

## МЕТОДИКА ОПЕРАТИВНОГО ПРОГНОЗУВАННЯ НАДХОДЖЕННЯ ВАНТАЖНИХ ВАГОНІВ НА СТАНЦІЮ З ВИКОРИСТАННЯМ НЕЙРОНЕЧІТКИХ МЕРЕЖ

Складено методику оперативного прогнозування надходження вантажних вагонів на залізничну станцію з використанням адаптивних мереж нечіткого виводу ANFIS-1 і ANFIS-2, що надають попередній та остаточний прогнози за алгоритмом TSK.

*Ключові слова:* оперативне прогнозування, попередній та остаточний прогноз, адаптивна система нейронечіткого виводу, терм, функція приналежності.

**Вступ та постановка проблеми.** На даний час у багатьох країнах світу, в тому числі державах Євросоюзу, Росії та Україні, зростає розуміння важливості вирішення глобальних проблем транспортних комплексів. Це, перш за все, пов'язано з вимогами підвищення безпеки та ефективності перевезень, з ростом мобільності суспільства, зменшення впливу транспорту на навколишнє середовище та інших. У вирішенні цих проблем найважливіше місце займає створення та використання інтелектуальних транспортних систем. На українських залізницях діє понад тисячі автоматизованих систем, основна із них АСК ВП УЗ-С, яка дає можливість вести контроль завантаження вагонів на основі оперативного прогнозування їх надходження [1]. На даний час оперативне прогнозування здійснюється традиційними математичними методами, але всі вони мають істотні недоліки; для більш якісного здійснення оперативного прогнозування доцільно використання сучасних методів з використанням нейронних мереж: багатошарового перцептрон (MLP), радіально-базисної мережі (RBF), узагальнено-регресійної мережі (GRNN), мережі Вольтерра, мережі Елмана та ANFIS-системи, огляд яких виконано в [2]. Нечіткі нейронні мережі (гібридні мережі) покликані об'єднати в собі переваги нейронних мереж і систем нечіткого виводу [3].

У даній роботі використовувались адаптивні мережі нечіткого виводу ANFIS (Adaptive-Network-Based Fuzzy Inference System, що реалізовані в пакеті MatLAB розширення Fuzzy Logic Toolbox. Загальна структура гібридної нейронечіткої мережі ANFIS складається з п'яти шарів; до основних етапів роботи нейронечіткої мережі відносяться: формування бази правил системи нечіткого виводу, фазифікація вхідних змінних, агрегування, активізація, акумуляція, дефазифікація вихідних змінних.

**Задача прогнозування** надходження на станцію вантажних вагонів (завантажених і порожніх) вирішувалась в два етапи (рис. 1): на першому етапі спроектовано ANFIS-1, на другому етапі - ANFIS-2.

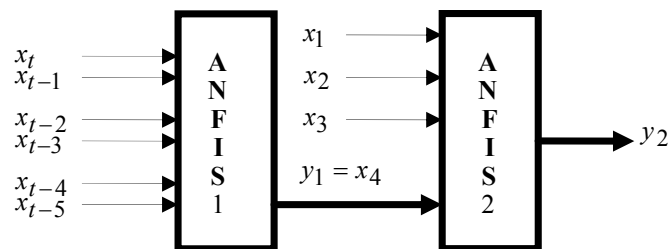


Рис. 1. Загальна структура гібридних мереж прогнозування

Система ANFIS-1 передбачає виконання попереднього прогнозу (на годину вперед), на вхід якої подаються  $x_t, x_{t-1}, x_{t-2}, x_{t-3}, x_{t-4}, x_{t-5}$ , що представляють дані про обсяг вагонів за попередні години  $t, t-1, t-2, t-3, t-4, t-5$ . Результат прогнозу  $y_1$  - це обсяг вагонів на  $t+1$  годину, що приймається в якості вхідного параметра для ANFIS-2 на етапі остаточного

прогнозування. Система ANFIS-2 враховує:  $x_1$  – завантаженість станції (1 – мала, 2 – середня, 3 – велика, 4 – дуже велика);  $x_2$  – коливання плану протягом кварталу (1 – перший квартал, 2 – другий квартал, 3 – третій квартал, 4 – четвертий квартал);  $x_3$  – коливання плану протягом добового періоду (6 – нічний: від 0.00 до 6.00, 12 – ранковий: від 6.00 до 12.00, 18 – денний: від 12.00 до 18.00, 24 – вечірній: від 18.00 до 24.00);  $x_4$  – кількість вагонів (25 – від 0 до 25 вагонів, 50 – від 25 до 50 вагонів, 75 – від 50 до 75 вагонів, 100 – від 75 до 100 вагонів); на виході ANFIS-2 прогнозне значення  $y_2$ , що представляє остаточний обсяг вагонів. У якості вхідних даних використано реальні значення обсягу перевезених вантажних (завантажених та порожніх) вагонів по станції Синельникове-1 за 2 березня 2014 р. У задачі прогнозування використовується алгоритм TSK.

**Проектування гібридних систем** ANFIS-1 і ANFIS-2 складається з етапів: завантаження навчальної вибірки, створення та навчання системи (використаний гібридний метод, який об'єднує метод зворотного поширення помилки з методом найменших квадратів), тестування та збереження системи.

**Попередній прогноз обсягу вагонів** здійснюється на основі ANFIS-1. Виконано дослідження кількості входів системи, для кожної з яких виконувалось 5 запусків мережі. Середньоквадратичну похибку (приблизно 1 вагон) та найменше значення помилок в прогнозі вантажних (завантажених і порожніх) вагонів (приблизно 0,18 та 0,19 відповідно) дає система ANFIS-1 з шістьма входами. Вибірki для вагонів складаються з 90 навчальних прикладів; база правил нечіткого виводу має  $2^6 = 64$  правил.

**Остаточний прогноз обсягу вагонів** здійснюється на основі ANFIS-2. Вибірki складаються із 48 навчальних прикладів; база правил нечіткого виводу має  $2^4 = 16$  правил. Виконано дослідження функцій приналежності, розглянуто функції: трикутну, трапецієвидну, гаусову та сигмоїдальну. Найменше значення середнього часу навчання, середньоквадратичної похибки та середнього числа помилок в цьому прогнозі дає система з трикутною функцією приналежності.

### Висновки

1. Прогнозування (на одну годину вперед) обсягу вантажних вагонів здійснюється на основі спроектованих гібридних мереж в два етапи. На першому етапі виконується попередній прогноз обсягу вантажних вагонів на основі ANFIS-1, на другому етапі - остаточний прогноз на основі ANFIS-2, що враховує результат попереднього прогнозу, а також процес виконання місцевої роботи в умовах квартального плану та інтервалу доби відповідного типу.

2. Значення показника середньої похибки прогнозу (на одну годину вперед) вантажних вагонів не перевищує рівня в 1 вагон. Отже, цей показник свідчить про адекватність оперативного прогнозування реальному технологічному процесу надходження вагонів на станції Синельникове-1 за березень 2014 р.

### Список джерел

1. Жуковицький І.В. Створення нових можливостей АСК ВП УЗ із підтримки оперативного планування призначення локомотивів до складу вантажних поїздів [Текст] / І.В. Жуковицький, А.Б. Устенко, О.Л. Зиненко // Інформ.-кер. системи на залізничному транспорті. – 2011. – № 5. – С.51-56.
2. Пахомова В.М. Розробка підсистеми оперативного прогнозування простоїв прибуваючих поїздів на основі ANFIS-системи [Текст] / В.М. Пахомова, С.Ю. Дмитрієв. – Інформ.-кер. системи на залізничному транспорті. – 2013. – № 4. – С. 46-55.
3. Костенніков О.М. Удосконалення технології формування місцевого вагонопотоку на дільниці в умовах сезонного коливання обсягів навантаження [Текст]: Автореф. дис. ...канд. техн. наук: 05.22.01 / Українська держ. акад. залізн. трансп. – Х., 2012. – 20 с.