

**А.В.Лобода, к.ф.-м.н., Н.Г. Сербов, к.г.н., А.А.Свинаренко, к.ф.-м.н.,  
Т.Б.Перелыгина, асп.**

*Одесский государственный экологический университет*

## **ДИНАМИКА МНОГОСЛОЙНОЙ НЕЙРОННОЙ СЕТИ НА ОСНОВЕ ФОТОННОГО ЭХА : ЧИСЛЕННАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ С ВХОДНЫМ ЗАШУМЛЕННЫМ ПАТТЕРНОМ**

*Моделируется динамика многослойных нейронных сетей на основе эффекта фотонного эха и приводятся результаты компьютерных экспериментов для нейросетей с входным импульсом с шумом.*

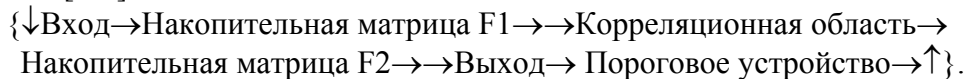
**Ключевые слова:** динамика нейронных сетей, эффект фотонного эха, входной импульс с шумом

**Введение.** В последние годы широкое развитие получила область исследований, лежащая на стыке фото- и нейроэлектроники, нанотехнологий, нелинейной оптики и информационных технологий. Возникли заманчивые перспективы создания принципиально новых наносистем оптической обработки информации, построения фотонных цифровых и аналоговых процессоров. Совершенно уникальным открытием представляем будущее создание квантовых машин Карно и фотонных наноприборов. Разработка оптических компьютеров, в которых носителем информации являются только фотонные пучки, исключает необходимость многократного преобразования электрической энергии в световую и обратно. Разумеется, прогресс в указанных разработках связан, в частности, с созданием оптических элементов вычислительной техники на основе феномена оптической бистабильности с возможностью реализации весьма эффективного режима стохастического резонанса. Особое интерес в этом смысле вызывает использование современных методов и технологий нелинейной оптики для создания нейронно-сетевых компьютеров, предназначенных для решения нерегулярных задач, распознавания сложных образов, моделирования интеллекта и т.д. Подробные обзоры современных разработок в области создания нейрокомпьютеров, т.е. физических реализаций моделей нейронных сетей, можно найти в серии статей и материалов конференций [1-5]. Важно подчеркнуть, что, хотя известный прогресс в изучении различных моделей оптических нейронных сетей достигнут, тем не менее, многие ключевые вопросы, имеющие отношение к их основным динамическим характеристикам, моделей функционирования до сих пор далеки от своего адекватного разрешения. Особенно это касается нейронных сетей на основе фотонного эха [4-9]. Использование эффекта фотонного эха (мультифотонного эха) представляет собой новый физический принцип реализации нейронной сети для систем оптической обработки информации. К числу крайне актуальных задач относится здесь, в частности, моделирование динамики нейросетевых систем на основе фотонного эха с подачей на вход системы так называемых зашумленных паттернов.

Настоящая работа продолжает наши исследования по моделированию динамики многослойной нейронной сети на основе фотонного эха, обусловленного сверхтонкой структурой состояний двухуровневых атомных систем и формируемого возбуждающими импульсами различной формы [5-11]. В [5,6] методами объектно-ориентационного программирования была выполнена программная реализация новых численных моделей 3-слойных нейронно-сетевых систем на основе фотонного эха и проведены компьютерные эксперименты с целью выяснения оптимально-информационных возможностей искомым систем в задачах распознавания образов и

сложных сигналов (см. также [7–11]). В данной статье приводятся результаты компьютерных экспериментов по моделированию динамики 5-слойной нейронной сети с использованием в качестве входного зашумленного солитон-подобного импульса.

**Численная реализация нейросети на основе фотонного эха.** Основные аспекты теории нейронно-сетевых систем на основе фотонного эха изложены ранее, в частности, в работах [5-9]. Поэтому ниже мы ограничим себя кратким изложением лишь ниже основополагающих аспектов численной реализации модели нейросети на основе фотонного эха. Важным моментом является использование схемы внутреннего произведения как одного из перспективных подходов к реализации оптической нейронной сети с хэббовским правилом обучения матрицы [1]. Принципиальная оптическая схема для обработки последовательности образов  $\xi^1, \dots, \xi^p$  имеет следующий вид [5-8]:



Первый импульс имеет равную единице амплитуду на всей плоскости среды, второй определяет векторы памяти, поступающие в виде вертикальных столбцов и обеспечивающие накопление в среде матриц памяти  $F_1 = F_2$  размером  $(N \times p)$ , а третий импульс, амплитуда которого определяется распознаваемым одномерным образом, поступает на вход системы и равномерно распределяется по среде в горизонтальном направлении. В результате возникают стимулированные эхо- сигналы, которые собираются оптически в горизонтально расположенный одномерный массив в корреляционной области. На первом этапе вычисляются внутренние произведения между входным вектором и векторами памяти.

Выражение для амплитуды сигнала стимулированного фотонного эха имеет классический вид

$$u(m) \sim \sum_j \xi_j^m \xi_j^{in}.$$

Внутренние произведения взвешивают накопленные в матрице  $F_2$  соответствующие векторы памяти  $\xi^1, \dots, \xi^p$ . Эта операция также приводит к возникновению сигналов стимулированного эха, которые далее суммируются, приводя к одномерному распределению с амплитудой

$$s_i \sim \sum_m u(m) \xi_{ii}^m = \sum_m (\xi_i^m) \sum_j \xi_j^m \xi_{ij}^{in}.$$

Искомые соотношения, а также пороговые преобразования и обратная связь определяют динамику оптической нейронной сети Хопфилда с хэббовской матрицей связи. Один из важных преимуществ реализации нейросети, основанной на эффекте фотонного эха, есть возможность замены разрешения образов памяти в пространстве разрешением во времени. В результате это приводит к возможности обработки двумерных оптических массивов. Учет эффекта запаздывания в динамике сети производится в рамках стандартной схемы (см. [5,6]).

**Результаты компьютерных расчетов и выводы.** На основе разработанного нами ранее пакета программ численного моделирования динамики оптической нейронной сети (на основе фотонного эха) со следующими ключевыми характеристиками: многослойность, возможность введения обучения, обратной связи и контролируемых оптических шумов [5,6], была проведена серия компьютерных экспериментов по моделированию динамики 5-слойной нейросети с входным зашумленным солитон-подобным импульсом

$$f(\tau) = |A_0|^2 ch^{-1}(b\tau),$$

где  $A_0$  и  $b$  - параметры импульса. В [6-8] на указанного пакета проводилось численное моделирование оптической нейронной сети для распознавания серии образов различной сложности, формы и т.д. (параметры сети: число слоев  $N=3$ , число образов  $p=320$ ). В данном расчете нами впервые апробирована 5-слойная нейронная сеть с числом образов 640 с введением в динамику сети элементов шума. В качестве нейронной функции использована функция вида:  $f(x) = 1/[1 + \exp(-\delta x)]$ . Остальные параметры указаны в [6-8]. На рис.1 приведены результаты работы пятислойной нейросети, в частности, результат компьютерного эксперимента по моделированию динамики многослойных нейронных сетей с входным зашумленным импульсом. На рис. 1 представлен также аддитивный шум интенсивности  $D$  [2,5]. При определенном значении параметра  $D$  (величина менялась в интервале 0.000-0.0050) процесс обучения сети и воспроизведения сигнала оказывается оптимальным. Когерентность входа и выхода оказывалась оптимальной при определенном уровне шума. Искомое значение параметра  $D$ , при котором достигался оптимальный уровень равнялось 0,0021.

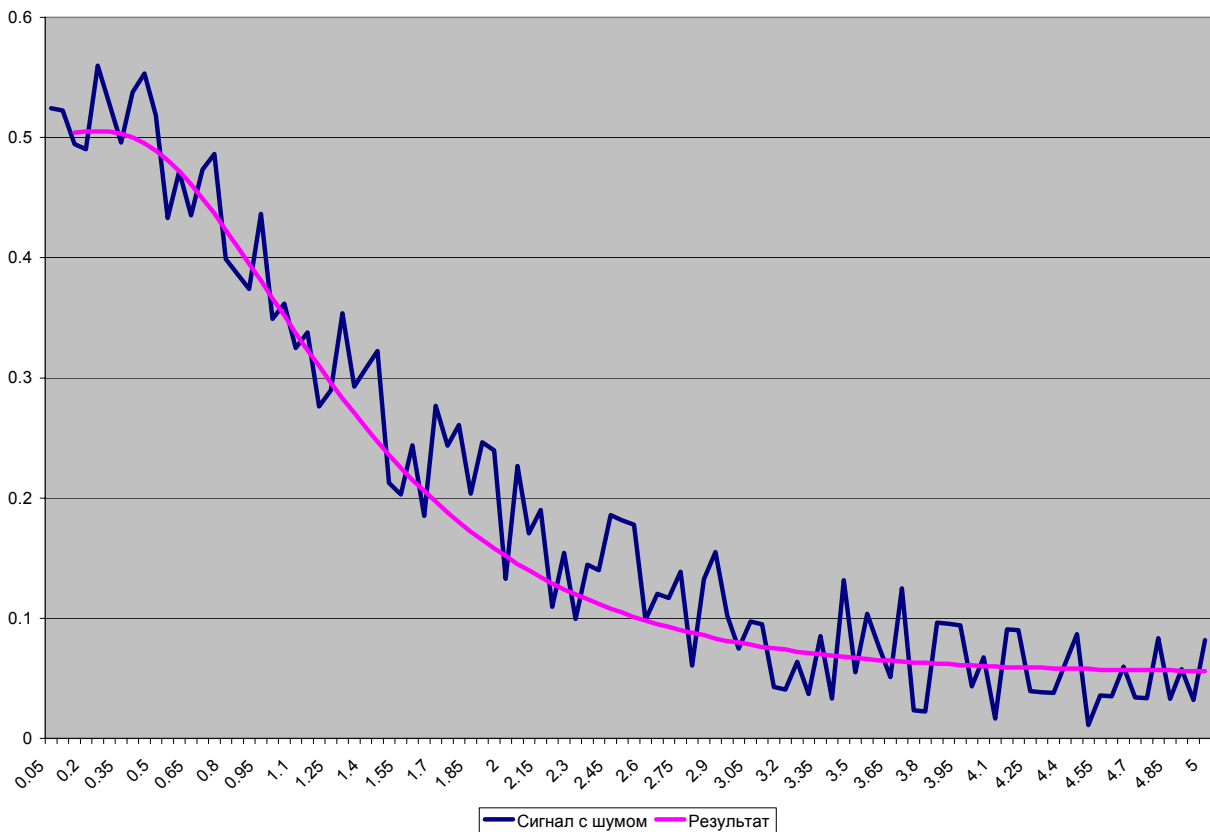


Рис.1 - Результаты компьютерных моделирования динамики многослойных нейронно-сетевой системы для случая зашумленной входной последовательности.

Т.е. фактически речь идет о возможности реализации в системе режима стохастического резонанса [5,12]. Этот весьма важный результат подтверждает ранее обоснованный общий вывод и данного и аналогичных компьютерных экспериментов для нейросетей с другими типами входных паттернов [6-10] о достаточно высоком качестве обработки многослойными оптическими нейронно-сетевыми системами на основе фотонного эха входных сигналов самой различной формы и сложности. В заключение следует отметить перспективность использования нейросетевых систем в имитационном моделировании динамики гидроэкологических и водно-биоресурсных

систем, в решении ряда гидрометеорологических задач, например, для нейросетевого моделирования полей осадков и т.д. [12,13].

### Список литературы

1. *Neural Computers*, Eds. R.Eckmiller, C.Malsburg.- Berlin: Springer, 1998.
2. *Neural Networks for Computing*, Ed. J.Denker.- New York: AIP Publ., 2000.
3. Манькин Э.А., Самарцев В.В. Оптическая эхо-спектроскопия.-М.:Наука, 1994.
4. Манькин Э.А., Сурина И.И. Нейронные сети и их оптические воплощения.-М.:РНИЦ "Курчатовский Институт", 1993.
5. Глушков А.В., Лобода А.В., Свиarenко А.А. Теория нейронных сетей на основе фотонного эха и их проппамная реализация.-Одесса: ТЕС. 2003.
6. *Glushkov A.V., Loboda A.V.* Program realization of models of the optical neural networks Препр./МОНУ.НДІ фізики Одеського національного університету ім.І.І.Мечникова; Ph-L-3-01.-Одесса:2001.
7. Лобода А.В., Бюаджи В.В. Динамика многослойной оптической нейронной сети: численная реализация для сложных паттернов//Вестник ОГЭКУ.-2007.-№4.-С.363-367.
8. Лобода А.В., Свиarenко А.А., Ивануцкая Л.А.Динамика многослойной нейронной сети на основе фотонного эха: численная реализация// Вестник ОГЭКУ.-2006.-№3.-С.363-367.
9. Лобода А.В., Сербов Н.Г., Свиarenко А.А., Бюаджи В.В. Динамика многослойной нейронной сети на основе фотонного эха: численная реализация с входным прямоугольным импульсом // Вестник ОГЭКУ.-2008.-№5.-С.220-224.
10. Лобода А.В., Сербов Н.Г., Свиarenко А.А., Бюаджи В.В. Динамика многослойной нейронной сети на основе фотонного эха: численная реализация с входным cos-подобным импульсом// Вестник ОГЭКУ.-2008.-№6.-С. 245-249.
11. *Serbov N.G., Svinarenko A.A.* Wavelet and multifractal analysis of oscillations in a grid of couled autogenerators//Photoelectronics.-2007.-№16.-P.53-56.
12. *Glushkov A.V., Khetselius O.Yu., Serbov N.G., Svinarenko A.A., Buyadzhi V.V.* Dynamics of multi-layers neural networks on basis of photon echo: Effects of chaos and stochastic resonance// Proc.of the International Conference on Statistical Physics.-Crete (Greece).-2008.-P.31.
13. *Glushkov A.V., Svinarenko A.A., Khetselius O.Yu., Serbov N.G.* The sea and ocean 3D acoustic waveguide: stochastic modeling and chaos phenomena// Proc.of the Chaotic modeling and Simulation International Conference (CHAOS2008).-Chania Crete (Greece).-2008.-P.25

**Динаміка багатосарової нейронної мережі на основі фотонної луни: чисельна реалізація з вхідним зашумленим імпульсом. Лобода А.В., Сербов М.Г., Свиarenко А.А., Перелигіна Т.Б.**

*Моделюється динаміка багатосарової нейромережі на основі ефекту фотонної луни і наводяться результати комп'ютерних експериментів для нейромереж з вхідним зашумленим імпульсом.*

**Ключові слова:** динаміка нейронних мереж, ефект фотонної луни, вхідний імпульс з шумом.

**Dynamics of multi-layers neural networks on basis of photon echo: numerical realization with input noised pulse. Loboda A.V., Serbov N.G., Svinarenko A.A., Perelygina T.B.**

*A dynamics of the multi-layers neural networks on the basis of photon echo is studied. The results of the computer experiments for networks with input noised pulse are presented.*

**Keywords:** dynamics, network, photon echo effect, input pulse with noise.