

**АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ И УСТОЙЧИВОСТИ ПРОЦЕССОВ
САМООРГАНИЗАЦИИ В НЕЛИНЕЙНОЙ ДИНАМИЧЕСКОЙ ПРЕДМЕТНОЙ
ОБЛАСТИ ТЕЛЕМЕДИЦИНЫ**

Востров Г. Н., Атие А., Левенец К.

*Одесский национальный политехнический университет
1, Проспект Шевченко, 65044, Одесса, Украина.*

**АНАЛІЗ ЕФЕКТИВНОСТІ ТА СТІЙКОСТІ ПРОЦЕСІВ САМООРГАНІЗАЦІЇ В
НЕЛІНІЙНІЙ ДИНАМІЧНІЙ ПРЕДМЕТНІЙ ОБЛАСТІ ТЕЛЕМЕДИЦИНИ**

Востров Г. М., Атіє А., Левенець К.

*Одеський національний політехнічний університет
1, Проспект Шевченка, 65044, Одеса, Україна.*

**EFFICIENCY AND SUSTAINABILITY ANALYSIS OF SELF-ORGANIZATION
PROCESSES IN NONLINEAR DYNAMICAL SUBJECT OF TELEMEDICINE**

Vostrov G. N., Atie A., Levenets K.

*Odessa National Politechnical University
1, Shevchenko avenue, 65044 Ukraine, Odessa*

Аннотация. В статье рассматриваются процессы самоорганизации в таких сложных структурах, как система, предметная область, среда. Выделен класс таких структур, которые являются самоорганизующимися нелинейными динамическими образованиями в реальном мире. Рассмотрены отношения между этими структурами. Показано, что все нелинейные динамические предметные области являются самоорганизующимися. Выделены характерные свойства процессов самоорганизации. Доказано, что эффективные состояния самоорганизации базируются на регулярных автокорреляционных и кросскорреляционных процессах обмена сигналами между различными нейронами.

Ключевые слова: предметная область, телемедицина, синергетическая система, устойчивое состояние

Анотація. У статті розглядаються процеси самоорганізації в таких складних структурах, як система, предметна область, середовище. Виділено клас таких структур, які є здатними до самоорганізації нелінійними динамічними утвореннями в реальному світі. Розглянуто відносини між цими структурами. Показано, що всі нелінійні динамічні предметні області здатні до самоорганізації. Виділено характерні властивості процесів самоорганізації. Доведено, що ефективні стани самоорганізації базуються на регулярних автокореляційних та кроскореляційних процесах обміну сигналами між різними нейронами.

Ключові слова: предметна область, телемедицина, синергетична система, стійкий стан.

Annotation. The article examines the processes of self-organization in complex structures such as system, subject area, medium. The class of structures that are self-organizing nonlinear dynamic entities in the real world is allocated. The relationship between these structures is examined. It is shown that all the nonlinear dynamic domains are self-organizing. Characteristic properties of self-organization are marked. The effective state of self-organization based on autocorrelated and cross-correlated regular processes of exchanging signals between neurons are proved.

Keywords: subject domain, TV-medicine, synergetic system, stable state.

Прежде всего необходимо остановиться на следующих ключевых понятиях, которые будут предметом их содержательного анализа. К ним относятся понятия системы, предметной области, среды и процессов самоорганизации в каждом из отмеченных объектов реального физического мира. Термин “система” часто используют как для предметных областей, так и сред. При этом даже всю нашу Вселенную порой относят к классу систем. С этим фактом трудно не согласиться. Однако, в силу того, что наши знания о законах, управляющих вселенной, носят хотя и глубокий, но ограниченный характер, имеет смысл такие объекты относить к классу сред чрезвычайно высокой степени сложности. Тем более, что любые си-

стемы и предметные области являются их собственной частью.

Анализ всех известных систем, которые являются элементами реального мира, свидетельствует о том, что все они обладают одним общим свойством. Каждую систему можно достаточно точно описать конечной системой стохастических дифференциальных уравнений, зависящих от конечного множества переменных $\{\xi_1(w_1, t), \dots, \xi_n(w_n, t)\}$, каждая из которых в общем случае является случайным процессом. При этом для каждой из них существует соответствующее ей вероятностное пространство (Ω_i, T_i, P_i) при $i = \overline{1, n}$. Такая общность не ограничивает возможность существования детерминированных переменных одномерных или многомерных определенных в некотором пространстве соответствующей размерности. Однако реальный опыт моделирования реальных систем свидетельствует скорее об обратном, т.е. реальные свойства являются случайными процессами. При построении математических моделей систем реального мира с помощью асимптотической теории, удается аппроксимировать случайные процессы детерминированными функциями с приемлемой точностью.

Каждая динамическая система состоит из некоторого множества типов объектов, каждый из которых представляется множеством объектов определенной природы. Объекты системы взаимосвязаны между собой определенной системой взаимосвязей, которые имеют в общем случае динамический характер. Система взаимосвязей объектов системы определяет ее динамическую структуру и закономерности динамики системы, описываемой системой уравнений. Следует отметить, что уравнения, описывающие динамические свойства системы, зависят от некоторого множества параметров $\{\mu_1, \dots, \mu_k\}$, которые могут быть случайными величинами или изменяться во времени трудно предсказуемым образом. Предполагается, что структура динамической системы остается неизменной и не зависит от фактора времени.

Множество взаимодействующих между собой динамических систем с динамически изменяющейся структурой в соответствии со сложным многообразием динамически изменяющихся закономерностей определенной природы образует предметную область. К проблеме определения предметной области вернемся ниже. Это связано с тем, что сейчас важно остановиться на таком свойстве, характерном как для динамических систем, так и предметных областей нелинейного типа, которое принято называть устойчивостью под влиянием факторов, влияющих на них из внешней среды и особенностей закономерностей внутренней динамики, обусловленной свойствами ее описывающих уравнений и принимаемыми значениями их параметров. Если устойчивость всегда достигается за счет некоторых специфических свойств нелинейной динамической системы или предметной области, то они относятся к классу самоорганизующихся.

Основоположник теории самоорганизующихся нелинейных динамических систем известный немецкий физик-теоретик Г. Хакен назвал это новое научное направление синергетикой [1], что означает системное взаимодействие. В работе [2] автором было четко доказано, что синергетика является результатом междисциплинарных исследований. При этом следует отметить, что первоначально синергетика рассматривалась как математический аппарат более глубокого исследования процессов самоорганизации даже в достаточно простых динамических системах в области физики. В результате было установлено, что и в простых, и, тем более, в сложных нелинейных динамических системах физики, химии, биологии их фазовые траектории из устойчивых состояний, обусловленных процессами самоорганизации, переходят в неустойчивые состояния, имеющие форму стохастического хаоса или детерминированного хаоса, определяемого фрактальными функциями или множествами, катастроф, бифуркаций или мультифуркаций, странных аттракторов, предельных циклов, топологического разрушения структуры моделируемых динамических систем. [3,4]. Результаты многих исследований показали, что отмеченные формы неустойчивости могут наступать в различном и трудно прогнозируемом порядке.

В том случае, когда нелинейная динамическая система является синергетической, после возникновения неустойчивости в любой из отмеченных форм, она со временем возвра-

щается в устойчивое состояние. При этом по существу сформировались два различных направления исследования нелинейных динамических систем. Одно из них связано с созданием математической теории моделирования динамических систем и исследования их динамических свойств при различных значениях параметров их моделей. Одновременно возникла проблема управления такими системами с целью перевода их в оптимальное устойчивое состояние. Кузнецов С.П. в работе [4] отмечает, что математическая программа исследования динамических систем с двухмерным фазовым пространством была решена в изящной и законченной форме. Однако, начиная с размерности “три”, возникают проблемы, из-за которых выполнение программы методами решения ее в двухмерном случае, становится принципиально невозможным. Доказано, что в динамических системах в пространствах размерности “3” и более, могут существовать области, в которых структурно неустойчивые состояния образуют всюду плотные множества.

Другое направление исследований нелинейных динамических систем связано с двумя важными обстоятельствами. Одно из них связано с определением полного множества условий при выполнении которых можно было бы утверждать, что динамическая система обладает свойством самоорганизации в такой форме, при которой переход в неустойчивые состояния мало вероятен или принципиально не возможен. Второе обстоятельство связано с тем фактом, что в настоящее время отсутствует общепризнанное формальное определение системы. Обе проблемы в настоящее время далеки от приемлемого точного их решения. Будем предполагать, что при определении динамической системы приемлемой является следующая точка зрения [4, 5, 6, 7].

Синергетическая концепция самоорганизации включает следующие важные свойства, которые образуют основы процессов самоорганизации, но далеко не полно определяют их общее множество:

1. Объектами исследования являются открытые системы в неравновесной среде, характеризующиеся интенсивным (потокосым, множественно-дискретным) обменом веществом и энергией между ней и окружающей ее средой.

2. Среда – совокупность составляющих ее (среду) сложных объектов, систем высокой степени сложности, находящихся в состояниях постоянного стохастического весьма сложного взаимодействия. Взаимодействие исследуемых объектов в среде характеризуется как близкодействие – контактное взаимодействие. Среда объектов может быть реализована в физической, биологической и другой среде более низкого уровня, характеризующейся как газоподобная, однородная или сплошная. В составе системы реализуется дальноедействие – полевое и опосредованное (информационное) взаимодействие.

3. Различаются процессы организации и самоорганизации. Общим признаком для них является возрастание порядка вследствие протекания процессов, противоположных установлению термодинамического равновесия, согласно второму закону термодинамики, независимо взаимодействующих элементов среды (также удаления от хаоса по другим критериям), (организация, в отличие от самоорганизации, может характеризоваться, например, образованием однородных статических структур). Возможность установления порядка из хаоса доказана в работе [8].

4. В результате самоорганизации происходит возникновение взаимодействия или взаимодействия (например, кооперация), а возможно и регенерация динамических объектов (подсистем) более сложных в информационном смысле, чем элементы (объекты) системы, из которой они возникают. Система и ее составляющие подсистемы являются преимущественно динамическими структурами, в которых все процессы взаимодействия подчиняются сложным нелинейным законам динамического взаимодействия.

5. Направленность процессов самоорганизации обусловлена внутренними свойствами объектов (подсистем) в их индивидуальном и коллективном проявлении, а также взаимодействиями со средой, в которую “погружена” система.

6. Поведение элементов (подсистем) и системы в целом существенным образом характеризуется спонтанностью – акты поведения не являются строго детерминированными.

7. Процессы самоорганизации происходят в среде наряду с другими процессами, в частности, противоположной направленности, и могут в отдельные фазы существования системы как преобладать над последними (прогресс), так и уступать им (регресс). При этом такая система в целом имеет устойчивую тенденцию к перестройке колебательных процессов в процессе эволюционного развития в направлении перехода в устойчивые состояния.

8. Самоорганизация может иметь в своей основе процесс преобразования или распада структуры, возникшей ранее в результате процесса организации.

Приведенное развернутое определение является если и не вполне совершенным, то все-таки необходимым шагом на пути конкретизации содержания, которое относится к синергетике, и выработки критериев для создания моделирующей самоорганизующейся среды.

О соотношении синергетики и самоорганизации следует вполне определенно сказать, что содержание, на которое они распространяются, и заложенные в них идеи неотрывны друг от друга. Они, однако, имеют и различия. Поэтому синергетику как концепцию самоорганизации следует рассматривать в смысле взаимного сужения этих понятий на области их пересечения.

Относительно общего определения понятия “система” в работе [7] утверждается, что существует несколько десятков определений этого понятия. Анализ различных форм определения данного понятия позволяет прийти к выводу, что определения изменялись как по форме, так и по содержанию. За последние десять лет ситуация не изменилась. Что касается определения динамической системы, то будем в дальнейшем придерживаться определения, приведенного в работах [4, 6]. Будем считать, что любая система этого класса представлена многообразием объектов различной природы, которые взаимодействуют между собой в соответствии с различными закономерностями, изменяющимися во времени. Предполагается, что в динамических системах можно выделить конечное множество величин, называемых динамическими переменными, которые с необходимой полнотой описывают ее свойства закономерности. Множество переменных, описывающих динамические свойства системы, является конечным и обладает тем свойством, что их значения в любой последующий момент времени получаются из исходного множества значений в момент времени $t_0 < t$ в соответствии с определенными закономерностями. Полное множество таких закономерностей и динамика их изменения во времени определяет оператор эволюции динамической системы.

Важный класс динамических систем образуют динамические системы, которые описываются системами разностных уравнений с дискретным временем.

Система разностных уравнений в общем виде имеет вид:

$$\begin{cases} y_{i(n+1)} = - \frac{\partial F(x_{1(n-1)}, \dots, x_{k/2(n-1)}, x_{1n}, \dots, x_{k/2n}, a_{1(n-1)}, \dots, a_{m(n-1)})}{\partial x_{in}} \\ y_{i(n+2)} = - \frac{\partial F(x_{1n}, \dots, x_{k/2n}, x_{1(n+1)}, \dots, x_{k/2(n+1)}, a_{1n}, \dots, a_{mn})}{\partial x_{i(n+1)}} \end{cases} \quad (1)$$

где $F(x_{1(n-1)}, \dots, x_{k/2(n-1)}, x_{1n}, \dots, x_{k/2n}, a_{1n}, \dots, a_{mn})$ – производящая функция динамической системы; n – число степеней свободы; a_{1n}, \dots, a_{mn} – параметры системы, которые на определенном числе итераций могут не изменяться, но на некоторой n -й итерации некоторые из них под влиянием внешней среды могут изменяться; $x_1, \dots, x_{k/2}, y_1, \dots, y_{k/2}$ – обобщенные координаты динамической системы.

Еще раз обратим внимание на тот факт, что при $k \geq 2l$ и $l > 1$ получение решения уравнений (1) и исследование поведения таких динамических систем при различных значе-

ниях параметров a_1, \dots, a_m представляет в настоящее время нерешенную, весьма сложную проблему [4]. Было установлено, что даже незначительные изменения параметров приводят к тому, что динамическая система из устойчивого состояния переходит в одно из перечисленных выше неустойчивых состояний.

Необходимо обратить внимание на тот факт, что нелинейные динамические системы могут относиться к одному из следующих классов:

- самоорганизующиеся нелинейные динамические системы;
- квазисамоорганизующиеся нелинейные динамические системы;
- управляемые нелинейные динамические системы.

В настоящее время, как уже отмечалось выше, отсутствует общепризнанная формальная теория процессов самоорганизации в нелинейных динамических системах. Для различных исследованных самоорганизующихся нелинейных динамических систем установлены принципы формирования процессов самоорганизации. Зачастую они весьма значительно отличаются. Квазисамоорганизация или самоорганизация в слабой форме проявляется в том, что процесс самоорганизации включается для одних состояний нелинейной динамической системы, но существуют состояния, в которых явление самоорганизации не наблюдается. Этот эффект зависит как от значений параметров дифференциальных уравнений, описывающих динамическую систему, так и от особенностей закономерностей перехода нелинейной динамической системы в такие состояния, в которых не могут включаться характерные для нее процессы самоорганизации.

Особый класс образуют нелинейные динамические системы, которые не обладают свойствами самоорганизации ни в какой-либо форме. Это означает, что их фазовая траектория является непрерывной последовательностью неустойчивых состояний различного вида, которые в непредсказуемой последовательности переходят из одной формы в другую. Такого рода динамические системы могут переходить в устойчивые состояния только на основе оптимальных управляющих воздействий. Из результатов, представленных в работах [5, 6], следует, что для нелинейных динамических систем с фазовыми траекториями эволюционного развития “три” и больше, решение этой проблемы в общем виде с учетом изменения значений параметров представляет весьма сложную математическую проблему.

Теория непрерывных и дискретных нелинейных динамических систем является весьма частным случаем существенно более общего понятия нелинейной динамической предметной области. Первоначально теория предметных областей стала объектом глубокого математического исследования в связи с необходимостью решения проблемы концептуального математического моделирования семантики баз данных предметных областей [9, 10]. При этом был сформулирован постулат: поскольку понятие предметной области носит первичный характер, то данное понятие не может быть определено ни на содержательном уровне, ни на формальном математическом уровне.

В работе [11] было доказано, что на основе теории математического моделирования предметных областей, существует возможность построения итерационного определения как на содержательном так и на формальном уровне понятия предметной области на основе последовательного анализа совершенствования определений предметной области, формулируемых на каждой итерации процессов математического моделирования. Объектом глубокого и детального исследования стала предметная область медицины.

Необходимо отметить, что любая предметная область по своей сложности несоизмеримо сложнее понятия системы. Это обусловлено тем, что все предметные области носят нелинейный динамический характер и имеют весьма сложную структуру. Также с ними связана определенная область знаний. Любая предметная область состоит из значительного многообразия предметных подобластей, каждая из которых, как правило, является самоорганизующейся нелинейной динамической предметной областью. Многообразие всех предметных подобластей образует структуру, элементы которой взаимодействуют между собой в соот-

ветствии с весьма сложными нелинейными динамическими законами.

Каждая предметная область или подобласть состоит их совокупности объектов различных типов. Объекты каждого типа образуют множество, элементы которого взаимодействуют между собой в соответствии с определенными динамическими закономерностями. Одновременно множества объектов различных типов взаимодействуют между собой. Это взаимодействие также носит весьма сложный динамический характер. Любой объект предметной области потенциально описывается бесконечным множеством свойств, каждое из которых представляет собой случайный процесс. Математическая теория для большинства случайных процессов неизвестна в силу ее значительной сложности. Поэтому информация о таких случайных процессах представляется в виде временных рядов, получаемых в результате статистических наблюдений. Описание закономерностей поведения объектов предметных областей сводится к представлению их многомерными временными рядами. По существу отдельные объекты или их множества образуют нелинейные динамические системы. Они могут в плане свойства самоорганизации относиться к одному из приведенных выше классов уровня самоорганизации.

Следует обратить внимание на тот факт, что некоторые типы объектов могут иметь детерминированную природу. Однако, это свойство не может относиться ко всем типам объектов в силу того, что между объектами из различных типов отсутствовало бы какое-либо взаимодействие, а тогда невозможно было бы говорить о нелинейной динамической предметной области. Очевидно, что любое многообразие детерминированных множеств объектов различных типов в данный момент времени образует детерминированную систему, которая под влиянием внешней среды все же эволюционно изменяется. Если для некоторого периода времени можно весьма условно считать ее предметной областью, для которой отсутствует динамика, то она с определенной степенью приближения рассматривается как стационарная. Такие предметные области не имеют фазовой траектории, в них отсутствуют процессы эволюционного развития. Такие структуры ни в каком отношении не обладают динамическими свойствами.

В работе в области нейрофизиологии [12] и работе [13] с достаточной полнотой было показано, что в настоящее время на развитие медицины существенное влияние оказывает телемедицина. При этом было установлено, что она является самоорганизующейся нелинейной динамической предметной подобластью медицины. Несложно показать, что любая предметная подобласть некоторой предметной области может исследоваться отдельно как самостоятельная предметная область. Исходя из свойств предметной области медицины как синергетической предметной области, несложно доказать, что телемедицина также является синергетической предметной областью.

Анализ синергетической предметной области телемедицины показывает, что ее образующими элементами является потенциально бесконечное множество синергетических систем. При этом ключевой проблемой исследования любых синергетических предметных областей и их синергетических систем является выделение основных, можно сказать, базовых свойств, характерных для процессов самоорганизации. В настоящее время отсутствует детальное исследование всех процессов, происходящих в системах, которые в совместном взаимодействии порождают явление самоорганизации в синергетических системах и более общих и сложных структурах, каковыми являются предметные области.

В данной статье приведён как содержательный так и формальный анализ ряда процессов, которые обуславливают систематическое проявление самоорганизации в предметной области медицины и ее предметной подобласти телемедицины. Изложение явления самоорганизации позволяет сделать вывод, что ее можно и необходимо рассматривать как самосогласованную эволюцию сложных систем в процессах их взаимодействия. Одним из базовых предположений является то обстоятельство, что процессы самоорганизации являются обобщением физической концепции фазовых переходов систем из одного состояния в другое. Это предположение является основой феноменологической теории, в соответствии с которой основные законы термодинамических преобразований переносятся в адаптированной форме на от-

крытые системы любой природы (химия, биология, генетика, эпидемиология, нейрофизиология, сложные информационные сети, экономика, социология, ансамбли живых организмов и др.).

Исследования в области эпидемиологии, нейрофизиологии, демографии показали, что процессы самоорганизации в значительной степени обуславливаются многомерными случайными процессами нестационарной формы с шумами весьма разнообразной природы. Установлено, что высокая степень кросскорреляционных зависимостей временных рядов, адекватно представляющих в дискретной форме случайные процессы, и корреляционная зависимость между шумами оказывают существенное влияние на возникновение эффекта самоорганизации. В таких случаях синергетические системы из неустойчивого состояния переходят в устойчивое состояние.

Процессы перехода синергетической предметной области телемедицины в устойчивое состояние в значительной мере зависят от того, что неустойчивость обусловлена несколькими источниками неустойчивости, каждый из которых связан с синергетической предметной подобластью, или некоторые источники локализованы в предметных подобластях, не обладающих согласованными (адекватными) с этой предметной областью свойствами самоорганизации. Примером такой предметной области является эпидемиология. В этой предметной области регулярно возникают эпидемии гриппа, штаммы которого мутируют трудно прогнозируемым образом. Такой процесс создает значительные трудности с разработкой вакцины, ориентированной на предварительную вакцинацию населения, учитывающую свойства нового штамма. Роль телемедицины в таких случаях сложно переоценить, так как информационные технологии телемедицины позволяют уже на ранних этапах проявления заболеваний определить характерные особенности заболеваний, вызванных новым штаммом, путем передачи информации об их свойствах в ведущие исследовательские центры медицины, способные за короткий промежуток времени создавать эффективные препараты для лечения новых форм заболеваний на основе не известных ранее штаммов. Случай с вирусом Эбола является очень серьезным подтверждением этого утверждения.

Рассмотренная предметная область медицинского здравоохранения не единственная в синергетической предметной области медицины, а, следовательно, и предметной области телемедицины. Значительный интерес представляет тот факт, что в природе не могут существовать закрытые, изолированные от внешней среды предметные области и системы [4, 9]. Следует заметить, что внешняя среда является объединением значительного количества предметных областей и систем весьма различной природы. Необходимо учесть, что принципиально невозможно построить в абсолютном смысле искусственные закрытые предметные области и системы. Даже более общее понятие среды также обладает тем же свойством открытости. Отсюда следует, что структуры реального мира любой степени общности независимо от их природы являются диссипативными самоорганизующимися средами, предметными областями и системами любой степени сложности.

Очевидно, что все виды структур реального мира могут формироваться и развиваться только в том случае, когда существуют структуры в реальном мире, обладающие более высоким уровнем организации порядка и обладающими большими возможностями производства всех видов ресурсов, необходимых их внутренним структурам отмеченных типов. Отсюда следует, что все мироздание представляет собой динамический симбиоз постоянно взаимодействующих между собой самоорганизующихся устойчивых структур различных степеней совершенства своего развития в виде достижения определенного порядка.

Главной особенностью любого порядка является то обстоятельство, что он определяет не только порядок внутренних классов структур, но и определяет закономерности возникновения хаоса, катастроф, бифуркаций и мультибифуркаций, странных аттракторов, предельных циклов, разрушений топологических свойств предметных областей, систем. Интересным является установленный факт, что в процессах самоорганизации могут в различной степени изменяться значения параметров производящих функций синергетических систем в дискретном случае или гамильтонианов в непрерывном случае. Изменение параметров меняет свойства отмеченных классов неустойчивых явлений и их порядок возникновения. При этом возникают весьма сложные проблемы

прогнозирования эволюционного развития структур, сред, предметных областей, систем.

Таким образом, процессы развития Вселенной в целом основаны на действии двух кажущихся несовместимыми классов процессов, имеющих противоположную направленность. Один из них основан на втором законе термодинамики, согласно которому в реальной действительности имеет место фундаментальная асимметрия, которая формирует в любых предметных областях и системах процессы постоянного их приближения к статическому равновесию, имеющему особую форму хаоса, которую можно назвать «тепловой смертью». Второй процесс основан на законах общей теории относительности и электромагнитного взаимодействия, является основой обратных процессов, приводящих к процессам самоорганизации любых структур реального мира на основе процессов аккумуляции элементарных частиц реального мира в сложные динамические структуры [8].

В работе [12] Г. Хакен на основе ряда результатов теоретической физики доказал, что головной мозг является самоорганизующейся системой, сложность которой настолько велика, что во многих отношениях носит на данном этапе развития науки непостижимый характер. Некоторые проблемы изучения механизмов работы головного мозга и процессов самоорганизации на основе высококоррелированных шумов приведены в систематизированной форме в работах [4, 15]. Однако приведенный перечень нерешенных проблем носит далеко не полный характер. Научная важность и практическая полезность результатов Г. Хакена состоит в том, что современная медицина, а, следовательно, и телемедицина состоят из большого многообразия предметных областей и систем, которые носят синергетический характер. В основе синергетических структур заложено свойство самоорганизации. Показано, что в основе процессов самоорганизации лежат процессы перехода динамических структур из различных форм неустойчивости в устойчивое состояние.

Приведенный вариант самоорганизации, характерный для многомерных динамических структур, которые описываются многомерными временными рядами, основан на кросс-корреляционной зависимости между парами различных временных рядов, описывающих динамику изменения двух групп нейронов, достаточно удаленных в головном мозге друг от друга. Получаемая при этом кросс-корреляционная функция приводит к самоорганизованным процессам обмена информацией между выделенными группами нейронов. Для получения кросс-корреляционной функции использовались энцефалограммы, зарегистрированные на современном энцефалографе с двадцатью точками отводов. Энцефалограммы снимались для следующих категорий больных детей: церебральный паралич, эпилепсия, травматические гематомы головного мозга.

Для каждого больного исследовались все пары энцефалограмм. Кросс-корреляционная функция для $x_i(t)$ и $x_j(t)$ энцефалограмм рассчитывалась на интервале времени T при сдвиге энцефалограммы $x_j(t)$ на величину Δt_{ij} относительно $x_i(t)$. Величина Δt_{ij} для каждой пары i, j , при $i \neq j$ и изменении i, j от 1 до 20, выбиралась таким образом, чтобы $R(x_i(t), x_j(t + \Delta t_{ij}))$ на интервале $(\Delta t_{ij}, T - \Delta t_{ij})$ принимала максимальное значение относительно скоррелированного динамического временного ряда $x_j(t)$ на величину Δt_{ij} . Таким образом, корреляционная функция вычислялась для $x_i(t)$ на интервале $(\Delta t_{ij}, T)$, а для $x_j(t)$ на интервале $(0, T - \Delta t_{ij})$. При этом предполагалось, что энцефалограммы для всех точек отводов измерялись в момент времени t , который условно полагаем равным нулю, т.е. $t = 0$. Кросс-корреляционная функция несимметрична относительно сдвига. Это означает, что если сдвигать $x(t_i)$ относительно $x(t_j)$ вправо, то максимум $R(x(t + \Delta t_{ij}), x_j(t_{ij}))$ достигается при другой величине сдвига Δt_{ij} .

На рис. 1 приведены результаты расчетов кросс-корреляционной функции для двух отводов энцефалограмм и сами энцефалограммы для височной и затылочной областей мозга, соответственно обозначенных T2 и O2. На верхних графиках видны кросс-корреляционные функции. Их вид свидетельствует, что в головном мозге имеют место процессы самоорганизации. В случае использования энцефалографов с 20 отводами полный кросс-корреляционный

анализ имеет весьма значительную вычислительную сложность. При этом не определяются и не выделяются хаотические составляющие различных типов. Их выделение даже для достаточно простых энцефалографов требует разработки методов анализа и обработки многомерных временных рядов с целью выделения хаоса в стохастической и детерминированной формах, странных аттракторов и других отмеченных процессов, приводящих работу мозга в неустойчивое состояние. Исследования самоорганизующихся предметных областей медицины и телемедицины в случае неустойчивых состояний представляет весьма сложную как в математическом аспекте, так и в вычислительном отношении проблему.

Одна энцефалограмма O2 соответствует динамике изменения электропотенциалов в затылочной области, а другая T2 в правой височной области. Первую энцефалограмму обозначено временным рядом $S_{O2}(t)$, а вторую $S_{T2}(t)$ с целью удобства. При кросскорреляционном анализе осуществлялись два варианта сдвига этих двух энцефалограмм на интервалы времени Δt_{ij} и $-\Delta t_{ij}^*$ влево и соответственно вправо. Величина сдвига выбиралась таким образом, чтобы кросскорреляционная функция принимала максимальное значение. В результате, как видно на примере этих двух кросскорреляционных функций, было установлено, что процессы формирования сигналов групп нейронов имеют нестационарную форму, обусловленную высоко коррелированными шумами.

На рис. 2 и 3 показаны автокорреляционные функции для энцефалограмм O2 и T2, соответствующих тем же затылочной и височной областям того же пациента, но на другом интервале времени той же длины. Исследовались сдвиги по времени вправо для двух интервалов времени Δt_{i1} и Δt_{i2} .

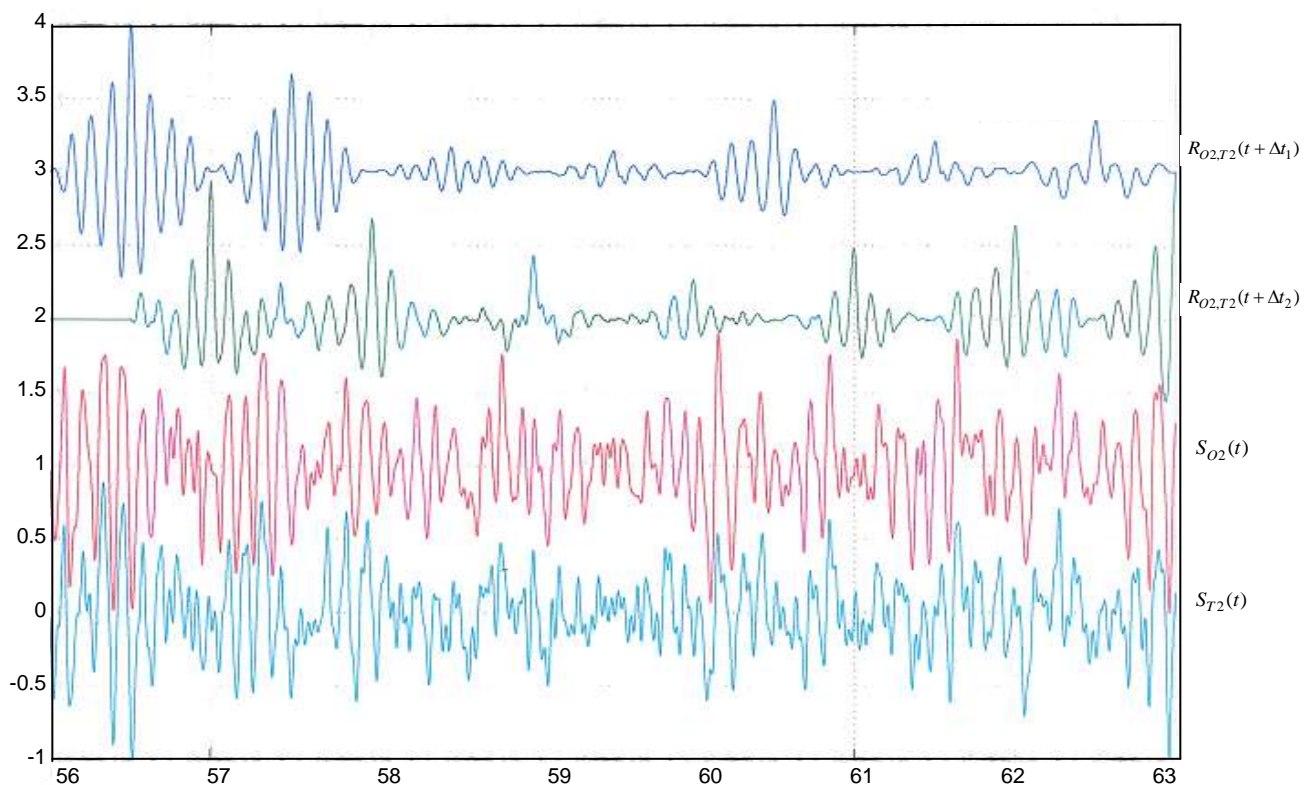


Рисунок 1 – Кросскорреляционные функции со сдвигом $\Delta t_{i1} = 0,5$ с и $\Delta t_{i2} = 0,8$ с для областей T2 и O2

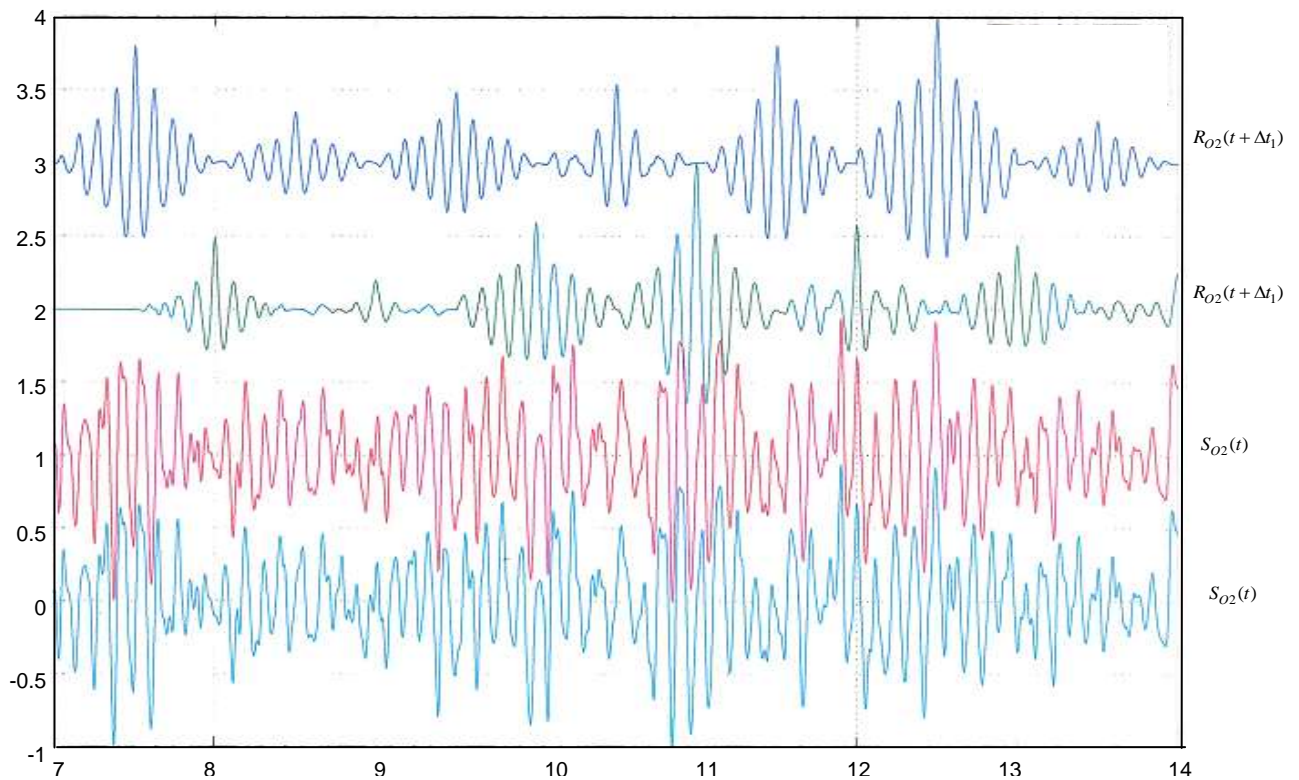


Рисунок 2 – Автокорреляционная функция со сдвигом $\Delta t_{i1} = 0,2$ с и $\Delta t_{i2} = 0,7$ с для области O2

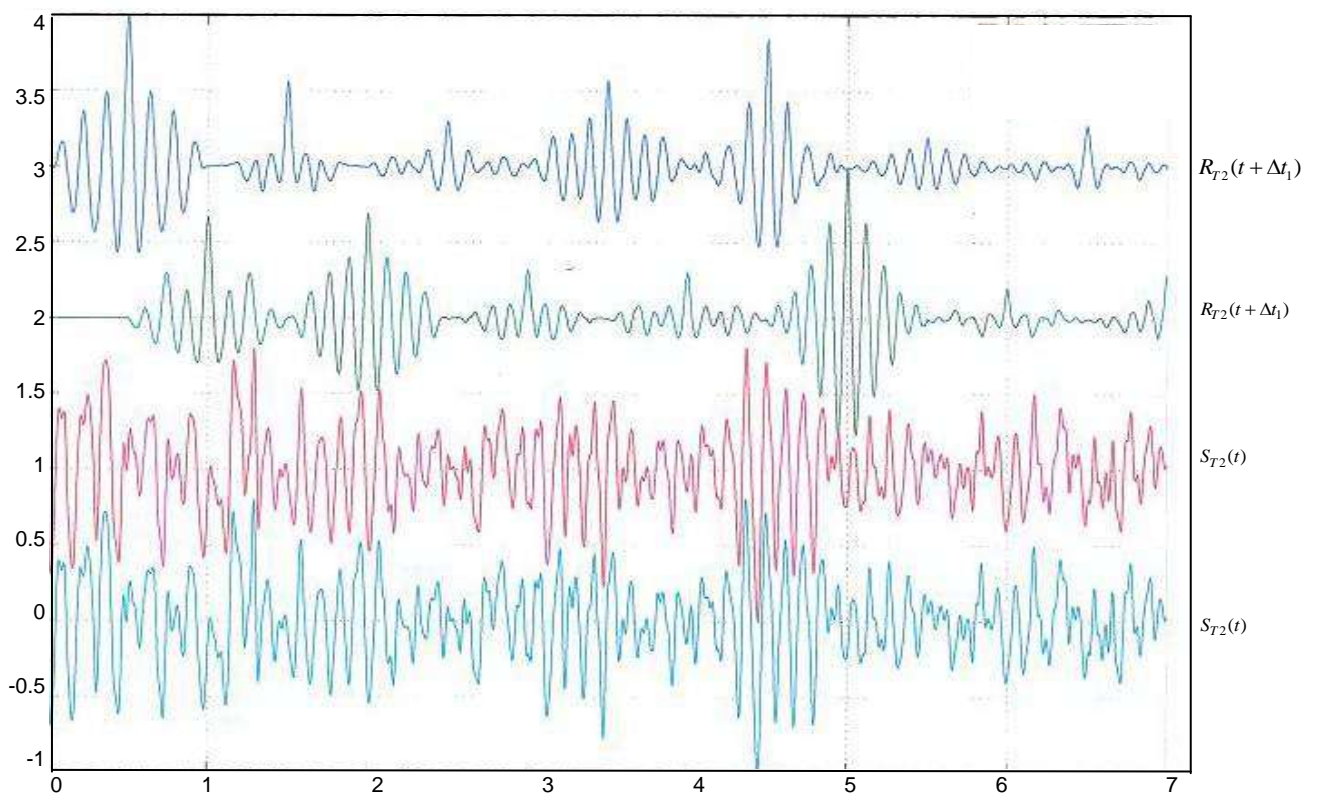


Рисунок 3 – Автокорреляционная функция со сдвигом $\Delta t_{i1} = 0,1$ с. и $\Delta t_{i2} = 0,5$ с. для области T2

Таким образом, синергетика объясняет процесс самоорганизации в сложных системах следующим образом: система должна быть открытой. Закрытая система в соответствии с законами термодинамики должна в конечном итоге прийти к состоянию с максимальной

энтропией и прекратить любые эволюции.

Открытая система должна быть достаточно далека от точки термодинамического равновесия. В точке равновесия сколь угодно сложная система обладает максимальной энтропией и не способна к какой-либо самоорганизации. В положении, близком к равновесию и без достаточного притока энергии извне, любая система со временем ещё более приблизится к равновесию и перестанет изменять своё состояние.

Фундаментальным принципом самоорганизации служит возникновение нового порядка и усложнение систем через флуктуации (случайные отклонения) состояний их элементов и подсистем. Такие флуктуации обычно подавляются во всех динамически стабильных и адаптивных системах за счёт отрицательных обратных связей, обеспечивающих сохранение структуры и близкого к равновесию состояния системы. Но в более сложных открытых системах, благодаря притоку энергии извне и усилению неравновесности, отклонения со временем возрастают, накапливаются, вызывают эффект коллективного поведения элементов и подсистем и, в конце концов, приводят к «расшатыванию» прежнего порядка и через относительно кратковременное хаотическое состояние системы приводят либо к разрушению прежней структуры, либо к возникновению нового порядка. Поскольку флуктуации носят случайный характер, то состояние системы после бифуркации обусловлено действием суммы случайных факторов.

Самоорганизация, имеющая своим исходом образование через этап хаоса нового порядка или новых структур, может произойти лишь в системах достаточного уровня сложности, обладающих определённым количеством взаимодействующих между собой элементов, имеющих некоторые критические параметры связи и относительно высокие значения вероятностей своих флуктуаций. В противном случае эффекты от синергетического взаимодействия будут недостаточны для появления коллективного поведения элементов системы и тем самым возникновения самоорганизации. Недостаточно сложные системы не способны ни к спонтанной адаптации, ни, тем более, к развитию и при получении извне чрезмерного количества энергии теряют свою структуру и необратимо разрушаются.

Этап самоорганизации наступает только в случае преобладания положительных обратных связей, действующих в открытой системе, над отрицательными обратными связями. Функционирование динамически стабильных, неэволюционирующих, но адаптивных систем – а это и гомеостаз в живых организмах и автоматические устройства – основывается на получении обратных сигналов от рецепторов или датчиков относительно положения системы и последующей корректировки этого положения к исходному состоянию исполнительными механизмами. В самоорганизующейся эволюционирующей системе возникшие изменения не устраняются, а накапливаются и усиливаются вследствие общей положительной реактивности системы, что может привести к возникновению нового порядка и новых структур, образованных из элементов прежней, разрушенной системы. Таковы, к примеру, механизмы фазовых переходов вещества или образования новых социальных формаций.

Таким образом, можно сделать вывод, что самоорганизация в сложных системах, переходы от одних структур к другим, возникновение новых уровней организации материи сопровождаются нарушением симметрии. При описании эволюционных процессов необходимо отказаться от симметрии времени, характерной для полностью детерминированных и обратимых процессов в классической механике. Самоорганизация в сложных и открытых – диссипативных системах, к которым относится и жизнь, и разум, приводят к необратимому разрушению старых и к возникновению новых структур и систем, что наряду с явлением неубывания энтропии в закрытых системах обуславливает наличие «стрелы времени» в Природе.

ЛИТЕРАТУРА

1. Хакен Г. Синергетика. Иерархия неустойчивостей в самоорганизующихся системах и устройствах / Г. Хакен. – М.: Мир, 1985. – 412 с.
2. Майнцер К. Сложносистемное мышление / К. Майнцер. – М.: URSS, Книжный дом “ЛИБРОКОМ”, 2008. – 463 с.
3. Структуры и хаос в нелинейных системах / Ахромеева Т.С., Курдюмов С.П., Малинецкий Г.Г., Самарский А.А. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2007. – 484 с.
4. Кузнецов С.П. Динамический хаос / С.П. Кузнецов. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2006. – 354 с.
5. Sprott J.C. Chaos and Time – Series Analysis / J.C. Sprott. – Oxford University Press, 2003. – 507 pp.
6. Хакен Г. Информация и самоорганизация. Макроскопический подход к сложным системам / Г. Хакен. – М.: URSS, 2005.
7. Системный анализ и принятие решений. Словарь-справочник. – М.: Высшая школа, 2004. – 614 с.
8. Пригожин И. Порядок из хаоса. Новый диалог человека с природой / И. Пригожин, И. Стенгерс. – М.: URSS, 2005. – 236 с.
9. Цаленко М.Ш. Семантические и математические модели баз данных. / М.Ш. Цаленко // Итоги науки и техники. Информатика. – Том 9. – М.: ВИНТИ, 1985. – 207 с.
10. Цаленко М.Ш. Моделирование семантики в базах данных / М.Ш. Цаленко. – М.: Наука, 1989. – 283 с.
11. Межуев В.И., Востров Г.Н. Проблемы построения информационных систем над предметными областями. / В.И. Межуев, Г.Н. Востров // Научно-технический журнал “Искусственный интеллект”, 2008. – № 4, . – С. 736-746.
12. Хакен Г. Принципы работы головного мозга / Г. Хакен. – М. ПЕРСЭ, 2001. – 329 с.
13. Владзимирский А.В. Телемедицина / А.В. Владзимирский. – Донецк, Ноулидж, 2011. – 436 с.
14. От нейрона к мозгу / Дж.Г. Николс, А.Р. Мартин, Б.Дж. Валлас, П.А. Фукс. – М.: URSS, 2008. – 672 с.
15. Олемский А.И. Синергетика сложных систем. Феноменология и статистическая теория / А.И. Олемский. – М.: URSS, 2009. – 379 с.

REFERENCES

1. Haken G. *Sinergetika. Ierarhija Neustojchivostej v Samoorganizujushhihsja Sistemah I Ustrojstvah*. Moskow: Mir, 1985. Print.
2. Majncer K. *Slozhnosistemnoe Myshlenie*. Moskov: URSS, Knizhnyj Dom “LIBROKOM”, 2008. Print.
3. Ahromeeva T.S., Kurdjumov S.P., Malineckij G.G., and Samarskij A.A. *Struktury I Haos v Ne-linejnyh Sistemah*. Moskov: FIZMATLIT, 2007. Print.
4. Kuznecov S.P. *Dinamicheskij Haos*. Moskov: FIZMATLIT, 2006. Print.
5. Sprott J.C. *Chaos and Time – Series Analysis*. N.p.: Oxford UP, 2003. Print.
6. Haken G. *Informacija I Samoorganizacija. Makroskopicheskij Podhod K Slozhnym Sistemam*. Moskov: URSS, 2005. Print.
7. *Sistemnyj Analiz I Prinjatie Reshenij. Slovar' Spravochnik*. N.p.: Vysshaja Shkola, 2004. Print.
8. Prigozhin I., and Stengers I. *Porjadok Iz Haosa. Novyj Dialog Cheloveka S Prirodoj*. N.p.: URSS, 2005. Print.
9. Calenko M.Sh. *Semanticheskie I Matematicheskie Modeli Baz Danyh*. Vol. 9. VINITI: Itogi Nauki I Teh Niki. Informatika, 1985. Print.
10. Calenko M.Sh. *Modelirovanie Semantiki v Bazah Danyh*. Moskov: Nauka, 1989. Print.
11. Mezhuev V.I., and Vostrov G.N. "Problemy Postroenija Informacionnyh Sistem Nad Predmetnymi Oblastjami." *Nauchno-tehnicheskij Zhurnal "Iskusstvennyj Intellekt"* 4 (2008): 736-46. Print.
12. Haken G. *Principy Raboty Golovnogo Mozga*. Moskov: PERSJe, 2001. Print.
13. Vladzimirskij A.V. *Telemedicina*. Doneck: Noulidzh, 2001. Print.
14. Nikols Dzh.G., Martin A.R., Vallas B.Dzh., and Fuks P.A. *Ot Nejrona K Mozgu*. Moskov: URSS, 2008. Print.
15. Olemskij A.I. *Sinergetika Slozhnyh Sistem. Fenomenologija I Statisticheskaja Teorija*. Moskov: URSS, 2009. Print.