

## **ДИНАМИКА МНОГОСЛОЙНОЙ НЕЙРОННОЙ СЕТИ НА ОСНОВЕ ФОТОННОГО ЭХА: ЧИСЛЕННАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ С ВХОДНЫМ ПРЯМОУГОЛЬНЫМ ИМПУЛЬСОМ**

*Моделируется динамика многослойных нейронных сетей на основе эффекта фотонного эха и приводятся результаты компьютерных экспериментов по моделированию динамики нейросетей с входным прямоугольным импульсом*

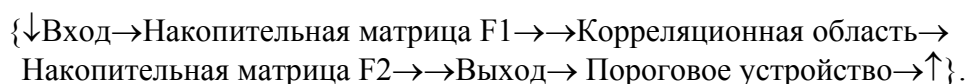
**Ключевые слова:** *динамика нейронных сетей, эффект фотонного эха, входной прямоугольный импульс*

**Введение.** В последнее десятилетие колоссальное развитие получила область исследований, лежащая на стыке нелинейной оптики, электроники и информационных технологий. Речь идет о разработке новых систем оптической обработки информации, создании оптических цифровых и аналоговых процессоров. Построение оптических компьютеров, в которых носителем информации является только оптическое излучение, исключает необходимость многократного преобразования электрической энергии в световую и обратно. Это в результате приводит к сокращению энергетических затрат, резкому увеличению быстродействия. Прогресс в указанных разработках связан, в частности, с созданием оптических элементов вычислительной техники на основе феномена оптической бистабильности. Особое значение в настоящее время приобрело использование методов нелинейной оптики для создания нейронно-сетевых компьютеров, предназначенных для решения нерегулярных задач, распознавания сложных образов, моделирования интеллекта. Речь идет о нейрокомпьютерах, т.е. физических реализациях моделей нейронных сетей. Подробные обзоры современного состояния проблемы искусственного интеллекта, динамических свойств нейронных сетей, и, в частности, их оптических реализаций можно найти в серии статей и материалов конференций [1-9]. Важно подчеркнуть, что, хотя известный прогресс в изучении различных моделей оптических нейронных сетей достигнут, тем не менее, многие важнейшие вопросы, касающиеся их основных динамических характеристик, моделей функционирования до сих пор далеки от своего адекватного разрешения. Особенно это касается нейронных сетей на основе фотонного эха (см. [4-9]). Использование эффекта фотонного эха (мультифотонного эха) представляет собой новый физический принцип реализации нейронной сети для систем оптической обработки информации.

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 [5-9]. 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 искомых систем в задачах распознавания образов и сложных сигналов (см. также [7-9]).

В данной статье впервые приводятся результаты компьютерных экспериментов по моделированию динамики 5-слойной нейронной сети на основе фотонного эха и использованием в качестве входного прямоугольного 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, следуя указанным работам, мы рассмотрим лишь ключевые аспекты численной реализации модели нейросети на основе фотонного эха. Важно подчеркнуть, что 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 F2 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 двухмерных оптических массивов. Учет эффекта запаздывания в динамике сети производится в рамках стандартной схемы (см.[5,6]).

**Результаты компьютерных расчетов и выводы.** Нами на основе разработанного 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], выполнен компьютерный эксперимент по моделированию динамики 5-слойной нейросети с входным прямоугольным импульсом. 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. 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 прямоугольным импульсом.

Анализ полученных данных подтверждает общий вывод и данного и аналогичных других компьютерных экспериментов [6-8] о достаточно высоком качестве обработки многослойными оптическими нейронно-сетевыми системами на основе фотонного эха входных сигналов самой различной формы и сложности.

В заключение отметим перспективность использования нейросетевых систем в имитационном моделировании динамики гидроэкологических систем, в решении ряда метеорологических задач, например, для нейросетевого моделирования полей осадков и т.д.

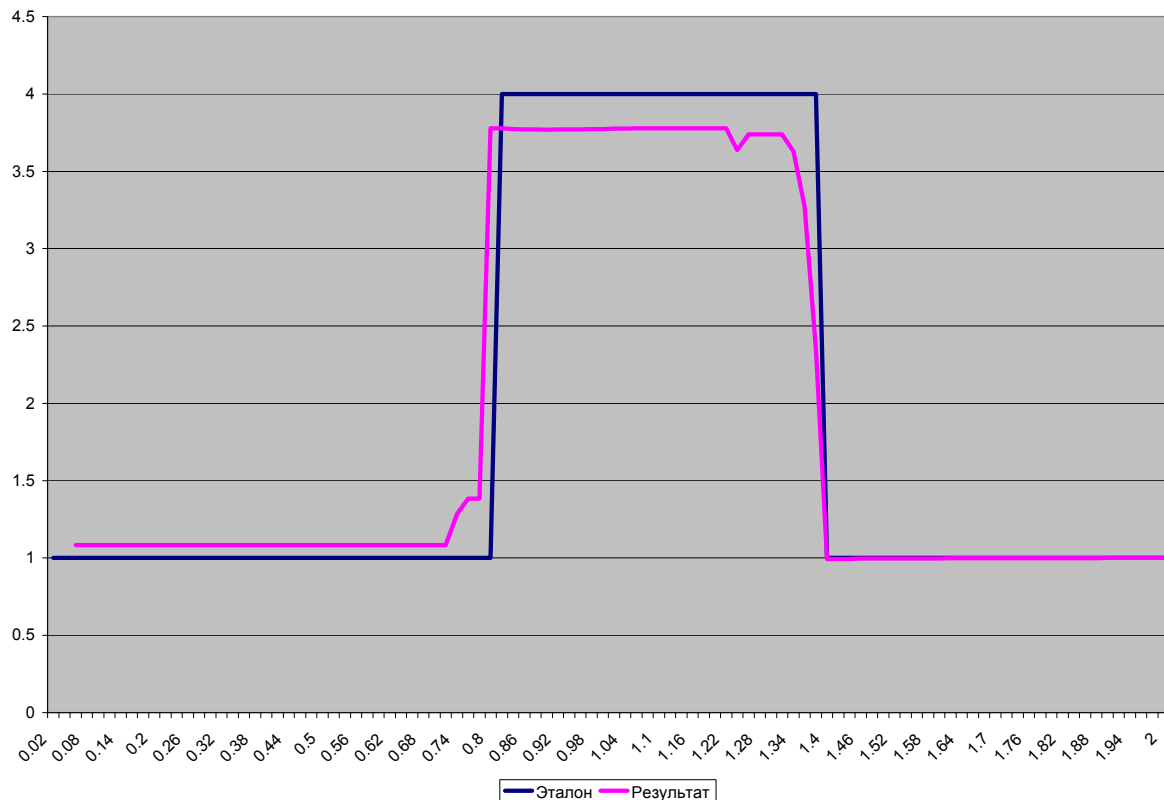


Рис.1 . Результаты компьютерных экспериментов по моделированию динамики многослойных нейронных сетей с входным прямоугольным импульсом.

### Список литературы

1. *Neural Computers*, Eds. R.Eckmiller, C.Malsburg.- Berlin: Springer, 1998.-650P.
2. *Neural Networks for Computing*, Ed. J.Denker.- New York: AIP Publ., 2000.-580P.
3. Маныкин Э.А., Самарцев В.В., Оптическая эхо-спектроскопия.-М.:Наука, 1994.-280С.
4. Маныкин Э.А., Сурина И.И., Нейронные сети и их оптические воплощения.-М.:РНИЦ "Курчатовский Институт", 1993.-180с.
5. Глушков А.В., Лобода А.В., Свиначенко А.А., Теория нейронных сетей на основе фотонного эха и их прорамная реализация.-Одесса: ТЕС. 2003.-200с.
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.- 18с.
7. Лобода А.В., Буйджі В.В., Динамика многослойной оптической нейронной сети: численная реализация для сложных паттернов// Вестник Одесск.гос.эколог.ун-та.-2007.-N4.-С.363-367.
8. Лобода А.В., Свиначенко А.А., Иваницкая Л.А., Динамика многослойной нейронной сети на основе фотонного эха: численная реализация// Вестник Одесск.гос.эколог.ун-та.-2006.-№3.-С.363-367.
9. *Serbov N.G., Svinarenko A.A., Wavelet and multifractal analysis of oscillations in a grid of couled autogenerators*//Photoelectronics.-2007.-N16.-P.53-56.

**Динаміка багатошарової нейронної мережи на основі фотонної луни: чисельна реалізація з вхідним прямокутовим імпульсом.**

**Лобода А.В., Сербов М.Г., Свинаренко А.А., Буяджи В.В.**

*Моделюється динаміка багатошарової нейромережі на основі ефекту фотонної луни і наводяться результати комп'ютерних експериментів по моделюванню динаміки нейромереж з вхідним прямокутовим імпульсом.*

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

**Dynamics of multi-layers neural networks on basis of photon echo: numerical realization with input rectangular pulse.**

**Loboda A.V., Serbov N.G., Svinarenko A.A., Buyadzhi V.V.**

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

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