

# АНАЛІЗ ТА ПОРІВНЯННЯ ПІДХОДІВ ДО НЕЙРО-НЕЧІТКОГО ПРОГНОЗУВАННЯ

Вінницький національний технічний університет

## Анотація

Проведено аналіз та порівняння підходів до нейро-нечіткого прогнозування. Визначено основні характеристики та особливості моделей ANFIS, TSK та ANFIS-CMAC. Розглянуто архітектуру, принцип роботи та методи навчання кожної моделі. Проведено порівняльний аналіз їх ефективності та застосування в різних галузях.

**Ключові слова:** аналіз, нейро-нечітке прогнозування, ANFIS, TSK, ANFIS-CMAC.

## Abstract

The approaches to neuro-fuzzy forecasting are analyzed and compared. The main characteristics and features of the ANFIS, TSK and ANFIS-CMAC models are determined. The architecture, operating principle and training methods of each model are considered. A comparative analysis of their efficiency and application in various industries is carried out.

**Keywords:** analysis, neuro-fuzzy forecasting, ANFIS, TSK, ANFIS-CMAC.

## Вступ

Нейро-нечітке прогнозування є одним з важливих напрямків в галузі інтелектуального аналізу даних. Моделі, які поєднують у собі нейромережеві та нечіткі логічні підходи, виявляються дуже ефективними у прогнозуванні складних систем, де важко або неможливо сформулювати точні математичні моделі. Наразі існує декілька основних підходів до реалізації нейро-нечіткого прогнозування, таких як ANFIS, TSK та ANFIS-CMAC, кожен з яких має свої переваги та обмеження.

Аналіз та порівняння цих підходів, а саме розгляд архітектури моделі, принципу її роботи та методів навчання, допоможе провести порівняльний аналіз ефективності цих моделей та їх застосування в різних галузях. Результати дослідження дозволять краще зрозуміти переваги та обмеження кожного з розглянутих підходів до нейро-нечіткого прогнозування і визначити оптимальний вибір моделі для конкретної задачі.

## Результати дослідження

Модель ANFIS (Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System) є гібридною інтелектуальною системою, яка поєднує в собі штучні нейромережі та нечітку логіку.

Архітектура ANFIS включає кілька шарів. Вхідний шар отримує вхідні дані та розподіляє їх по вузлах. Нечіткі правила визначають відносини між вхідними та вихідними змінними. На основі цих правил обчислюються ступені приналежності вхідних даних до нечітких множин. Вихідний шар обчислює вихідні значення на основі ступенів приналежності та нечітких правил [1].

ANFIS використовує метод навчання на основі даних для підгонки параметрів нечітких правил. Цей процес включає фазифікацію вхідних даних, комбінування правил, агрегацію правил та навчання параметрів моделі. Модель застосовується в різних галузях, таких як прогнозування, управління та розпізнавання образів, де вимагається моделювання складних нечітких систем та адаптивне прогнозування [1].

Модель TSK (Takagi-Sugeno-Kang) є важливим інструментом для нейро-нечіткого прогнозування, яка була розроблена з метою апроксимації нечітких функцій.

Архітектура моделі TSK складається з трьох основних шарів. Перший шар - вхідний, отримує вхідні дані та передає їх до наступних шарів. Другий шар містить правила, які визначають зв'язок між вхідними та вихідними змінними. Кожне правило має форму "ЯКЩО  $x_1 \in A_1$  І  $x_2 \in A_2$  ТО  $y = f(x_1, x_2)$ ", де  $A_1$  та  $A_2$  - нечіткі множини, а  $f$  - функція, яка обчислює вихід на основі вхідних змінних. Третій шар - вихідний, обчислює вихідні значення як лінійну комбінацію вхідних змінних та параметрів моделі [2].

Процес навчання моделі TSK включає фазифікацію вхідних даних, визначення активації правил, агрегацію правил та комбінування правил для отримання вихідного значення. Модель

застосовується для апроксимації складних нечітких функцій та прогнозування в різних галузях, таких як фінанси, економіка, медицина та інші [2].

Модель ANFIS-СМАС (Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System with Cerebellar Model Articulation Controller) є комбінованою моделлю, яка поєднує в собі ANFIS та СМАС для покращення прогнозування та управління. ANFIS-СМАС ставить перед собою завдання апроксимації нечітких функцій та управління складними системами, поєднуючи в собі переваги обох підходів.

Архітектура ANFIS-СМАС базується на архітектурі ANFIS, що включає в себе шари для фазифікації вхідних даних, визначення активації правил, агрегації правил та виведення результату. Додавши до цього архітектуру СМАС, ANFIS-СМАС використовує навчання з учителем для підгонки параметрів СМАС та навчання на основі даних для покращення точності та швидкості прогнозування [3].

Принцип роботи ANFIS-СМАС полягає в тому, що вхідні дані фазифікуються за допомогою нечітких множин, а потім використовуються для визначення активації правил ANFIS. Активовані правила використовуються для обчислення вихідного значення, яке подається на вхід СМАС. СМАС в свою чергу використовує це значення для навчання та прогнозування [3].

Однією з основних переваг ANFIS-СМАС є можливість працювати з нестационарними даними та адаптуватися до середовища яке змінюється. Крім того, комбінування нечіткої логіки ANFIS та навчання на основі даних СМАС дозволяє досягати високої точності та ефективності прогнозування[3].

Усі три моделі - ANFIS, TSK і ANFIS-СМАС – є потужними інструментами для нейро-нечіткого прогнозування, які дозволяють не лише моделювати складні нечіткі системи, а й адаптивно прогнозувати в умовах середовища, що змінюється.

ANFIS відрізняється складною архітектурою з кількома шарами, що дозволяє ефективно моделювати взаємозв'язки між вхідними та вихідними змінними. TSK використовується для апроксимації нечітких функцій, що робить його особливо корисним у фінансах, економіці та медицині. ANFIS-СМАС, зі своєю здатністю працювати з нестационарними даними та адаптуватися до змін, є ідеальним інструментом для управління складними системами. Вибір конкретної моделі залежить від конкретних вимог дослідження та специфіки задачі, але в цілому, ANFIS, TSK і ANFIS-СМАС є надійними та ефективними інструментами для нейро-нечіткого прогнозування.

### **Висновки**

У даній роботі було проведено аналіз та порівняння підходів до нейро-нечіткого прогнозування, зокрема моделей ANFIS, TSK та ANFIS-СМАС. Кожна з цих моделей має свої переваги та обмеження, які важливо враховувати при виборі для конкретної задачі прогнозування. Гібридність цих моделей, яка поєднує в собі переваги нейромереж та нечіткої логіки, робить їх надзвичайно потужними інструментами для широкого спектру застосувань.

Модель ANFIS відрізняється гнучкістю та здатністю адаптуватися до різних умов, але вимагає велику кількість даних для навчання та складні алгоритми оптимізації. Модель TSK є ефективною у випадках, коли важлива точність прогнозування, але вона вимагає попередньої експертної думки для визначення нечітких правил. Модель ANFIS-СМАС поєднує в собі переваги обох підходів, забезпечуючи високу точність та адаптивність до умов, які змінюються.

Отже, вибір конкретної моделі для нейро-нечіткого прогнозування повинен залежати від конкретних вимог задачі та особливостей даних. Крім того, можна розглядати комбінацію моделей для досягнення більшої точності та надійності прогнозування.

### **СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ**

1. Salleh, M.N.M., Talpur, N., Hussain, K. (2017). Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System: Overview, Strengths, Limitations, and Solutions. In: Tan, Y., Takagi, H., Shi, Y. (eds) Data Mining and Big Data. DMBD 2017.
2. X. Gu, F. -L. Chung and S. Wang, "Bayesian Takagi–Sugeno–Kang Fuzzy Classifier," in IEEE Transactions on Fuzzy Systems, vol. 25, no. 6, pp. 1655-1671, Dec. 2017.
3. Mohammad Fazle Azeem, Fuzzy Inference System – Theory and Applications, Croatia, Rijeka: InTech, 2012, pages 421-443.

*Ліщук Андрій Романович* – студент групи 174-23а, факультет інтелектуальних інформаційних технологій та автоматизації, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail : a.r.lishchuk@gmail.com

*Lishchuk Andrii R.* – student of 174-23a group, Faculty of Intelligent Information Technology and Automation, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail : a.r.lishchuk@gmail.com