

монстрировали как достаточно высокую скорость сходимости алгоритма обучения к требуемой ошибке, так и удовлетворительные оценки старшего показателя Ляпунова. Так, для достижения среднеквадратичной ошибки обучения для процесса Энона (объем выборки - 500), равной  $E=2 \cdot 10^{-4}$ , потребовалось 194 итерации для сети Джордана, 265 – для сети Джордана-Элмана (192 – для многослойного персептрона). Аналогично, для процесса Лоренца (объем выборки - 800) для достижения ошибки  $E=9 \cdot 10^{-4}$  выполнено 386 итерации для сети Джордана, 442 – для сети Джордана-Элмана (329 – для многослойного персептрона). С целью расчета старшего показателя Ляпунова для данных EEG (объем выборки - 900) было выполнено 5000 итерации обучения для сети Джордана и рассчитан показатель Ляпунова, равный 0.0315. При этом на всех выборках смешанных данных модели показали высокую чувствительность при переходе от хаотического сигнала к детерминированному.

Авторы благодарят за поддержку исследований Белорусский республиканский фонд фундаментальных исследований при НАН Беларуси.

### Литература

1. V. Golovko, Y. Savitsky, N. Maniakov. Neural Networks for Signal Processing in Measurement Analysis and Industrial Applications: the Case of Chaotic Signal Processing // chapter of NATO book “Neural networks for instrumentation, measurement and related industrial applications”. - Amsterdam: IOS Press, 2003, pp. 119-143.
2. Головки В.А. Нейронные сети: обучение, организация и применение. Кн. 4: Учеб. Пособие для вузов / Общая ред. А.И. Галушкина. – М.: ИРПРЖ, 2001. – 256 с.

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СИСТЕМ НЕЧЕТКОЙ ЛОГИКИ ПРИ ПРОГНОЗИРОВАНИИ ХАОТИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

*Теленкевич Р.С., БГТУ, Брест*

В докладе представлено использование нечеткого контроллера Мамдани-Заде для прогнозирования ряда Энона как на уровне единичных отсчетов, так и на уровне динамики системы в фазовом пространстве.

Система Энона описывается разностными уравнениями:

$$\begin{cases} x_{n+1} = 1 - \alpha \cdot x_n^2 + y_n \\ y_{n+1} = \beta \cdot x_n \end{cases},$$

которая является хаотической (имеет высокую чувствительность к заданиям начальных условий) при  $\alpha = 1.4$  и  $\beta = 0.3$ . В работе рассматривается прогнозирование ряда изменений переменной  $x$ . В соответствии с теоремой Такенса заключаем, что для прогнозирования данного временного процесса достаточно построить отображение  $F(x_{n-1}, x_n) \rightarrow x_{n+1}$ . При этом размерность пространства вложения (равная 3) выбиралась с использованием метода «ложных соседей».

При построении нечеткой системы на основе обучающей выборки строилась база правил, где использовались треугольные функции принадлежности. Дефаззификация производилась с использованием центроидного (center of area) метода.

Результаты прогнозирования в области фазового пространства показали сходимость к аттрактору, идентичному с реальным, что говорит об адекватной настройке нечеткой системы на динамику процесса. Прогнозирование на уровне единичных отсчетов также дало удовлетворительный результат в пределах горизонта прогнозирования.