

III. МАТЕМАТИКА В ОПИСАНИИ ХАОСА И СИНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМ

МОДЕЛИ СЛОЖНЫХ СИСТЕМ С ПОЗИЦИЙ ФИЗИКИ И ТЕОРИИ ХАОСА-САМООРГАНИЗАЦИИ

Вахмина Ю.В., Гавриленко Т.В., Зимин М.И., Балтикова А.А., Берестин Д.К.
ГБОУ ВПО «Сургутский государственный университет ХМАО – Югры»

Рассматривается природа хаоса в сложных биологических динамических системах с позиции теории хаоса-самоорганизации. Представлено сравнение принципов построения моделей сложных биосистем детерминистских, стохастических, и показано, что наиболее эффективными являются модели, создаваемые на принципах теории хаоса-самоорганизации. Авторами продемонстрирована эффективность компартментально-кластерного моделирования биосистем и возможности управления такими моделями. Сравнительный анализ моделирования и реальных зарегистрированных сигналов показал высокую согласованность моделируемых сигналов и реальных сигналов сложных биологических систем.

Ключевые слова: самоорганизация, хаос, сложные биосистемы, компартментально-кластерное моделирование.

Введение

Биологи, медики, биофизики, физики и кибернетики много лет описывали изменяющиеся во времени биологические процессы, как некоторые периодические процессы, или пытались их приблизить к квазипериодическим процессам, которые 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 – 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).

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 – не перспективно. 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). 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 [3].

1. Природа хаоса у систем третьего типа. 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 нейроэмулатора). В чем отличие динамики хаоса физической системы от хаоса в нейросетях мозга (и во всех других эффекторных системах организма) нами показано в серии статей и книг [1-6]. Но вся эта информация сжимается до размера точки (или квазиаттрактора, как мы это сейчас представляем в ТХС). Это отличие уже отметил W. Weaver в своем известном сообщении «Science and complexity» [7]. 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 определяется для СТТ в разрабатываемой нами ТХС.

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 ВСС 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.

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.

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 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, невоспроизводим 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 [1-5,8].

Можно привести конкретный пример для организма человека по одной координате. Температура тела каждого человека в норме колеблется в пределах 36,6 °C. 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 ВСС $x=x(t)=(x_1, x_2, \dots, x_m)^T$ в подсистемах, которые осуществляют принятие решения и контроль за их выполнением. Все эти элементы, подсистемы находятся в непрерывном хаотическом режиме, но в пределах некоторых границ. Такие границы формируют изучаемые нами сейчас квазиаттракторы, т.е. области ФПС, внутри которых хаотически движутся все ВСС. Это справедливо для всех БДС, 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. Рассредоточенность 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 СТТ (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.

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) [6, 7].

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 строго детерминированных сил и законов, ограничивающих их динамику развития, они имеют крайне рассредоточенные параметры, и особые механизмы самоорганизации. Все это обеспечивает движение их ВСС в пределах некоторых квазиаттракторов (микрохаос) и одновременно они эволюционируют к своим финальным квазиаттракторам. 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 [1-6].

2. Принципы построения моделей сложных биосистем.

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 имеют существенные отличия от традиционных систем [6, 8], изучаемых в физике, химии, технике; они требуют особых теорий для своего описания и прогнозирования [6, 7]. Очевидно, что все отличия СТТ от ДСП-систем образуют и их особые внутренние свойства. Поскольку пяти особым свойствам СТТ и 13-ти их отличиям от ДСП-систем было посвящено огромное количество наших публикаций, то целесообразно акцентировать внимание на формализации этих отличий и внутренних сходствах, попытаться выделить главные факторы и признаки, обеспечивающие формализацию в описании СТТ [1, 5, 6]. На основании этих отличий нами разработаны новые методы ТХС и новый подход в медицине в целом, который позволяет современной ДСП-медицине перейти к индивидуализации, к персонифицированной медицине. Такая индивидуальная медицина – реальная медицина будущего.

В настоящее время авторами выделяются три главных фактора, или направления развития новой ТХС. Во-первых – особое понимание стационарных режимов БДС-complexity, т.е. СТТ. Во-вторых – особое понимание *параметров порядка* (ПП) и методов их идентификации. Отметим, 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 трех базовых проблем – особые модели и особые задачи прогнозирования динамики поведения СТТ [6, 12].

В целом, разрабатываемые нами три раздела диагностики СТТ будут посвящены детализации и развитию по сути этих трех основных проблем или направлений (стационарные режимы, параметры порядка, обоснование типов хаоса и их описание и моделирование) в рамках ДСП-науки 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 [6, 12]. Однако, в первую очередь это касается медицины, т.к. наша ТХС соединяет восточную и европейскую медицину. Такое соединение или создание синергических взаимоотношений, будет происходить только в рамках ТХС, т.к. для ДСП это все невозможные процессы, понятия, объекты [1-6].

Эти три направления начали разрабатываться В.М. Еськовым еще 40 лет назад в связи с созданием теории нейросетей мозга, изучением работы дыхательного центра мозга млекопитающих и выходом на создание *компартментно-клластерной теории биосистем* (ККТБ). Уже в рамках ККТБ начато изучение стационарных режимов 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 микроякос 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 не изменяются. При стационарном режиме СТТ в ТХС *вектор состояния системы* $x=x(t)=(x_1, x_2, \dots, x_m)^T$ не может принимать постоянные значения, т.е. $x_i\neq const$, и ДСП не может описывать СТТ в принципе! Особый хаос в ТХС 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* (ВУВ), которые в ДСП в общем случае не используются. Необходимость задания ВУВ определяет сходство ТХС и третьей парадигмы с понятием постнеклассики, которое ввел В.С. Степин [5]. 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 особенностей СТТ – не было. 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 [1-6].

Все накопленные противоречия и ограничения останутся 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). Если кратко изложить суть наших методов для понимания существенных отличий ДСП-медицины (т.е. медицины Европы) от медицины Китая и других традиционных медицин, в восточной и традиционной 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 имеются предвестники синдрома внезапной смерти, 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 европейской медициной и не измеряются. Она остается в рамках ДСП и базируется на стохастическом подходе.

На сегодняшний день в традиционном ДСП (науке) отсутствуют эффективные модели, которые бы описывали хаотическую динамику поведения биомеханической системы (постуральный трепор) 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 трепора. 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.

Поскольку мы стоим на позициях биофизики, то можно представить физические аналоги таких систем. Хаос в динамике поведения фазовых траекторий реального трепора 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 (стенками сосуда). Хаос при трепоре, 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 мы назвали наш подход «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) [1-6].

Стенки сосуда в физике и внутренние механизмы самоорганизации биосистем, будут теми причинами, которые накладывают ограничения на динамику движения молекул (в сосуде) и ВСС $x=x(t)$ 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.

Аналогии термодинамики 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) [1, 5, 6].

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 квазиатракторов. Патология возникает при периодических (регулярных) процессах или полном покое (в финале – это смерть).

Для демонстрации представим модели в рамках ККТБ, 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 тремограммы мы никогда не получим одинаковую амплитудно-частотную характеристику (АЧХ) и другие ДСП-характеристики (но параметры квазиатрактора

сохраняются). На модели это выглядит следующим образом.

3. Компартментно-кластерное моделирование биосистем – возможности управления.

Для решения задачи моделирования таких медико-биологических показателей как электроэнцефалограмма, ритмограмма, тремограмма, как наиболее показательных для описания вектора состояния организма человека, была использована трехкомпартментная двухкластерная модель (рис. 1) [2]. Для исследования сигнала применялись методы ТХС [4, 10].

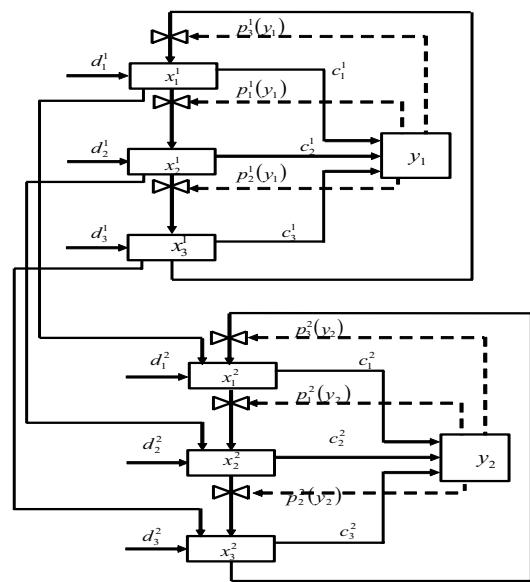


Рис. 1. Модель двухкластерной трехкомпартментной системы

Система уравнений, описывающая данную модель, имеет вид (1):

$$\begin{aligned} \dot{x}_1 &= A_{11}(y_1)x_1 - bx_1 + u_1d_1, \\ \dot{x}_2 &= A_{21}x_1 + A_{22}(y_2)x_2 - bx_2 + u_2d_2. \quad (1) \\ y_1 &= c_{11}^T x_1 \\ y_2 &= c_{21}^T x_1 + c_{22}^T x_2 \end{aligned}$$

Данная модель была реализована в виде пакета прикладных программ, реализующих имитационное моделирование поведения системы при различных начальных состояниях и различных уровнях ВУВ (ud). Реализованная модель позволяет увидеть результаты работы каждого кластера по отдельности и варьировать уровень

управляющего воздействия для реализации различных режимов работы. На выходе имитационной модели, при различных начальных условиях, формируются сигналы, которые по своему характеру и параметрам в полной мере согласуются с результатами обработки и оценки реальных сигналов, которые регистрируются при произвольных движениях человека – *теппинга*. На рис. 2 приведен пример реального сигнала, где а) – реальный сигнал (*теппинг*), б) – фазовая плоскость реального сигнала (*теппинга*).

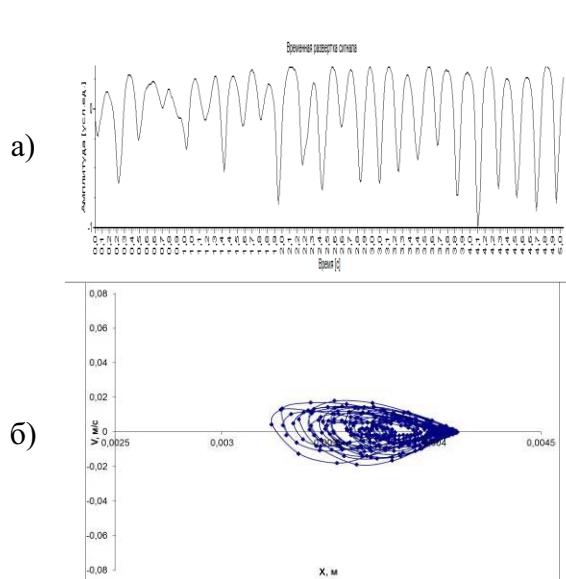


Рис. 2. Пример реального сигнала произвольных движений человека (регистрация *теппинга* на тримографе) (квазипериодический сигнал) и его обработки: а) исходный (регистрируемый) сигнал; б) фазовая плоскость сигнала в координатах x и dx/dt .

На рис. 3 приведен пример моделируемого сигнала, где а) – исходный моделируемый сигнал (*теппинг*), б) – фазовая плоскость моделируемого сигнала.

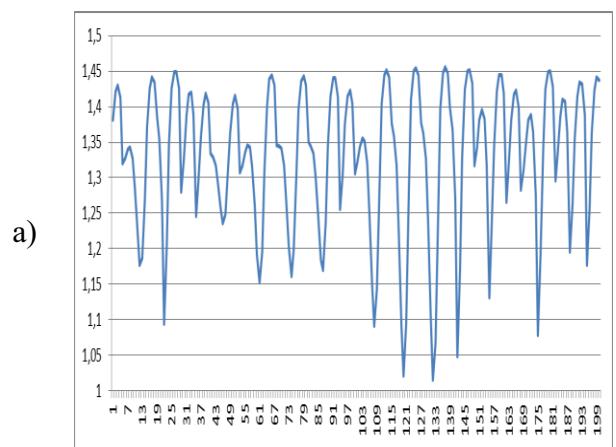
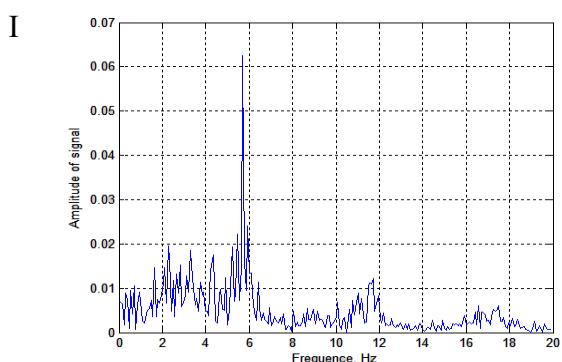


Рис. 3. Пример моделируемого сигнала (квазипериодический сигнал) и его обработки: а) исходный (регистрируемый) сигнал; б) фазовая плоскость сигнала в координатах x и dx/dt .

На рис. 4 I – амплитудно-частотная характеристика моделируемого сигнала; II – амплитудно-частотная характеристика реального сигнала (*теппинг*). Данные примеры (рис. 1 – 4) демонстрируют возможности модели в моделировании поведения нервно-мышечной системы человека (*теппинг* пальца руки человека).



II

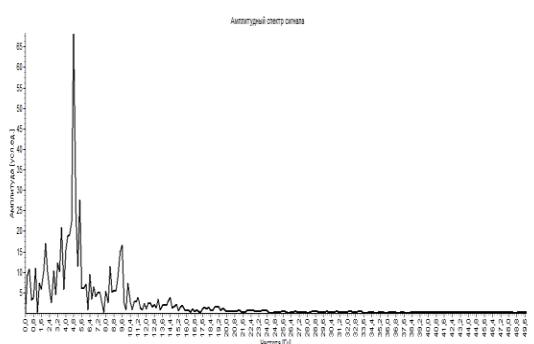


Рис. 4. Амплитудно-частотные характеристики сигналов.

Здесь, I) – моделируемого сигнала; II) – реальный сигнал произвольных движений человека (регистрация *теппинга* на тремографе).

Заключение

Получаемый в результате моделирования выходной сигнал $y=y(t)$ при различных ВУВ в виде ud обладает различными свойствами. Фактически, уровень управляющего сигнала ud и, как следствие, выходной сигнал можно условно разделить на 4 класса, по мере роста значения ud . Конечные значения выходного сигнала $y=y(t)$ и ВУВ ud зависят от конкретной настройки модели, но моделируемый сигнал на выходе может быть разделен на следующие классы:

1. *Хаотический сигнал*: сигнал на всём моделируемом интервале времени T изменяется в широких пределах, отсутствует выраженная повторяемость (обнаружить равнозначные сигналы в заданных пределах (Δt) не удалось), амплитудно-частотная характеристика сигнала имеет сложную структуру и варьируется на всем моделируемом промежутке времени.

2. *Квазипериодический сигнал*: в сигнале присутствуют периодические процессы, которые можно увидеть даже визуально, но АЧХ имеет сложную структуру (пример такого сигнала на рис. 4.).

3. *Периодический сигнал*: сигнал характеризуется строгим периодическим процессом, в АЧХ выражены 3-4 частоты (без промежуточных значений).

4. *Вырожденный сигнал*: сигнал вырождается в прямую линию, колебательных процессов не наблюдается, соответствует глубоким патологиям,

например, регидной форме болезни Паркинсона.

Первый класс соответствует нормогенезу сложных БДС, ФСО в нормальном состоянии. Второй класс – нормогенез сложных БДС в возбужденном состоянии (непроизвольные состояния организма, существенное внешнее воздействие) или локализованный патогенез. Третий класс – выраженный патогенез сложных БДС. Четвертый класс – патогенез с высоким уровнем генерализации патологических процессов.

Литература

- Еськов В.М., Еськов В.В., Филатова О.Е Особенности измерений и моделирования биосистем в фазовых пространствах состояний // Измерительная техника. 2010. – №.12. – С.53-57.
- Еськов В.М. Введение в компартментную теорию респираторных нейронных сетей. - М.: Наука, 1994.-160 с.
- Еськов В.М., Хадарцев А.А., Гудков А.В., Гудкова С.А., Сологуб Л.А. Философско-биофизическая интерпретация жизни в рамках третьей парадигмы // Вестник новых медицинских технологий. 2012. – №1. – С. 38–42.
- 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. – №.1. P.81-90.
- Eskov VM. The third global paradigm: <http://www.thirdglobalparadigm.com/home/manifesto/>
- 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. – v. 53 (12), P. 1404-1410.
- Eskov V.M., Gavrilenko T.V., Kozlova V.V., Filatov M.A. Measurement of the dynamic parameters of microchaos in the behavior of living biosystems. // Measurement techniques - 2012 - Volume 55, No.9. – P. 1096-1101.
- 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. // J. Biomedical Science and Engineering, 2012 - V.5, №10 - P. 602-607
9. Eskov V.M., Khadarcev A.A., Karpin V.A., Popov Y.M. The future horizons and Manuel Castells: realities and illusions of information technology, global capitalism and network society // Complexity. Mind. Postnonclassic. – 2012. – No.1. P.69-80.
 10. 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. – No.1. P.19-24.
 11. 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. Vol. 487. 2012. P. 51-58.
 12. Weaver W. Science and Complexity. Rockefeller Foundation, New York City // American Scientist, 1948 – V.36. – P.536-544.

**MODELS OF COMPLEX SYSTEMS
ACCORDING TO PHYSICS AND THEORY
OF CHAOS-SELFORGANIZATION**

*Vakhmina J.V., Gavrilenko T.V., Zimin M.I.
Baltikova A.A., Berestin D.K.*

The nature of chaos at complex biosystems was presented according to theory of chaos-selforganization. The comparison of basic principles complexity modeling according to deterministic and stochastic approach was presented. It was demonstrated the efficiency of models which are based on theory of chaos-selforganization principles.

It was demonstrated the efficiency of compartmental-cluster approach and the possibility of its control was demonstrated too. The comparison between model and real output signal presents the high correlation of real and modeling output signals.

Key words: selforganization, chaos, complex system, compartment-clusters modeling