

АНАЛИЗ НЕЙРОННЫХ СИСТЕМ С НЕЧЕТКОЙ ЛОГИКОЙ

ANALYSIS OF NEURAL SYSTEMS WITH FUZZY LOGIC

Чекавинский А.А., магистрант, ФГБОУ ВО «Вологодский государственный университет», Вологда, Россия **Chekavinskiy A.A.**, Master's student, Vologda State University, Vologda, Russia

Виноградова А.П., магистрант, ФГБОУ ВО «Вологодский государственный университет», Вологда, Россия **Vinogradova A.P.**, Master's student, Vologda State University, Vologda, Russia

Софронов А.Д., магистрант, ФГБОУ ВО «Вологодский государственный университет», Вологда, Россия **Sofronov A.D.**, Master's student, Vologda State University, Vologda, Russia

Десятова А.А., магистрант, ФГБОУ ВО «Вологодский государственный университет», Вологда, Россия **Desyatova A.A.**, Master's student, Vologda State University, Vologda, Russia

Аннотация. В данной статье рассматривается эффективность применения нечетких нейронных сетей в сравнении с классическими системами на четкой и нечеткой логике. Исследование направлено на анализ практической целесообразности внедрения гибридных нейро-нечетких моделей в управление производственными процессами. В работе использована компьютерная модель системы автоматического управления, включающая методы четкого, нечеткого и нейро-нечеткого управления. В качестве базовой модели рассмотрена архитектура ANFIS, демонстрирующая принципы адаптивного нечеткого вывода. Результаты показали, что нейро-нечеткие системы обеспечивают сопоставимую точность регулирования с традиционными методами, но при этом обладают меньшей степенью ошибки и меньшей скоростью адаптации. Практическая значимость исследования заключается в обосновании выбора нейро-нечетких систем для автоматизации сложных технологических процессов.

Ключевые слова: нечеткие нейронные сети, нейро-нечеткие системы, ANFIS, гибридные системы, автоматическое управление, нечеткая логика, искусственные нейронные сети.

Abstract. The article examines the efficiency of fuzzy neural networks (FNN) compared to conventional systems based on crisp and fuzzy logic. The study focuses on the practical feasibility of implementing hybrid neuro-fuzzy models in industrial process control. A computer simulation of an automatic control system was used, incorporating crisp, fuzzy, and neuro-fuzzy control methods. The ANFIS (Adaptive-Network-Based Fuzzy Inference System) architecture was analyzed as a key model, demonstrating adaptive fuzzy inference principles. The results indicate that neuro-fuzzy systems provide comparable control accuracy to traditional methods while exhibiting lower error

rates and slower adaptation speeds. The practical significance of the research lies in justifying the choice of neuro-fuzzy systems for automating complex technological processes.

Keywords: fuzzy neural networks, neuro-fuzzy systems, ANFIS, hybrid systems, automatic control, fuzzy logic, artificial neural networks.

Нечеткие нейронные сети – это системы, которые комбинируют методы искусственных нейронных сетей и систем на нечеткой логике [1].

В данной работе рассмотрена проблема эффективности использования нечетких нейронных сетей по сравнению с четкой и нечеткой логикой. Исследование имеет значимость для решения компаний о внедрении нейронных сетей с нечеткой логикой на производство.

Цель исследования – сравнить эффект от внедрения нечетких нейронных систем с качеством работы четких и нечетких систем управления процессами.

Для достижения этой цели были поставлены задачи:

1. Изучить принцип работы нейронных систем с нечеткой логикой.
2. Исследовать и сравнить на практике эффекты от применения нечетких нейронных систем с эффектом четкого и нечеткого управления в рабочих процессах.

Для исследования была использована компьютерная модель системы автоматического управления с применением четкого, нечеткого управлений и нейро-нечеткой логики.

Принцип функционирования нейро-нечеткой модели в задачах автоматического управления может быть проиллюстрирован на примере наиболее распространённой модели ANFIS (Adaptive-Network-Based Fuzzy Inference System). ANFIS – адаптивная сеть нечеткого вывода – реализует нечёткую систему Такаги-Сугено и представляет собой пятислойную нейронную сеть прямого распространения сигнала.

Первый слой – определение нечетких термов входных параметров. Выходы узлов этого слоя представляют собой значения функции принадлежности при конкретных значениях входов.

Второй слой – определение посылок нечетких правил. Данный слой – неадаптивный. Каждый узел этого слоя соответствует одному нечеткому правилу. Узел второго слоя соединен с теми узлами первого слоя, которые формируют предпосылки соответствующего правила.

Третий слой – нормализация степеней выполнения правил. Неадаптивные узлы этого слоя рассчитывают относительный вес выполнения нечеткого правила.

Четвертый слой – определение вклада каждого правила в выход сети. Узел четвертого слоя рассчитывает вклад нечетких правил в выход сети.

Пятый слой – формирование управляющего сигнала.

Выбор нейро-нечетких моделей осуществляется в зависимости от класса решаемых задач. Так, для интеллектуального управления наибольшее применение получили модели ANFIS, FALCON, GARIC, NEFCON, FUN [2].

Нейронные системы с нечеткой логикой успешно внедрены в области управления технологического производства, автоматического управления транспортом, медицинской диагностике, технической диагностике, экономическом прогнозировании, распознавании объектов. Спектр приложений с применением нечеткой логики очень широкий – от

видеокамер и бытовых стиральных машин до средств наведения ракет ПВО и управления боевыми вертолетами. Практический опыт разработки систем нечеткого логического вывода свидетельствует, что сроки и стоимость их проектирования значительно меньше, чем при использовании традиционного математического аппарата, при этом обеспечивается требуемый уровень прозрачности и точности моделей [3].

Многие современные задачи управления просто не могут быть решены стандартными методами из-за увеличивающейся сложности вычисления в традиционных математических моделях. В настоящее время эффективным средством моделирования и исследования сложных систем, например, различных технологических процессов, управления робототехническими системами и беспилотными машинами, являются искусственные нейронные сети (ИНС), сети Петри и их расширения [4].

Гибридная сеть представляет собой многослойную сеть без обратной связи, в которой используются обычные сигналы, веса, функции принадлежности, а суммирование проходит на основе Т-нормы, значения весов данной сети представляют вещественные числа из отрезка от $[0,1]$. Идея, на которой построены гибридные сети, заключается в использовании имеющихся входных данных для определения параметров функции принадлежности, которые соответствуют системе нечеткого вывода.

Для нахождения параметров функций принадлежности используют обучение нейронных сетей [5]. На рисунке 1 представлены результаты моделирования при помощи ANFIS нейронных моделей с четкой логикой, нечеткой логикой и стандартной системы регулирования.

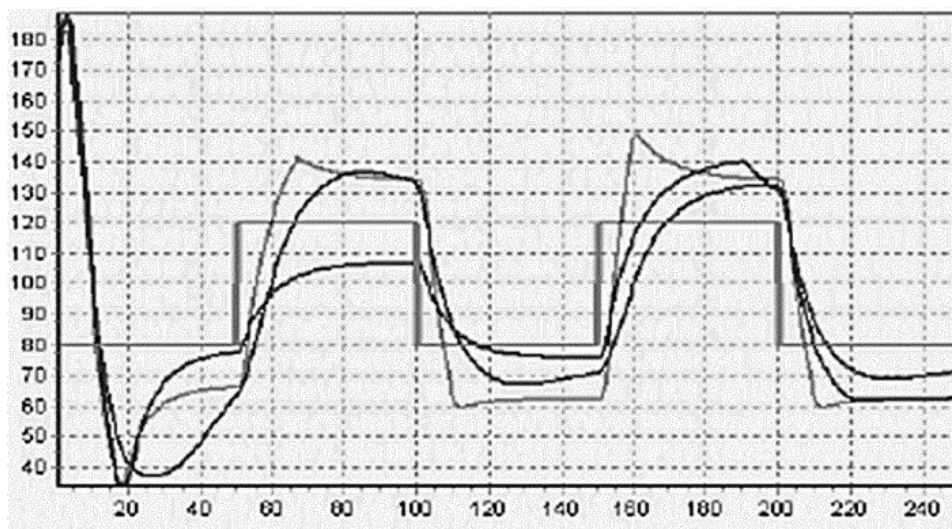


Рисунок 6 – Результаты автоматического регулирования

Проведенные исследования показали, что применение нечетких нейронных систем показывает приблизительно одинаковые результаты с четким и нечетким управлениями по отклонению от заданного сигнала и скорости регулирования. Степень ошибки, как и скорость регулирования, при использовании нейро-нечеткой системы ниже, чем у других систем.

На основании проведенного исследования приходим к выводу, что внедрение нечетких нейронных систем для управления производственными процессами может заменить

традиционные принципы управления с незначительной разницей точности и качества регулирования.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Борисов, В.В. Нечеткие модели и сети : учебное пособие / В.В. Борисов, В.В. Круглов, А.С. Федулов. – 2-е изд., стер. – Москва : Горячая линия-Телеком, 2012. – 284 с.
2. Андриевская, Н.В. Особенности применения нейро-нечетких моделей для задач синтеза систем автоматического управления / Н.В. Андриевская, А.С. Резников, А.А. Черняев // *Фундаментальные исследования*. – 2014. – № 11 (7). – С. 1445-1449. – URL : <https://fundamental-research.ru/ru/article/view?id=35784> (дата обращения: 25.03.2025).
3. Полковская, М.Н. Нечеткая логика и нейронные сети : учебное пособие / М.Н. Полковская // ИрГАУ. – 2023. – 116 с. – URL : http://195.206.39.221/fulltext/i_033659.pdf (дата обращения: 26.03.2025).
4. Горбунов, В.А. Использование нейро-нечетких сетей Петри в моделировании различных производственных процессов / В.А. Горбунов, Д.Ю. Крюкова, А.А. Суконщиков // *Вестник Череповецкого государственного университета*. – 2024. – №3 (120). – С. 19-33. – URL : <https://doi.org/10.23859/1994-0637-2024-3-120-2> (дата обращения: 25.03.2025).
5. Ханевский, А.А. Сравнение результатов моделирования нейро-нечеткой сети / А.А. Ханевский // *Научный журнал* : [сайт]. – 2019. – URL : <https://scientificmagazine.ru/images/PDF/2019/35/sravnenie-rezultatov.pdf> (дата обращения: 26.03.2025).

REFERENCES

1. Borisov, V.V. Fuzzy models and networks: a tutorial / V.V. Borisov, V.V. Kruglov, A.S. Fedolov. – 2nd ed., reprinted. – Moscow: Goryachaya Liniya-Telecom, 2012. – 284 p.
2. Andrievskaya, N.V. Features of the application of neuro-fuzzy models for the problems of synthesis of automatic control systems / N.V. Andrievskaya, A.S. Reznikov, A.A. Chernyaev // *Fundamental research*. – 2014. – No. 11 (7). – P. 1445-1449. – URL: <https://fundamental-research.ru/ru/article/view?id=35784> (date of access: 03/25/2025).
3. Polkovskaya, M.N. Fuzzy logic and neural networks: a tutorial / M.N. Polkovskaya // IrSAU. – 2023. – 116 p. – URL: http://195.206.39.221/fulltext/i_033659.pdf (accessed: 03/26/2025).
4. Gorbunov, V.A. Using neuro-fuzzy Petri networks in modeling various production processes / V.A. Gorbunov, D.Yu. Kryukova, A.A. Sukonshchikov // *Bulletin of Cherepovets State University*. – 2024. – No. 3 (120). – P. 19-33. – URL: <https://doi.org/10.23859/1994-0637-2024-3-120-2> (accessed: 03/25/2025).
5. Khanevsky, A.A. Comparison of the results of modeling a neuro-fuzzy network / A.A. Khanevsky // *Scientific journal*: [site]. – 2019. – URL: <https://scientificmagazine.ru/images/PDF/2019/35/sravnenie-rezultatov.pdf> (date of access: 03/26/2025).