

## КОМПЬЮТЕРНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ФИЗИЧЕСКИХ АСПЕКТОВ РЕФЛЕКСИВНОСТИ МЫШЛЕНИЯ ЧЕЛОВЕКА

**Андрюхин А.И., Кузнецов А.В.**

Кафедра ПМИИ, ДонНТУ,

andr@r5.dgtu.donetsk.ua

### **Abstract**

*Andruckin A.I., Kuznezov A.V.. Computer research of physical aspects reflexivities of thinking of the person. Oscillatory neural networks are considered. The conditions when oscillations can appear and be synchronized are described. The results of mathematical research and simulations are considered.*

### **Введение**

В статье рассматриваются возможности компьютерного моделирования рефлексивности человеческого сознания как физического процесса взаимодействия собственных колебаний нейронной сети мозга с внешней средой. Модель волновой природы сознания позволяет построить распределенную ассоциативную память, что согласуется с известной гипотезой частотного представления и обработки информации в биологических системах. Взаимодействие с внешней средой на частотном уровне обеспечивает вероятностную природу мышления и повышает его возможности при решении неординарных задач. Модель нейрона представлена системой обыкновенных дифференциальных уравнений и дана частичная классификация базовых осцилляторных компонентов как групп взаимосвязанных нейронов. Математической основой представления шумового воздействия внешней среды на нейронную сеть является уравнение Фоккер-Планка-Колмогорова.

### **Психологический и философские аспекты анализа рефлексии**

Согласно [1] рефлексия (от позднелатинского reflexio – обращение назад): размышление, самонаблюдение, самопознание; форма теоретической деятельности человека, направленная на осмысление своих собственных действий и их законов. Рефлексия – принцип человеческого мышления, направляющий его на осмысление и осознание собственных форм и предпосылок; способствует формированию самосознания, «оборачивая» сознание само на себя. Многие учёные, философы считают, что рефлексия отличает человека от животного и рассматривают её как универсальный способ анализа самосознания. Так Т. де Шарден усматривал основное различие между человеком и животным в степени развития рефлексии [2]. Представляя самосознание аспектом сознания, Выготский подчеркивал значение рефлексивности как конституирующей характеристики сознания, указывая, что последнее возникает лишь с появлением самосознания. При рассмотрении в своих ранних работах механизмов сознания Выготский сближал сознание и самосознание [3,4].

Важный момент в развитии рефлексии представляет появление вербального отражения собственных процессов и действий, выступающего, по Выготскому, основой для развития самосознания и высших волевых регулирующих механизмов. Он указывал, что переход к словесной интроспекции повторяет в общих чертах аналогичное развитие восприятия внешнего мира – переход от «бессловесного и, следовательно, несмыслового восприятия» [3,4] к восприятию смысловому, словесному, предметному, т. е. обобщенному. Поэтому и переход к словесной интроспекции не означает ничего другого, кроме начинающегося обобщения внутренних форм активности.

Развитие речевой функции в процессе гоминизации открыло перед центральной нервной системой совершенно новые возможности для формирования рефлексивных, моделирующих и управляющих механизмов. Самой принципиальной из них оказалась возможность сколь угодно точной рефлексии сколь угодно высокого уровня, достижимой лишь на уровне социума, а не индивидуума.

Самосознание играет особую роль в процессе получения знания – это знание особого рода. Сократ считал, что главное – это самосознание (духовное самосовершенствование). Согласно взглядам Платона и Аристотеля, самосознание – это атрибут Бога, единство мыслимого и мысли. Выготский обозначал термином «самосознание» следующий этап развития рефлексивных процессов, основанный на понятийном мышлении. Он выделял самосознание как особый, достаточно поздний этап в развитии сознания и личности. Оно понималось им, как более высокий психический синтез, проявляющийся в образовании новых связей между различными функциями – третичных высших функций. Новизна их обусловлена тем, что в их основе лежит рефлексия, отражение собственных процессов в сознании. Это ведёт к перестройке всей структуры сознания человека: его личность начинает участвовать в каждом отдельном акте, опосредовать связи функций между собой. Согласно Выготскому, в то время как психологические системы (включающие внимание, память, мышление и другие функции) строятся на вторичных (по отношению к определяемым конституцией организма) биологических связях, личность (с ее самосознанием, рефлексией, самооценкой) – на особых, третичных связях [4]. Существование этих третичных связей проявляется в том функциональном значении, которое отдельные функции имеют в общей структуре личности (например, сновидение в поведении примитивного человека выполняет ту же функцию, которую в нашем поведении выполняет мышление).

Философский аспект анализа самосознания связан с выявлением его гносеологической сущности, выяснением его соотношения с объективным бытием личности [5]. Осознавая существование мира объектов, того, что находится вне нас, мы отделяем себя от внешнего мира. Там – объект, а здесь – Я. В процессе осознания объекта всегда присутствует скрытая черта – не-Я. Возникает полярное взаимоотношение объекта (не-Я) и субъекта (Я). Принадлежность образов объектов именно моему Я вызывает у человека представление о себе как об особой реальности, противостоящей миру объектов и вместе с тем, отличной от других подобных ему Я.

Выделив свое Я, мы можем смотреть на себя как на нечто самостоятельное по отношению к себе же, т. е. как на объект. Способность к самоотражению своего Я включает в себе и одно из важнейших оснований объективного исследования самосознания. В том, как личность представляет свое Я, отражается мера ее осознания себя и уровень зрелости личности в целом. Вместе с тем, в способности взглянуть на себя, как на нечто иное, и коренятся трудности исследования самосознания, так как «вынесение» личностью себя «вовне» связано с целым рядом субъективных ее

особенностей, часто препятствующих созданию объективного представления о своем Я.

При детальном рассмотрении рефлексии и самосознания проявляются их необычные свойства. Многие философы [5] указывали, что познающий субъект не может быть объектом собственного опыта, т. е. объектом собственного знания. Знание, опыт направлены на мир внешних объектов, и мы можем знать состояния и отношения физических предметов. Если я познаю объект, то могу ли я одновременно познавать и самого себя, познающего и акт собственного познания? Не приводит ли это к логическому парадоксу, когда высказывание в качестве одного из референтов имеет самого себя? Так, например, мои глаза принципиально не могут видеть самих себя и процесс собственного видения; линзы перископа отображают окружающее, но не могут отобразить самих себя.

### ***Физические и нейрофизиологические аспекты анализа рефлексии***

Свойства рефлексии и взаимодействия собственных колебаний нейронной сети коры головного мозга человека с внешней средой совпадают. Так нематериальность мышления подсказывает, что носителем мышления могут быть волны – как элементы, которые в основном переносят энергию, а не вещество. Фреге в известной работе указал на непринадлежность мысли ни объектам внешнего мира, ни представлениям внутреннего мира человека[6].

Изучение ОНС стимулируется результатами нейрофизиологических экспериментов, указывающих на существенную, а возможно и центральную роль колебательных процессов в работе нервной системы. Одна из центральных гипотез состоит в том, что процесс обработки информации в нервной системе может описываться в терминах синхронизации активности различных нейронных структур. Эта гипотеза была сформулирована в работах известных русских нейрофизиологов и основные разработки в этой области приведены в библиографии обзора [ ]. Там указывается, что большой интерес вызывают экспериментальные данные по исследованию тета-ритма — низкочастотной колебательной активности (4-10 герц). Одна из обсуждающихся гипотез состоит в том, что тета-ритм участвует в процессе отбора и запоминания информации. Предметом интенсивного изучения также являются нейронные механизмы управления ритмическими движениями на уровне спинного мозга. В обонятельной и зрительной зонах коры могут возникать высокочастотные колебания (40–60 герц) в ответ на внешнюю стимуляцию, причем в определенных условиях наблюдается синхронизация колебаний в далеких друг от друга участках коры. Отмечается принципиальная важность временной когерентности активности при обработке информации мозгом. Утверждается при обсуждении проблемы сознания, что с теоретической точки зрения легче всего добиться одновременности импульсации, используя осцилляции, так как считается, что сознание предполагает наличие механизма внимания и кратковременной памяти, которые действуют в такой последовательности: посредством внимательного механизма достигается синхронная активность (в виде осцилляции) соответствующих нейронов, и, в свою очередь, эти осцилляции активируют кратковременную память. При рассмотрении высокочастотных осцилляций считают, что посредством синхронной колебательной активности в мозге подсознательно на ранних стадиях обработки информации происходит выделение объекта из фона (во время так называемой «предвнимательной» обработки). Этим не ограничивается возможная роль осцилляторной активности. Осцилляции могут быть необходимы для достижения высокого уровня нейронной активности, при котором только и активируются некоторые передающие пути мозга:

1. При долговременной модификации синапсов, если для этого необходимо многократное повторение паттерна, подлежащего запоминанию.
2. Как основа для получения сложных динамических режимов, поскольку система взаимодействующих осцилляторов обладает богатым набором таких режимов, включая хаос [8].

Высказана гипотеза о том, что при обработке информации мозгом интеграция отдельных признаков объекта в единый образ на нейронном уровне означает коррелированную импульсацию нейронов.

Поэтому представляют интерес осцилляторные нейронные сети (ОНС) и оценка условий возбуждения колебаний в них и воздействие колебаний на распространение основных физических сигналов, следствием которых они являются. Существующий математический аппарат изложен в [5-8].

Аппаратурная реализация ОНС зиждется на современном состоянии и представлении об искусственных нейронных сетях, отраженных на рис. 1 и в обзоре[9].

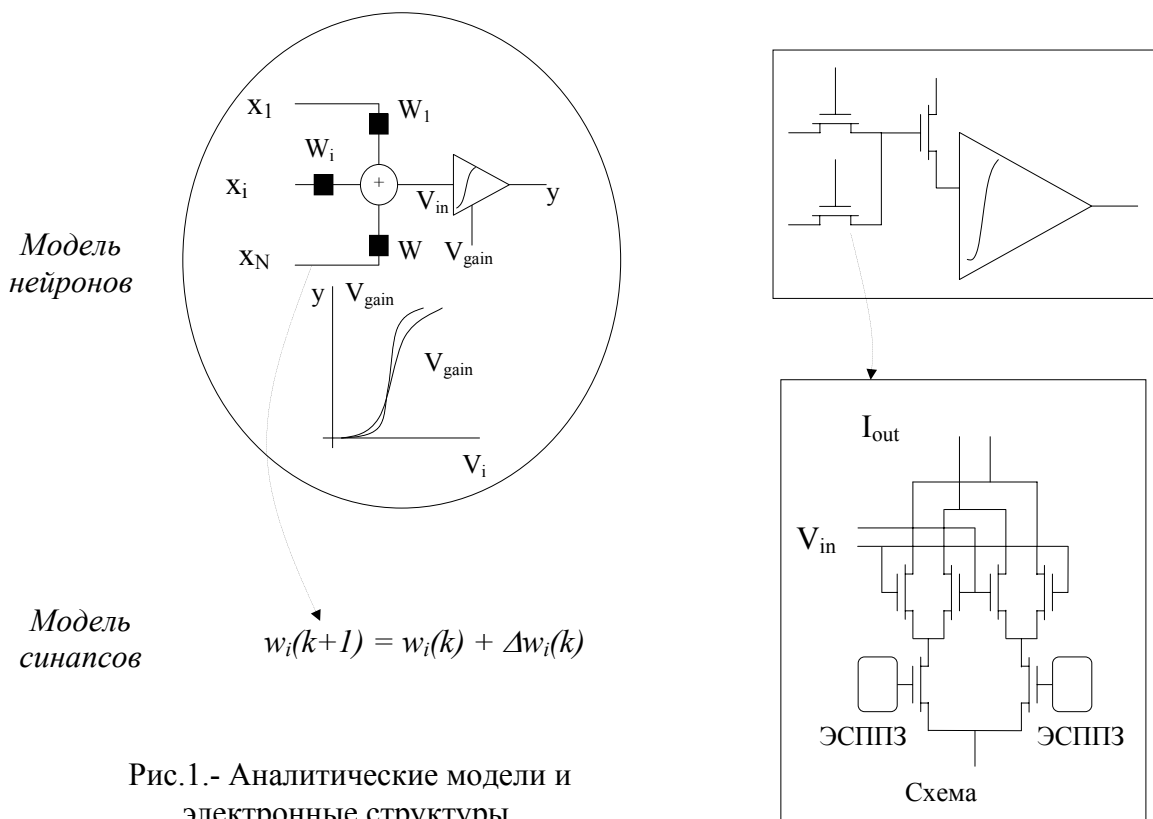


Рис.1.- Аналитические модели и электронные структуры.

### Компьютерное исследование рефлексии

Выделим два подхода к этой проблеме, как представление рефлексии на дискретном уровне и моделирование рефлексии в распределённых непрерывных средах (ОНС и др.).

Первый метод развивается в русле автоэпистемологических рассуждений, основой которых является построение дерева альтернативных возможностей, полный перебор вариантов которого или поиск с известными правилами его направленности приводит к требуемому результату. Рассмотрение вопросов, связанных с реализацией системы самодиагностики на дискретном уровне является предметом работы [10]. Т. к.

данный подход полностью формален (логический вывод осуществляется на системах булевых уравнений), то ему присущи и типичные ограничения формальных систем. Булева логика часто не позволяет адекватно охарактеризовать объект и её применение приводит к разного рода парадоксам Ришара, Греллинга, Рассела. Основной причиной этого является проблема самоприменимости или самоотносимости, т.е. невозможно средствами некоторой формальной системы исследовать её саму или иначе, некая сущность, объект, множество, система не может быть охарактеризована через совокупность, которой она принадлежит.

Ограниченность возможностей современных компьютеров реализованных на принципах твердотельной электроники вызвало использование бионического подхода и развитие идей и методов функциональной электроники и поэтому второй подход связан с отражением рефлексии в непрерывных средах, в частности, в осцилляторных нейронных сетях [7,11]. В этом случае рефлексии можно интерпретировать в терминах колебаний сети связанных осцилляторов как, например, взаимодействие этих осцилляторов в присутствии шума.

### **Математические модели осцилляторной активности**

Элементарная компонента нервной системы – нейрон – является сложным устройством для обработки воспринимаемой им информации и функции его полностью адекватно не определены [12]. Даже представление функционирования нейрона в виде оператора свертки, который дает большие возможности, является упрощающим, не говоря об обычном его представлении в виде линейного порогового сумматора по аналогии с элементами цифровой схмотехники. В [12] указано, что оператор свертки позволяет реализовать функционал Винера  $F(a) = \int \varphi(t)dw(t,a)$ , где  $w(t, \alpha)$  – винеровская функция броуновского движения,  $\alpha$  – параметр броуновской траектории. Его использование позволяет выполнять операции анализа спектров, прогнозирования рядов, кодирования и декодирования. В сущности, возможен натуральный физический эксперимент, который позволяет определить понятие смысла для компоненты нейросети, как интерпретации ею состояния других компонент согласно своей модели внешнего мира.

Моделирование нейронных сетей должно учитывать частотную составляющую сигналов в них, что следует из рассмотрения стандартной схемы соединения  $N$  нейронов  $H_i$ , представляющих собой соединение сумматоров взвешенных сигналов [13]. Приходим к следующей линейной однородной системе дифференциальных уравнений с постоянными коэффициентами:

$$\Delta t \frac{\partial y_i}{\partial t} = a_{i1} y_1 + a_{i2} y_2 + \dots + a_{in} y_n \quad (1)$$

$i=1, n$

( $a_{11}, a_{12}, \dots, a_{nn}$  – веса сигналов,  $\Delta t$  – характерное время срабатывания нейрона).

Известно, что такая система имеет частные решения вида  $y_i = A_i e^{kt}$ ,  $i=1, n$  причём постоянная  $k$  удовлетворяет характеристическому (вековому) уравнению  $(A - kI)y = 0$ . Общее решение системы дифференциальных уравнений имеет вид:

$$y_i = A_{i1}(t)e^{k_1 t} + A_{i2}(t)e^{k_2 t} + \dots + A_{in}(t)e^{k_n t}, i = 1, n$$

Если коэффициенты  $a_{11}, a_{12}, \dots, a_{nn}$  вещественны, то комплексные корни характеристического уравнения будут попарно сопряжёнными, например,  $k_s = \alpha_s + \beta_s i$  и

$k_{s+1} = \alpha_s - \beta_s i$ . В этом случае в записанной выше фундаментальной системе функции  $e^{a+ib}$ ,  $e^{a-ib}$  можно заменить вещественными функциями  $e^{\alpha} \cos(\beta t)$  и  $e^{\alpha} \sin(\beta t)$  (здесь  $\alpha, \beta$  – действительные и мнимые части комплексно-сопряжённых корней характеристического уравнения).

Можно определить  $a_{ij}$  таким образом, чтобы решением являлись периодические движения с частотой, зависящей от  $Im(\lambda)$  по замкнутой траектории вокруг стационарного состояния. Известно, что, начиная с  $N=3$ , картина поведения решений системы резко усложняется по сравнению с двумерным вариантом [14]. В частности, возможно появление аттракторов, которые характеризуют динамику трехмерного пространства состояний и не имеют аналогов в двумерном случае.

Важным примером является моделирование функционирования головного мозга, который рассматривается как совокупность взаимосвязанных нелинейных осцилляторов. У связанных нелинейных осцилляторов возможна внутренняя взаимосвязь между амплитудой и фазой (или частотой) [14,15]. Возникает проблема определения функции  $M$ , дискретно суммирующей сигналы  $A \sin \omega t$ . Она задается пользователем, исходя из эмпирических и физических соображений. В случае равенства частот и фаз всех или конечного числа групп осцилляторов легко получить выражения для  $M$ . Наиболее интересны для исследований варианты самосинхронизации групп нейронов, которые можно интерпретировать как «озарение» и т.п.

### **Аналитическое определение межнейронных связей в осцилляторе.**

#### **3-х нейронный осциллятор**

Рассмотрим осциллятор, состоящий из трёх нейронов с собственной частотой  $f$ . Его характеристическое уравнение запишем так:  $(y - fI)(y + fI)(y - 0) = 0$ . Раскрыв скобки получим:

$$y^3 + yf^2 = 0.$$

Зададим осциллятор системой дифференциальных уравнений:

$$\frac{\partial y_i}{\partial t} = a_{i1}y_1 + a_{i2}y_2 + a_{i3}y_3, i = 1,3.$$

Характеристическое уравнение будет выглядеть так:

$$-y^3 + (a_{11}+a_{22}+a_{33})y^2 + (a_{12}a_{21}-a_{11}a_{22}+a_{13}a_{31}+a_{23}a_{32}-a_{11}a_{33}-a_{22}a_{33})y + (-a_{13}a_{22}a_{31} + a_{12}a_{23}a_{31}+a_{13}a_{21}a_{32}-a_{11}a_{23}a_{32}-a_{12}a_{21}a_{33}+a_{11}a_{22}a_{33}) = 0.$$

Коэффициенты  $a_{ij}$  найдём из условия равенства коэффициентов при соответствующих степенях переменной  $y$ :

$$\begin{aligned} -a_{13}a_{22}a_{31} + a_{12}a_{23}a_{31}+a_{13}a_{21}a_{32}-a_{11}a_{23}a_{32}-a_{12}a_{21}a_{33}+a_{11}a_{22}a_{33} &= 0, \\ a_{12}a_{21}-a_{11}a_{22}+a_{13}a_{31}+a_{23}a_{32}-a_{11}a_{33}-a_{22}a_{33} &=-f^2, \\ a_{11}+a_{22}+a_{33} &= 0. \end{aligned}$$

Т. к. мы имеем систему из 3-х уравнений относительно 9-ти неизвестных, то её необходимо доопределить. Зададим дополнительные условия:  $a_{11}/q=a_{21}=a_{31}=a$ ;  $a_{12}=a_{22}=a_{32}=b$ ;  $a_{13}=a_{23}=a_{33}=a$ . Матрица связей запишется так:

$$M = \begin{bmatrix} aq & b & a \\ a & b & a \\ a & b & a \end{bmatrix}$$

Характеристическое уравнение:  $(a^2 + ab - a^2q - abq)y + (a + b + aq)y^2 - y^3 = 0$ .

Отсюда имеем:

$$\begin{cases} b = \frac{1}{2}(-3a - \sqrt{a^2 - 4f^2}), \\ q = \frac{a + \sqrt{a^2 - 4f^2}}{2a} \end{cases} \quad \text{или} \quad \begin{cases} b = \frac{1}{2}(-3a + \sqrt{a^2 - 4f^2}), \\ q = \frac{a - \sqrt{a^2 - 4f^2}}{2a} \end{cases}$$

Задав конкретные значения для  $f$  и  $a$  с учётом неравенства  $a^2 \geq 4f^2$  (весовые коэффициенты должны быть действительными) получим значения для матрицы весов сигналов.

### ***N-нейронный осциллятор***

Для осцилляторов, состоящих из четырёх и более нейронов ( $n \geq 4$ ), сложность решений в общем виде резко возрастает и требует дополнительного задания  $n^2 - n$  ограничений на весовые коэффициенты. Однако для любого осциллятора, состоящего из  $n$  нейронов, можно найти разреженную матрицу в виде:

$$M = \begin{bmatrix} -\frac{a_1}{a_0} & -\frac{a_2}{a_0} & \dots & -\frac{a_n}{a_0} \\ 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \dots & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix}$$

где  $a_0, \dots, a_n$  – коэффициенты соответствующего характеристического уравнения:  $a_0 y^n + a_1 y^{n-1} + \dots + a_n y^0 = 0$ .

### ***Реализация аналогов базовых элементов булевой логики на основе осцилляторов***

Рассмотрим построение осцилляторов, выполняющие функции суммы частот (элемент ИЛИ), произведения частот (элемент И), разности частот вида  $C - f$ ,  $C \gg f$  (элемент НЕ).

Продemonстрируем технологию на примере построения четырёхнейронного осциллятора с собственными частотами, равными сумме, произведению и разности частот, входящих в систему исходных двухнейронных осцилляторов. Рассмотрим простейший осциллятор:

$$M_i = \begin{bmatrix} 0 & -f_i^2 \\ 1 & 0 \end{bmatrix}.$$

Объединим два таких осциллятора в систему с добавлением таких трех связей, чтобы получилась следующая матрица связей 4-нейронного осциллятора.

$$M = \begin{bmatrix} 0 & -f_0^2 & k_3 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \\ k_1 & 0 & 0 & -f_1^2 \\ k_2 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix}$$

Вековое уравнение данной матрицы:

$$\lambda^4 + \lambda^2(f_0^2 + f_1^2 - k_1 k_3) + \lambda f_1^2 k_2 k_3 + f_1^2 k_3 + f_0^2 f_1^2 = 0.$$

Приравнивая коэффициенты при соответствующих степенях  $\lambda$  векового уравнения и уравнения, составляемого по искомым собственным числам матрицы, найдём значения коэффициентов  $k_1, k_2, k_3$ .

Для суммы и произведения частот имеем уравнение:

$$\lambda^4 + \lambda^2(f_0^2 + f_0^2 f_1^2 + f_0 f_1 + f_1^2) + f_0^2 f_1^4 + f_0^4 f_1^2 + 2f_0^3 f_1^3 = 0.$$

Получим следующее решение:

$$k_1 = -\frac{f_1(2 + f_0 f_1)}{f_0(-1 + f_1^2 + 2f_0 f_1 + f_0^2)},$$

$$k_2 = 0,$$

$$k_3 = f_0^2(-1 + f_1^2 + 2f_0 f_1 + f_0^2).$$

Собственные значения матрицы при подстановке  $k_1, k_2, k_3: \{I f_0 f_1, -I f_0 f_1, I(f_0 + f_1), -I(f_0 + f_1)\}$ .

Для суммы и разности частот имеем уравнение:

$$\lambda^4 + \lambda^2(f_0^2 - 2c f_0 + f_1^2 - 2c f_1 + 2c^2) + f_0^2 f_1^2 - 2c f_0^2 f_1 + c^2 f_0^2 - 2c f_1^2 f_0 + 4c^2 f_1 f_0 - 2c^3 f_0 + c^2 f_1^2 - 2c^3 f_1 + c^4 = 0.$$

Получим следующее решение:

$$k_1 = -\frac{2f_1^2}{c^2 - c f_1 - c f_0 + 2f_0 f_1},$$

$$k_2 = 0,$$

$$k_3 = \frac{c(c^3 - 2c^2 f_1 + c f_1^2 - 2c^2 f_0 + 4c f_0 f_1 - 2f_1^2 f_0 + c f_0^2 - 2f_1 f_0^2)}{f_1^2}.$$

Собственные значения матрицы при подстановке  $k_1, k_2, k_3: \{I(c-f_0), -I(c-f_0), I(c-f_1), -I(c-f_1)\}$ .

Отметим, что на базе данных осцилляторов можно реализовать более сложные функции, в частности, легко реализовать оператор свёртки.

### Шум и рефлексия

Известно на примере коры человеческого мозга, что при выполнении интеллектуальных заданий ЭЭГ нормального человека выглядит хаотической [8]. Там же указывается, что регулярная и упорядоченная ЭЭГ является признаком эпилепсии. Даже в отсутствии распространения нервных импульсов происходят ритмические шумообразные изменения потенциала из-за флуктуаций клеточного мембранного потенциала. Поэтому можем считать, что рефлексия – это объединение собственных колебаний нейронной системы мозга с внешними шумами, которые переводят её алгоритм функционирования в разряд вероятностных и повышают её адаптивность. «Ненормальный» режим работы автомата повышает его мощность, расширяя алфавит



его выходных сигналов и состояний. Естественно, что при этом возможно решение большего круга задач с некоторой вероятностью на данном автомате по сравнению с детерминированным режимом его работы. Осцилляторная активность элементов нейронной сети, а также различного рода флуктуации, шумы, обусловленные свойствами среды, играют существенную роль в работе нервных сетей, однако, как правило, игнорируются при исследовании искусственных нейронных сетей. Поведение ОНС, состоящей из  $N$  нейронов, в простейшем случае мы описывали системой линейных однородных дифференциальных уравнений с постоянными коэффициентами. Рассматривая поведение нейронной сети такого типа в присутствии шума, получаем систему стохастических дифференциальных уравнений в векторном виде :

$$dY(t) = AY(t)dt + B\xi(t)dt,$$

где  $A$  – матрица связей между нейронами сети,  $Y(t)$  – вектор выходных сигналов нейронов как функция времени,  $B$  – матрица «мощности» шума (в простейшем случае – единичная);  $\xi(t)$  – вектор случайного шума [8,16].

### Представление шума винеровским процессом

Для представления шума использовали винеровский процесс [12], которому соответствует уравнение Фоккера-Планка следующего вида:

$$\frac{\partial}{\partial t} p(w, t | w_0, t_0) = \frac{1}{2} \frac{\partial^2}{\partial w^2} p(w, t | w_0, t_0) .$$

Решение данного СДУ- это гауссовское распределение с параметрами  $\langle W(t) \rangle = w_0$ ,  $\langle [W(t) - w_0]^2 \rangle = t - t_0$ , которое имеет вид :

$$p(w, t, | w_0, t_0) = \frac{1}{\sqrt{2\pi(t-t_0)}} e^{-\frac{(w-w_0)^2}{2(t-t_0)}} .$$

Аналогичный вид имеем для винеровского процесса многих переменных.

Рассмотрим работу осциллятора с собственной частотой  $f = 0.070711$  Гц и представленного матрицей связей между нейронами:

$$M = \begin{bmatrix} 0 & 2.0 & -0.15 & 0 \\ -0.15 & 0 & 0 & -0.15 \\ 0.85 & 0 & 0 & 0.85 \\ 0 & 2.0 & 0.85 & 0 \end{bmatrix}$$

Особый интерес представляет исследование реакции осциллятора на многочастотный входной сигнал, рассчитываемый по формуле:

$$X_i(t) = k_i \prod_j^{M_i} \sin(\omega_j t + \varphi_j), i = \overline{1..N},$$

где  $X_i(t)$  – входной сигнал  $i$ -го нейрона;  $k_i$  – амплитуда входного сигнала  $i$ -го нейрона;  $M_i$  – количество сигналов на входе  $i$ -го нейрона;  $\omega_j$  – циклическая частота  $j$ -го сигнала, Гц;  $t$  – время, сек.;  $\varphi_j$  – фаза  $j$ -го сигнала;  $N$  – количество нейронов.

Рассмотрим выходы определённого ранее четырёхнейронного осциллятора в присутствии на его первом входе сигнала, составленного из трёх синусоид. Пусть все

начальные фазы будут нулевыми:  $\varphi_j=0$  для всех  $j$ . Зафиксируем значения двух частот, а значение третьей будем варьировать, добиваясь возникновения резонанса на выходе осциллятора. Данный сигнал рассчитывается по формуле  $X_0(t) = \sin(\omega t) * \sin(0.141422t) * \sin(0.282844t)$ .

Из рис. 2 видно, что амплитуда сигнала на выходе осциллятора значительно повышается при наличии на входе сигнала с частотой, близкой к собственной частоте осциллятора. Наблюдаемый при этом эффект резонанса можно рассматривать как аналог активации нейронов ИНС.

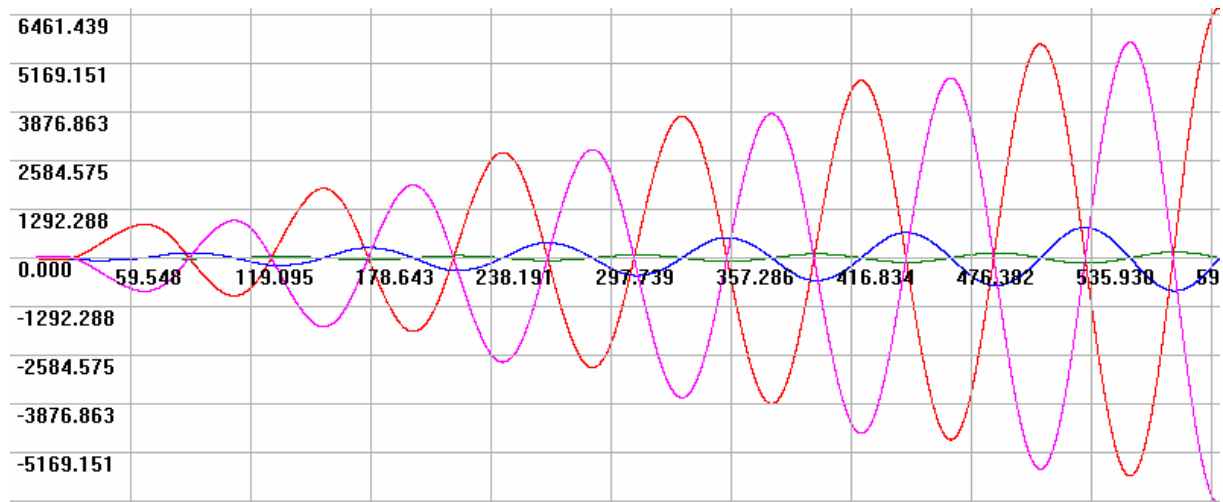


Рисунок 2.- График выходов 4-нейронного осциллятора ( $\omega=0.070711$ ).

При подаче на входы нейронов данного осциллятора случайных возмущений, подчиняющихся равномерному закону распределения с параметрами  $M_\xi = 0, D_\xi \approx \Delta t$  на выходах первого и четвертого нейронов по прошествии 100 – 300 секунд наблюдается достаточно мощный выходной сигнал, превосходящий по амплитуде входные возмущения на несколько порядков. В зависимости от реализации случайного входного воздействия наблюдаются различные выходные реакции нейронов.

Для получения достоверных данных о вероятности активизации нейронов сети и переходе их в состояния, характеризующиеся некоторым постоянным смещением в выходной реакции, превышающим заданный порог, было проведено 100000 измерений. Шаг интегрирования составлял 0.04 секунды, время моделирования – 15000 секунд, амплитуда шума –  $0.0001\Delta t$ . Рис.3 демонстрирует вероятность активизации нейронов (превышения уровня сигнала на выходе заданного порогового значения: для первого нейрона – 10000, для второго нейрона – 2, для третьего нейрона – 20, для четвертого нейрона – 5000).

**Заклучение**

Построенная математическая модель отличается от моделей в обзоре [7] учетом и интерпретацией шумового воздействия на осцилляторную активность ОНС. На основе компьютерного моделирования этой математической модели получено качественное подтверждение ее основных положений. Получены для конкретной ОНС и реализации случайного шумового процесса, вероятность перехода ОНС в активное состояние, которое определяется конкретным порогом и индуцируется данным шумом. Это пороговое значение в работе применительно к процессам нервной системы интерпретируется, как пороговое значение самосознания.

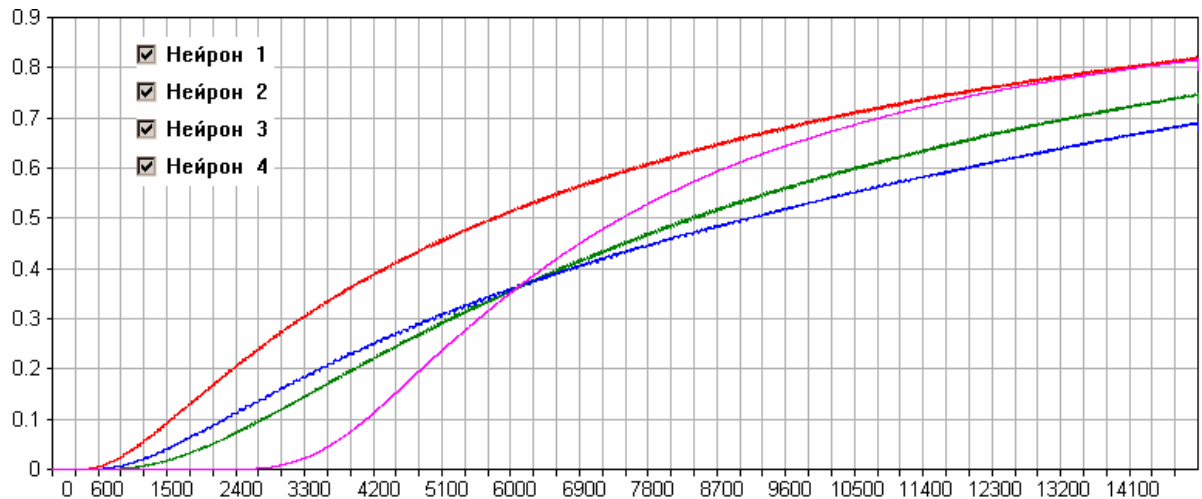


Рисунок 3.- Вероятность срабатывания нейронов

### Литература

1. Философский энциклопедический словарь.-М.:Сов.энциклопедия, 1989.- 815 с.
2. П.Т. де Шарден. Феномен человека.-М.:Наука,1987.-240 с.
3. Выготский Л. С. Сознание как проблема психологии поведения. Собр. соч. Т. 1. - М.: Педагогика. - С. 78-98.
4. Выготский Л. С. Мышление и речь.Собр. соч. Т. 2. - М.: Педагогика, 1982. - С. 179.
5. Лекторский В.А.Субъект, объект, познание.-М.:Наука,1980,356 с.
6. Г.Фреге.Мысль:логическое исследование//Философия,логика, язык.- М.:Прогресс, 1987. -С.18-47.
7. Г.Н.Борисюк и др.Осцилляторные нейронные сети.Математические результаты приложения// Математическое моделирование, 1992. - № 1. - С.3-43.
8. Дж.Николис. Динамические иерархические системы.Эволюционное представление.- М.:Мир., 1989. - 488 с.
9. Дапonte П., Гримальди Д.Искусственные нейронные сети в измерениях//Приборы и системы управления, -1999. -№ 3. - С. 48-64.
10. Андрюхин А. И., Кузнецов А. В. Булевы модели самодиагностирования дискретных систем // Известия ТРТУ-ДонГТУ №1 апрель 2001 года. - С. 168-175.
11. Кузнецов О.П. Неклассические парадигмы в искусственном интеллекте // Теория и системы управления. 1995. - № 5. - С. 3-23.
12. Дорфман Я.Г., Сергеев В.М. Нейроморфогенез и модели мира в сетях нейронных компьютеров // Интеллектуальные процессы и их моделирование. М.: Наука, 1987. - С. 39-65.
13. Андрюхин А.И., Недбайло С.В.Моделирование процессов в сетевых структурах// Искусственный интеллект.-2000.-N 1.-с.23-29.
14. М.И.Рабинович, Д.И.Трубецков.Введение в теорию колебаний и волн.-М.:Наука. Гл.ред.физ-мат.лит.,1984.-432 с.
15. Г.Хакен.Синергетика:Иерархии неустойчивостей в самоорганизующихся системах и устройствах:Пер.с англ.-М.:Мир,1985.-423 с.
16. К.В.Гардинер. Стохастические методы в естественных науках:Пер.с англ.-М.:Мир. 1986.-528 с.