

**Использование муравьиного алгоритма для оптимизации  
функционирования нейросетевых решений  
(на примере интенсификации процессов водоочистки)**

**А.А. Кузнецов**

*Витебский государственный технологический университет,  
г. Витебск, Республика Беларусь*

**В.Н. Штепа, Р.Е. Кот, А.В. Морголь**

*Полесский государственный университет,  
г. Пинск, Республика Беларусь*

Общий алгоритм синтеза нейросетевых систем управления (НСУ) включает ряд традиционных этапов [1]. При этом для корректировки (оптимизации) весовых коэффициентов применяется значительное количество апробированных способов, каждый из которых имеет свои положительные и отрицательные стороны. Одним из перспективных направлений решения практически ориентированных задач является использование полиномиальных подходов, например, таких как муравьиный алгоритм (МА).

Концепция применения МА в контексте оптимизации работы НСУ:

1. Каждый муравей обладает собственной «памятью», где будет храниться список активационных функций НСУ  $J_{i,k}$ , которые необходимо посетить муравью  $k$ , что находится в городе  $i$ .

2. Муравьи обладают «зрением»:

$$\eta_{ij} = 1/D_{ij}. \quad (1)$$

3. Каждый муравей способен улавливать след феромона, который будет определять желание муравья пройти по данному ребру. Уровень феромона в момент времени  $t$  на ребре  $D_{ij}$  соответствует  $\tau_{ij}(t)$ .

4. Вероятность перехода муравья из вершины  $i$  в вершину  $j$ :

$$\begin{cases} P_{ij,k}(t) = \frac{[\tau_{ij}(t)]^\alpha \cdot [\eta_{ij}(t)]^\beta}{\sum_{l \in J_{i,k}} [\tau_{il}(t)]^\alpha \cdot [\eta_{il}(t)]^\beta}, j \in J_{i,k}, \\ P_{ij,k}(t) = 0, j \notin J_{i,k} \end{cases} \quad (2)$$

где  $\alpha, \beta$  – эмпирические коэффициенты.

Количество откладываемого феромона:

$$\Delta\tau_{ij,k}(t) = \begin{cases} \frac{Q}{L_k(t)}, (i, j) \in T_k(t) \\ 0, (i, j) \notin T_k(t) \end{cases}, \quad (3)$$

где  $Q$  – параметр, имеющий значение порядка длины оптимального пути,  $L_k(t)$  – длина маршрута  $T_k(t)$ .

Испарение феромона определяется следующим выражением:

$$\tau_{ij}(t+1) = (1-p) \cdot \tau_{ij}(t) + \sum_{k=1}^m \Delta \tau_{ij,k}(t), \quad (4)$$

где  $m$  – количество муравьев,  $p$  – коэффициент испарения ( $0 \leq p \leq 1$ ).

Исследования использования МА проводились касательно комбинированных систем очистки производственных сточных вод [1]. Информация для синтеза НСУ поступала от информационно-измерительного комплекса (ИИК): 14 показателей характеристик протекания технологических процессов и качества сточной воды. Задача НСУ: регулирование значения силы тока в электролизном аппарате с целью оптимизации протекания окислительно-восстановительных реакций (интенсификация удаления загрязнителей).

С применением градиентного метода оптимизации работы НСУ были получены следующие показатели относительного среднеквадратического отклонения для разных выборок (по 500 наборов данных каждая из них): учебная выборка – 2,4%, контрольная выборка – 2,61%, тестовая выборка – 2,72% (реализовано в CASE-средстве Statistica).

Программная реализация МА, синтезированная в “Visual C++”, позволяет формировать базу данных тренировочного процесса с её визуализацией (рис.1).

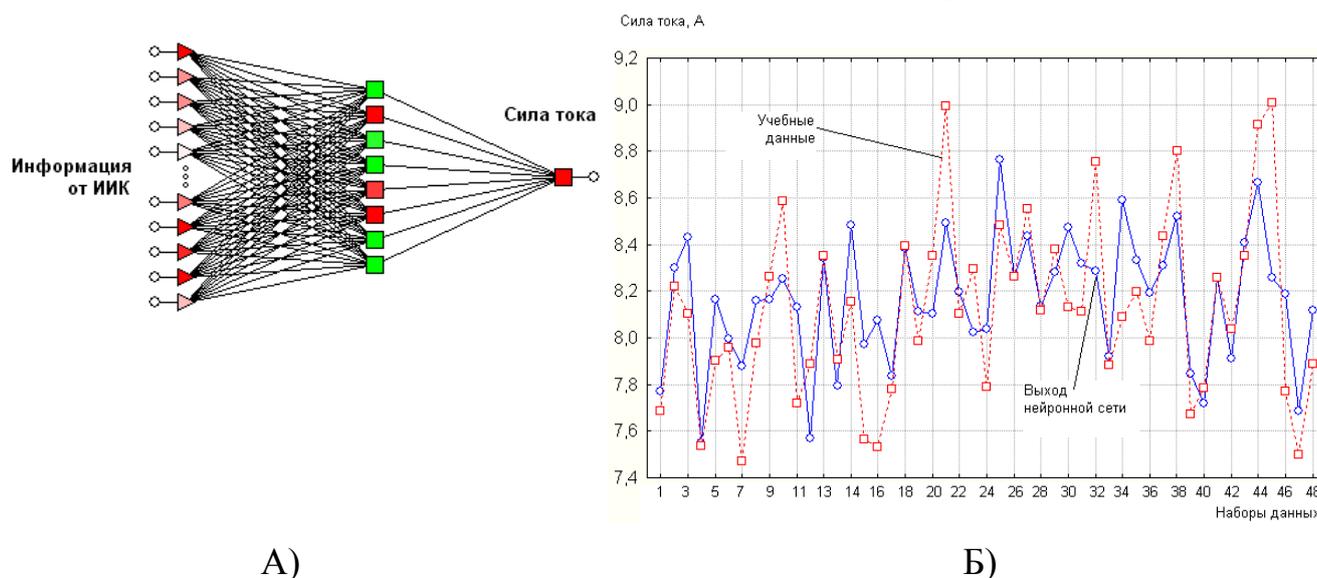


Рис. 1. Оптимальная НСУ управления водоочисткой: А – архитектура НСУ, Б – качество обучения НСУ с применением МА (относительное среднеквадратическое отклонение: учебная выборка – 1,23%, контрольная выборка – 1,4%, тестовая выборка – 1,34%)

**Выводы.** МА является перспективным методом оптимизации работы НСУ, что подтвердили экспериментально-аналитические исследования сравнения его работы с градиентным подходом: качество обучения с использованием МА по всем трём тренировочным выборкам лучше аналога на 1,25%, что является значительным показателем для технологических требований многих процессов.

### Литература

1. Штепа В. Н. Концептуальные основы энергоэффективной системы управления комбинированными системами водоочистки / В. Н. Штепа //

Известия высших учебных заведений и энергетических объединений СНГ. – Минск: БНТУ. – 2016. – № 5. – С. 479 – 487.