчетов в рамках ТХС и энтропии Шеннона, но теория хаоса демонстрирует более существенные изменения квазиаттракторов.

Литература

1. Eskov V.M., Filatova O.E.: Respiratory rhythm generation in rats : the importance of inhibition // *Neurophysiology* – 1993. – Vol.25, №6 – pp. 420-426.
2. Eskov V.M.: Direct control by dissipation factor in respiratory neuron networks // *Neural Network World* – 1994. – №6 – pp. 663-670.
3. Eskov V.M.: Hierarchical respiratory neuron networks // *Modeling, Measurement & Control* (C. AMSE Press). – 1995. – Vol. 48, №2 – pp. 47-63.
4. Eskov V.M.: Indirect control by chemoreceptor drive in respiratory neuron networks // *Modeling, Measurement & Control* (C. AMSE Press) – 1995. – Vol.48, № 3 – pp. 1-12.
5. Eskov V.M.: The dependence of activity of cyclic respiratory neuron network with subcycles on damping coefficient // *Neural Network World* – 1996. – №1 – pp.57-67.
6. Eskov V.M.: Models of hierarchical respiratory neuron networks // *Neurocomputing*. – 1996. – Vol.11 – pp.203-226.
7. Eskov V.M. *Third paradigm*. Samara. (Russia). Ofort. – 2011., 240 p.
8. 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). – pp. 1404-1410.
9. 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 – pp. 602-607.
10. Gavrilenko T.V., Baltikova A.A., Degtyarev D.A., Pashnin A.S. The comparison of the efficiency of classic stochastic theory and theory of chaos-selforganization (TCS) // *Complexity. Mind. Postnonclassic*. – 2012. – Vol.1 – pp.81-91.
11. Haken H. *Principles of brain functioning: a synergetic approach to brain activity, behavior and cognition* (Springer series in synergetics). // Springer. 1995., 349 P.
12. Mark M. Churchland, John P. Cunningham, Matthew T. Kaufman, Justin D. Foster, Paul Nuyujukian, Stephen I. Ryu, Krishna V. Shenoy. *Neural population dynamics during*

- reaching // Nature. – 2012. – Vol.487.
– pp. 51-58.
13. Filatov M.A., Filatova D.Y., Himikova O.I., Romanova J.V. Matrixes of quasiattractor distances at identification of human psychophysiology function // Complexity. Mind. Postnonclassic. – 2012. – Vol.1. – pp. 19-24.
14. Prigogine I. The Die Is Not Cast // Futures. Bulletin of the World Futures Studies Federation. – 2000. – Vol. 25., №4 – pp. 17-19.
15. Weaver W. Science and Complexity. // Rockefeller Foundation (New York City): American Scientist. 1948., 36 P.

THE CHAOS MODELING IN PHYSICS AND THEORY CHAOS- SELF ORGANIZATION

*Eskov V.M., Gavrilenko T.V.,
Vokhmina Y.V., Zimin M.I.*

It was demonstrated: the real biosystems (complexity) have uninterrupted chaotic movements and such processes can't be describing according to classic theory of chaos (physical interpretation). The new theory of chaos-selforganization presents two types of chaos and quasiattractors can be presented such chaos description. Some analyses with quantum physics it was presented too.

Key words: *quasiattractor, theory of chaos - selforganization*

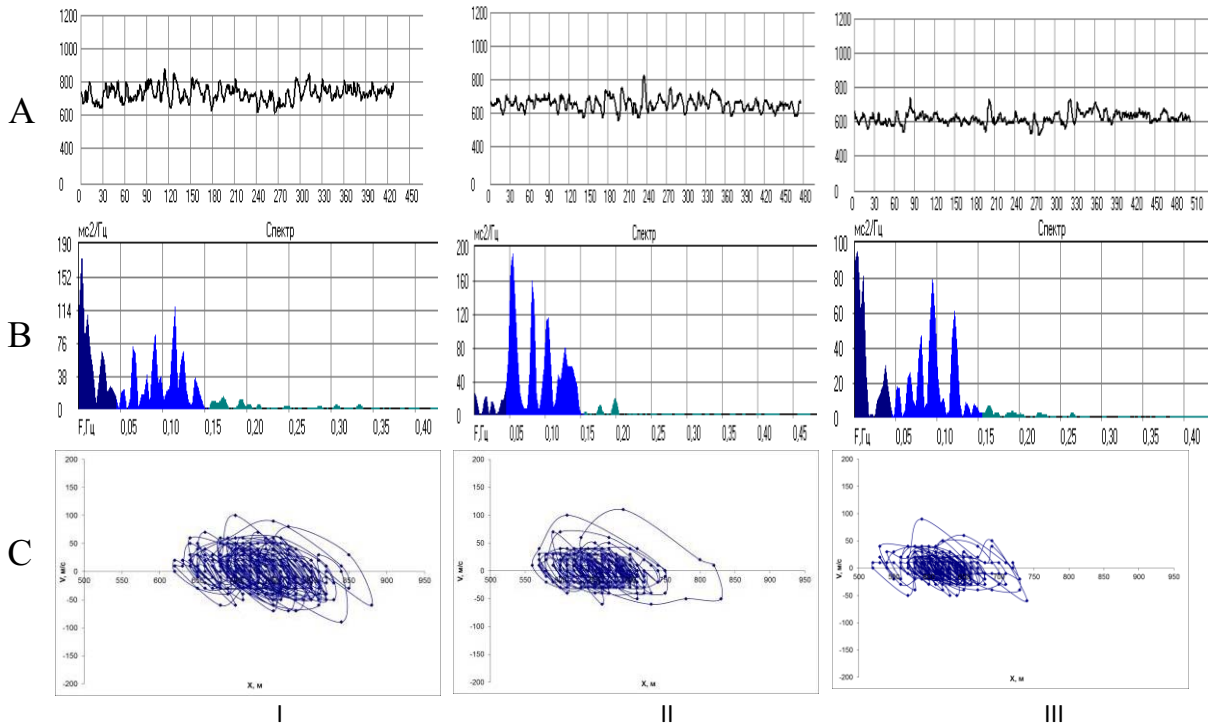


Рис. 1. А – Ритмограмма кардиоинтервалов $x_1=x_1(t)$ по данным пульсоинтервалографии; В – амплитудно-частотная характеристика сигнала $x_1(t)$; С – фазовый портрет сигнала на плоскости с координатами $x_1, x_2 = dx_1/dt$, для испытуемого : I) до употребления алкоголя; II – через 10 мин после употребления первой дозы крепкого алкогольного напитка; III – после повторного употребления крепкого алкогольного напитка

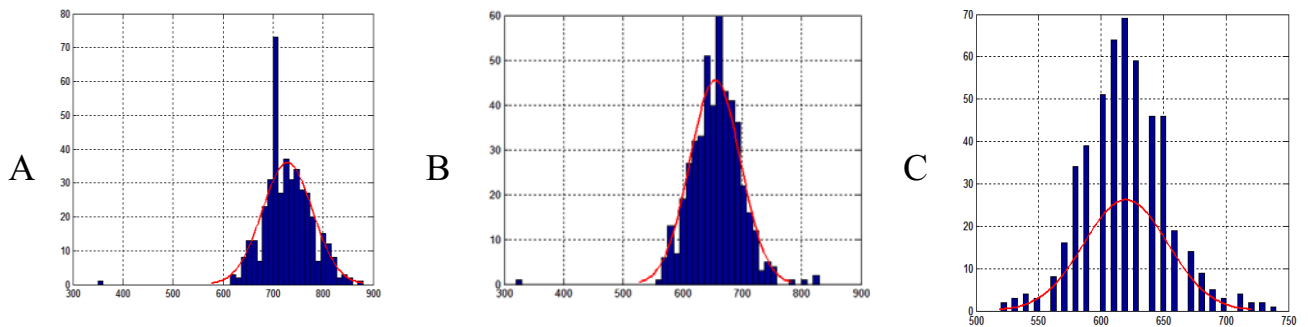


Рис.2. Гистограммы расчета энтропии Шеннона (испытуемый Yc): А – до употребления алкоголя; В – через 10 мин после употребления первой дозы крепкого алкогольного напитка; С – после повторного употребления крепкого алкогольного напитка

Таблица

Значения энтропии Шеннона и площадей квазиаттракторов по результатам измерения параметров ССС испытуемых.

	до употребления алкоголя	через 10 мин после употребления 250 мл.	после повторного употребления 50 мл.
Площадь КА V_G (y.e.)	49400	45900	33000
Энтропия Шеннона Ssh	2.8497	2.8274	2.6440