

---

ҚР БІЛІМ ЖӘНЕ ҒЫЛЫМ МИНИСТРЛІГІ	MINISTRY OF EDUCATION AND SCIENCE RK
ӘЛ-ФАРАБИ АТ ҚАЗАҚ ҰЛТТЫҚ УНИВЕРСИТЕТІ	AL-FARABI KAZAKH NATIONAL UNIVERSITY
ЭКСПЕРИМЕНТТІК ЖӘНЕ ТЕОРИЯЛЫҚ ФИЗИКА ҒЫЛЫМИ-ЗЕРТТЕУ ИНСТИТУТЫ	SCIENTIFIC RESEARCH INSTITUTE OF EXPERIMENTAL AND THEORETICAL PHYSICS
АШЫҚ ТҮРДЕГІ ҰЛТТЫҚ НАНОТЕХНОЛОГИЯЛЫҚ ЗЕРТХАНА	NATIONAL NANOTECHNOLOGY OPEN LABORATORY

«ФИЗИКАНЫҢ ЗАМАНАУИ ЖЕТІСТІКТЕРІ ЖӘНЕ  
ІРГЕЛІ ФИЗИКАЛЫҚ БІЛІМ БЕРУ» атты  
9-ші Халықаралық ғылыми конференцияның  
ТЕЗИСТЕР ЖИНАҒЫ  
*12-14 қазан, 2016, Алматы, Қазақстан*

СБОРНИК ТЕЗИСОВ  
9-ой Международной научной конференции  
«СОВРЕМЕННЫЕ ДОСТИЖЕНИЯ ФИЗИКИ  
И ФУНДАМЕНТАЛЬНОЕ ФИЗИЧЕСКОЕ ОБРАЗОВАНИЕ»  
*12-14 октября, 2016, Алматы, Казахстан*

BOOK OF ABSTRACTS  
of the 9<sup>th</sup> International Scientific Conference  
«MODERN ACHIEVEMENTS OF PHYSICS AND  
FUNDAMENTAL PHYSICAL EDUCATION»  
*October, 12-14, 2016, Kazakhstan, Almaty*

Алматы  
«Қазақ университеті»  
2016

## МОДЕЛЬ ИСКУССТВЕННОЙ НЕЙРОННОЙ СЕТИ С ИЕРАРХИЧЕСКИ ТРЕХ-СЛОЙНОЙ СТРУКТУРОЙ

З.Ж. Жанабаев, Т.Ю. Гревцева, Д.М. Жексебай, Е.Т. Кожагулов\*

КазНУ им. аль-Фараби, НИИЭТФ, ННЛОТ, Алматы, Казахстан  
[kazgu.kz@gmail.com](mailto:kazgu.kz@gmail.com)

В данной работе предложена модель искусственной нейронной сети с иерархически трехслойной структурой, используемой в задачах классификаций. Предложенная модель отличается структурой и использованием новой активационной функции в виде нелинейного (спайкового) преобразователя. Классификация режимов колебаний отображений Хенона, Фейгенбаума показала более высокую разрешающую способность предлагаемой нейронной сети.

Искусственные нейронные сети являются одним из перспективных направлений исследований по информационным технологиям [1-4]. Основной проблемой является то, что используемая нейронная сеть должна обладать основными свойствами ансамбля биологических нейронов. Однако использование точной модели биологического нейрона (даже модели функционирования ионных каналов одного нейрона) предполагает анализ системы более ста дифференциальных уравнений с количеством параметров такого же порядка [5-7]. Поэтому необходимы пути установления универсальных, наиболее общих и простых закономерностей динамики нейронов.

Для системы  $N$  нейронов предложенные ранее нами [1,8] уравнения были использованы в итерационном виде

$$V_{i+1}^{(k)} = V_0^{(k)} \left( \left| 1 - F^{(k)}(t) / \sum_{k=1}^N V_i^{(k)} \right| \right)^{-\gamma_k}, \quad (1)$$

$$V_{i+1}^{(k)} = V_0^{(k)} \left( \left| 1 - \sum_{k=1}^N V_i^{(k)} / F^{(k)}(t) \right| \right)^{-\gamma_k}, \quad (2)$$

$$F(t) = A(1 + B \sin(\Omega t)), \quad \gamma_k = D_k - d_k \quad (3)$$

где  $k$  – порядковый номер нейрона,  $V_i$  – потенциал действия нейронов,  $V_0$  – их пороговые значения,  $F(t)$  – модулированное значение стимула одного нейрона,  $\gamma_k$  – разность фрактальной и топологической размерностей множества значений  $V_i$ . Уравнение (1) учитывает возможность собственных подпороговых колебаний нейрона при  $F(t) = 0$ , а уравнение (2) – только наличие стимула  $F(t) \neq 0$ . Роль  $F(t)$  могут играть потенциалы действия соседних нейронов. Уравнения (1), (2) описывают экспериментально наблюдаемое разнообразие спайков, хаотичных вибраций, фазовую синхронизацию после всплеска.

Иерархические структуры ансамблей нейронов можно описать следующими уравнениями

$$V_n = f \left( \dots f \left( \frac{V_0}{n}, V_n \right) \dots \right), \quad (4)$$

$$V_{n,F} = f \left( \dots f \left( \frac{V_{0,F}}{n}, V_{n,F} \right) \dots \right), \quad n = 1, 2, \dots, \quad (5)$$

где число скобок  $n$  задает структуру порядка сложных кластеров.

На основе вышеописанной динамики системы нейронов можно построить искусственную нейронную сеть с иерархическими уровнями, состоящей из блока входных значений  $F^k(t) = \{X_1, X_2, \dots, X_n\}$ , из блока функций активации (нелинейного преобразователя)  $\{V_1, V_2, \dots, V_n\}$ . Элементы сети взаимосвязаны и учитывают изменения состояния соседних элементов. Функция нелинейного преобразователя описывается формулой (1), где  $F^{(k)}(t)$  – входные значения сигналов. Далее для каждого преобразованного сигнала вычисляется информационная энтропия  $S$  и обобщенная метрическая характеристика  $K$ , в блоках вычисления “ $S$ ” и “ $K$ ”. Зависимость  $S(K)$  классифицирует сигнал на пять основных области  $S(K)$ , которые установлены нами [9]. Эти области метрико-топологической диаграммы с достаточной точностью количественно идентифицируют стохастические, самоподобные, самоаффинные, квазирегулярные, самоорганизованные (хаотические) сигналы. В случае необходимости данную модель можно адаптировать под модели рекуррентных нейронных сетей, что дает возможность управления системой через обратную связь.

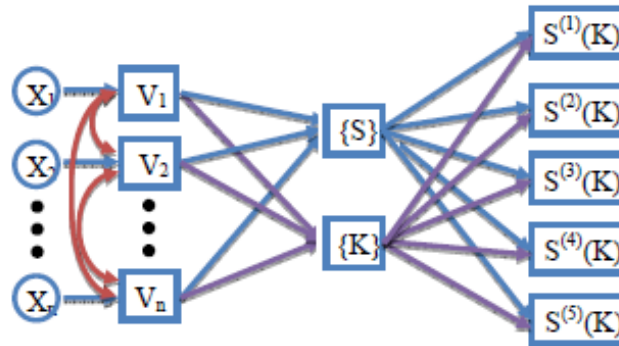


Рисунок 1. Модель искусственной нейронной сети с иерархическим трехслойным уровнем

Исследовано различие действия функции нелинейного преобразователя (1) от действия общеизвестных активационных функции нейронов, таких, как сигмоидальная функция (сигмоид)  $F(X) = 1/(1 + e^{-X})$  и радиально базисная функция  $F(X) = e^{-X^2}$ . В виде исходных сигналов взяты общеизвестные отображения: Хенона ( $x_{i+1} = y_i + 1 - ax_i^2$ ,  $y_{i+1} = bx_i$ ) и Фейгенбаума ( $x_{i+1} = rx_i(1 + x_i)$ ).

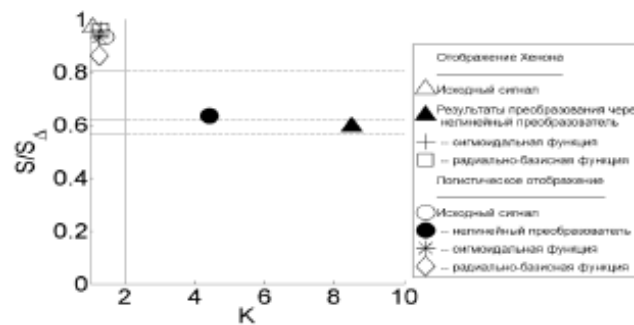


Рисунок 2. Метрико-топологическая диаграмма, полученная различными функциями активации нейрона

Из полученного результата (рис. 2) видно, что исходные сигналы после обработки функцией нелинейного преобразователя становятся более различимыми, т.к. метрическая характеристика  $K$  меняется заметно.

Используем предложенную модель искусственной нейронной сети с иерархическим трехслойным уровнем для задачи классификации однотипного сигнала. Слово “иерархическое” означает, что для всех слоев можно учитывать различные иерархические поколения по формулам (4-5). Для этой задачи в виде входных сигналов  $\{X_1, X_2, \dots, X_n\}$  возьмем равные отрезки ( $N=10^3$ ) от реализаций логистического отображения с разными управляющими параметрами  $r$ , состоящей из  $N=10^4$  отсчетов. Далее входные сигналы были преобразованы через вычислительный блок функции нелинейного преобразователя  $\{V_1, V_2, \dots, V_n\}$  и выполнены операции в блоках “S” и “K”, согласно рисунку 1. Полученные результаты классифицированы по пяти областям согласно их нелинейным свойствам, физический смысл которых описан в работе [9].

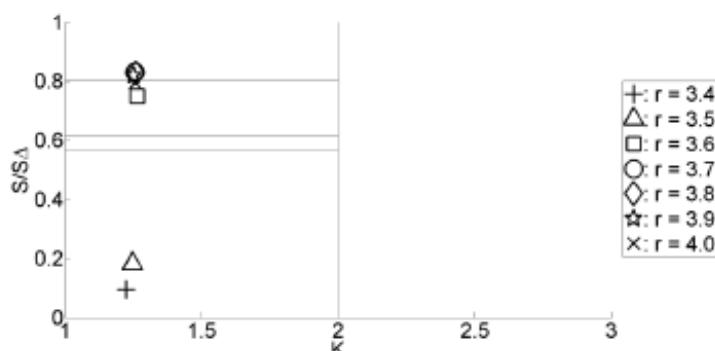


Рисунок 3. Классификация сигналов логистического отображения согласно их нелинейным свойствам по модели искусственной нейронной сети с иерархическим трехслойным уровнем ( $r = [3.4 : 0.1 : 4]$ ,  $\gamma = 0.567$ ,  $N = 10^3$ )

На рисунке 3 показана классификация сигналов логистического отображения в зависимости от сложности формы сигналов согласно параметру  $r$ . Как известно, с ростом параметра  $r$  степень хаотичности сигнала растет.

#### Литература

- 1 Z.Zh. Zhanabaev, Y.T. Kozhagulov // Journal of Neuroscience and Neuroengineering, vol. 2(3), pp. 267-271, 2013.
- 2 E.M. Izhikevich, “Dynamical systems in neuroscience: the geometry of excitability and bursting”, The MIT Press, Cambridge, Massachusetts, 2010.
- 3 A. Gupta, L. N. Long. “Character recognition using spiking neural networks”, IEEE International Joint Conference on Neural Networks, pp. 53-58, doi:[10.1109/IJCNN.2007.4370930](https://doi.org/10.1109/IJCNN.2007.4370930), ISSN: 1098-7576, 2007
- 4 S. Carrillo, J. Harkin, L. McDaid, S. Pande, S. Cawley, B. McGinley, F. Morgan // Neural networks, vol. 33, pp. 42-57, 2012.
- 5 E De Schutter: Why are computational neuroscience and systems biology so separate? PLoS computational biology, Vol. 4:e1000078 (2008)
- 6 E De Schutter, JD Angstadt // Journal of neurophysiology 69:1225-35 (1993)
- 7 R.M. Eichler West, E. De Schutter, G.L. //Evolutionary Algorithms 111:33-64 (1999)
- 8 Z.Zh. Zhanabaev, Y.T. Kozhagulov Nonlinear Fractal Models of Neuronal Dynamics // International Conference Nonlinear Dynamics of Electronic System. Bari, Italy. 10-12 July, 2013.
- 9 Z.Zh. Zhanabaev, Y.T. Kozhagulov, S.A. Khokhlov // International Journal of Mathematics and Physics 4, №2, pp. 29-37 (2013).

ТЕМПЕРАТУРА ПЛАВЛЕНИЯ И РЕКРИСТАЛЛИЗАЦИИ ЛЕГИРОВАННЫХ СТАЛЬНЫХ ПОКРЫТИЙ С.А. Гученко, А.Ш. Сыздыкова, А.Р. Аулбаева, А.Ш. Нускабекова.....	164
ПРИБОР ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОКСИДА ЖЕЛЕЗА В УГОЛЬНОМ ВЕЩЕСТВЕ Я.Ж. Байсагов, В.С. Портнов, В.М. Юров, И.С. Голубев.....	166
АЗОТ МАТРИЦАСЫНДАҒЫ КРИОМАТРИЦАЛЫҚ ОҚШАУЛАНҒАН ЭТАНОЛ МОЛЕКУЛАЛАРЫН ИҚ-СПЕКТРОМЕТРЛІК ЗЕРТТЕУ А.У. Алдияров, Ұ.Ж. Жексен.....	168
ВНЕДРЕНИЕ СИСТЕМ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО МЕНЕДЖМЕНТА ПО МЕЖДУНАРОДНОМУ СТАНДАРТУ ISO 14001:2004 О.А. Лаврищев, М.К. Саргужина.....	169
<b>4-СЕКЦИЯ. Бейсызық физика және электроника. Астрофизика</b> <b>SECTION 4. Nonlinear Physics and Electronics. Astrophysics</b>	
МОДЕЛЬ ИСКУССТВЕННОЙ НЕЙРОННОЙ СЕТИ С ИЕРАРХИЧЕСКИ ТРЕХСЛОЙНОЙ СТРУКТУРОЙ З.Ж. Жанабаев, Т.Ю. Гревцева, Д.М. Жексебай, Е.Т. Кожажулов.....	172
ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОТНОШЕНИЯ СИГНАЛ/ШУМ СИСТЕМ СВЯЗИ ИНФОРМАЦИОННО-ЭНТРОПИЙНЫМ АНАЛИЗОМ З.Ж. Жанабаев, С.Н. Ахтанов.....	175
НОРМИРОВАННАЯ ИНФОРМАЦИОННАЯ ЭНТРОПИЯ ЗВЕЗД РАННИХ СПЕКТРАЛЬНЫХ КЛАССОВ З.Ж. Жанабаев, А.С. Бейсебаева, С.А. Хохлов.....	177
СКЕЙЛИНГОВЫЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ МОРФОЛОГИИ НАНОСТРУКТУРИРОВАННЫХ ПОЛУПРОВОДНИКОВ З.Ж. Жанабаев, Т.Ю. Гревцева, Е.Т. Кожажулов, А.Т. Агншев, Р.Б. Асылбаева.....	179
ИССЛЕДОВАНИЯ ПОТЕРИ МАССЫ И ПЫЛЕОБРАЗОВАНИЯ У ГОРЯЧИХ ЗВЕЗД ТИПА FSCMAMWC 728 А.К. Куратова, К.С. Куратов, А.С. Мирошниченко, А.Т. Майлыбаев, А.Ж. Наурызбаева, Н.Ш. Алимгазинова, А.Б. Манапбаева, А.С. Бейсебаева.....	181
ВРЕМЯ-ПРОЛЕТНАЯ СИСТЕМА ИЗМЕРЕНИЯ ЭНЕРГИИ НА ЦИКЛОТРОНЕ ДЦ-60 И.А. Иванов, М.В. Злоровец, М.В. Колобердин, В.В. Александренко, С.Г. Козин, Е.К. Самбаев, А.Е. Курахмедов, А.К. Морзабаев.....	183
ПАРАМЕТРИЧЕСКИЙ ГЕНЕРАТОР ТЕРАГЕРЦОВОГО ДИАПАЗОНА НА ОСНОВЕ ЭФФЕКТА ВЫНУЖДЕННОГО РАМАНОВСКОГО РАССЕЯНИЯ А.Б. Аканаев, Б.А. Аканаев.....	185
АСТРОНОМИЧЕСКИЙ ДВУХМАТРИЧНЫЙ ФОТОМЕТР К.С. Куратов, А.М. Сейтмбетов, А.К. Куратова, А.Т. Майлыбаев, Н.Ш. Алимгазинова, А.Б. Манапбаева, Н.Т. Изтлеуов.....	186
ИССЛЕДОВАНИЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ЭНЕРГИИ В СПЕКТРЕ МОЛОДОЙ ЗВЕЗДЫ АЕ/ВЕ ХЕРБИГА IRAS 22150+6109 К.С. Куратов, О.В. Захожай, А.К. Куратова, А.Б. Манапбаева, Н.Ш. Алимгазинова.....	188
ФРАКТАЛЬНАЯ ТОПОЛОГИЯ ГАЛАКТИЧЕСКИХ СКОПЛЕНИЙ З.Ж. Жанабаев, С.А. Хохлов, А.Т. Агншев.....	190
КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ШУМА НА ДИНАМИКУ КЛАСТЕРА, СОСТОЯЩЕГО ИЗ ВЗАИМОСВЯЗАННЫХ НЕЙРОНОВ ФИТЦХЬЮ-НАГУМО Б.Ж. Медетов, А.Ж. Наурызбаева, Н.Ш. Алимгазинова, Н. Албанбай.....	193