

**Д. В. КОНСТАНТИНОВ**, канд. техн. наук, ст. викл., УкрДАЗТ, Харків;  
**К. В. КРАМЧЕНКО**, студент, УкрДАЗТ, Харків

## МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ ОПЕРАТИВНОГО РЕГУЛЮВАННЯ ШВИДКІСНИХ МІЖРЕГІОНАЛЬНИХ ПАСАЖИРСЬКИХ ПЕРЕВЕЗЕНЬ

У статті представлено реалізацію перспективної розробки з удосконалення системи швидкісних міжрегіональних пасажирських перевезень залізниць України. Здійснено моделювання системи підтримки прийняття рішень оперативного управління процесом експлуатації швидкісного рухомого складу.

**Ключові слова:** міжрегіональні, пасажирські, перевезення, пасажиропотоки, технологія, експлуатація, регулювання, моделювання.

**Вступ.** Сучасна організація швидкісних міжрегіональних пасажирських перевезень на залізницях України здійснюється недостатньо ефективно та потребує удосконалення. Останні досягнення в питанні їх розвитку, пов'язані з впровадженням нових швидкісних поїздів та удосконаленням основних ліній прямування, дозволили дещо покращити швидкості перевезень між основними великими містами країни але значно менше ніж очіувалося. Тому, враховуючи нестабільність в рівні попиту, та недостатню ефективність останніх досягнень, важливим є пошук додаткових шляхів удосконалення швидкісних міжрегіональних пасажирських перевезень спрямованих на технологічну складову.

Сучасний досвід організації швидкісних міжрегіональних пасажирських перевезень свідчить про значну нерівномірність основних показників роботи,

пов'язаних здебільше зі значними коливаннями пасажиропотоків в різні періоди часу (рис. 1), які впливають на виникнення невизначеності в питаннях вибору оптимальних експлуатаційних заходів.

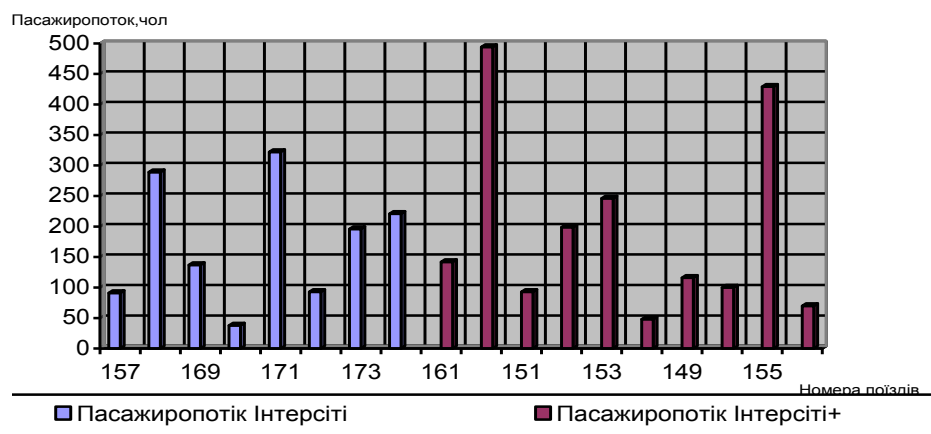


Рис. 1 – Графік коливання добового пасажиропотоку всіх маршрутів міжрегіональних швидкісних поїздів за 01.01.2013р.

Це призводить до формування недосконалої системи планування швидкісних міжрегіональних перевезень, визначення доцільних регулювальних заходів здійснюється наближеними способами, визначаючи кількість, схеми обертання та складу поїздів виходячи із досвіду та фактичних обсягів перевезень відповідного періоду у минулому часі.

Діючі технології організації обробки швидкісних пасажирських составів у пунктах оберту, згідно досліджень, можуть дозволити проводити оперативну заміну

швидкісного рухомого складу різної місткості з урахуванням схем та резервів відповідно до технічного оснащення, завдяки чому з'являється можливість використання оперативних технологій управління, в основу яких покладені принципи адаптації до умов ринку транспортних послуг.

Приклади використання подібних технологій було представлено в [1] та [2] при вирішенні задач оперативного регулювання композицій дальніх та приміських поїздів. Отримані результати показали значну ефективність запропонованого підходу при проектуванні математичної моделі оперативного регулювання з перспективою створення на її базі системи підтримки прийняття рішень (СППР) для оперативного регулювання складів поїздів в дальньому та приміському сполученнях. Розробка за даним прикладом нової моделі оперативного регулювання швидкісних міжрегіональних пасажирських перевезень, з використанням додаткових параметрів моделювання для збільшення точності і адекватності, та подальша реалізація її у якості СППР може бути новим перспективним рішенням в питанні розвитку системи пасажирських перевезень залізниць України.

Представлені в статті дослідження та розробки виконувалися згідно з Концепцією Державної програми реформування залізничного транспорту від 27 грудня 2006 р. № 651-р, Концепцією Державної цільової програми впровадження на залізницях швидкісного руху пасажирських поїздів на 2005-2015р. від 31 грудня 2004р. №979-р та Програмою інформатизації та реструктуризації галузі від 2002р.

**Мета роботи.** Отже впровадження оперативного регулювання з використанням нового рухомого складу Інтерсіті та Інтерсіті+ (IC, IC+), на основі передових досягнень в галузі інтелектуальних технологій є одним з найперспективніших шляхів розвитку сучасних швидкісних перевезень. Реалізація оперативної технології потребує надання системі управління адаптації та сприятливості до змін ситуації на ринку перевезень що обумовлює необхідність розробки та впровадження систем підтримки прийняття рішень (СППР), спрямованих на оптимізацію процесу прийняття оперативних рішень на всіх рівнях управління швидкісними пасажирськими перевезеннями.

**Методика експериментів.** Тому з огляду на складність управління швидкісними перевезеннями та присутність при плануванні нечіткої вхідної інформації, а також досвід попередніх розробок систем оперативного регулювання в роботі для розв'язання поставленої науково-прикладної задачі запропоновано здійснення моделювання на основі використання математичного апарату нечіткої логіки та нейронних мереж.

Запропонований метод проектування математичної моделі оперативного регулювання швидкісним рухом дозволяє використовуючи нелінійні принципи, представляти експертні висновки за допомогою правил, а існуюча гібридна технологія адаптивних нейро-нечітких систем висновків ANFIS - (Adaptive Network-baset Fuzzy Interference System) дає можливість автоматизувати процес настроювання моделі.

**Обговорення результатів.** З огляду на поставлену мету реалізації оперативного регулювання швидкісних перевезень та удосконалення технології руху міжрегіональних поїздів категорії Інтерсіті та Інтерсіті+ можливі варіанти рішення задачі залежать від чотирьох основних параметрів технологічного процесу в швидкісному русі - очікуваних темпів зміни пасажиропотоку  $\Delta P$ , отриманих за прогнозом надходження пасажирів на транспорт, населеності пасажирських поїздів

$H$  даного напрямку по прибуттю на станцію, коефіцієнта нерівномірності розподілу пасажиропотоку на шляху прямування від початкової до кінцевої станції маршруту  $K_n$ , та достатнього часу на реалізацію оперативного регулювання  $t_{об}$  в умовах обмеження за розкладом руху.

Перший параметр нечіткої моделі є навантаженням на об'єкт ідентифікації та визначається як рівень зміни пасажиропотоку в певний період доби у порівнянні місткості поїзду по прибуттю з прогнозованим пасажиропотоком, що планується до відправлення, пас.

$$\Delta P = P_{nj}^{прог} - P_{ni}^{приб}, \quad (1)$$

де  $P_{nj}^{прог}$  - прогнозований пасажиропотік на  $n$ -ий період доби, що планується до відправлення у  $j$ -ту одиницю часу;

$P_{ni}^{приб}$  - загальна місткість складу по прибуттю на станцію у  $n$ -ий період доби в у  $i$ -ту одиницю часу представлена у вигляді максимальної кількості пасажирів у складі, що відповідає рівню рентабельності та може бути розрахована за формулою.

$$P_{ni}^{приб} = m_{ni} \cdot A_{ваг}, \quad (2)$$

де  $m_{ni}$  – склад поїзда по прибуттю на станцію у  $n$ -ий період доби в у  $i$ -ту одиницю часу;

$A_{ваг}$  - місткість одного вагона швидкісного поїзду Інтерсіті (Інтерсіті +), що відповідає рівню рентабельності.

При цьому  $\Delta P$  може приймати наступні значення.

$$\Delta P = \begin{cases} > 0, & \text{якщо } P_{nj}^{прог} > P_{ni}^{приб} \\ 0, & \text{якщо } P_{nj}^{прог} = P_{ni}^{приб} \\ < 0, & \text{якщо } P_{nj}^{прог} < P_{ni}^{приб} \end{cases} \quad (3)$$

Другий параметр визначає рівень населеності поїздів по відправленню зі станцій на основі співставлення прогнозу пасажиропотоку та загальної кількості місць даного поїзду по прибуттю на станцію.

$$H = \frac{f(x) \cdot 100\%}{P_{ni}}, \quad (4)$$

де  $f(x)$  - проноз пасажиропотоку на певний період доби на даний напрямок;

Умовою рентабельності міжрегіональних поїздів та доцільності їх формування на кожному напрямку є оптимальний рівень населеності, що повинен складати не менш ніж 80% та знаходитись в межах 80-100%, тобто  $H$  доцільно спрямовувати до значень у наступному діапазоні.

$$80\% \leq H \leq 100\% \quad (5)$$

Третій параметр визначає нерівномірність розподілу пасажиропотоку на шляху прямування від початкової до кінцевої станції маршруту та представляється коефіцієнтом нерівномірності  $K_n$ , що дозволяє оцінити доцільність оперативного регулювання не тільки на основі аналізу коливань пасажиропотоків та населеності на станціях відправлення та обороту а також врахувати коливання показників на шляху прямування. Розрахунок даного параметра доцільно здійснювати за формулою.

$$K_n = N_{\max} / N_{\text{сер}}, \quad (6)$$

де  $N_{\max}$  – найбільше значення показника;  
 $N_{\text{сер}}$  – середнє значення показника.

При цьому з метою раціоналізації можливих заходів оперативного регулювання та можливості їх адаптації до значних коливань даного параметру доцільно приймати до вихідних даних моделі значення коефіцієнта нерівномірності розподілу пасажиропотоку на шляху прямування, що знаходяться в межах.

$$1 \leq K_n \leq 2 \quad (7)$$

Четвертий параметр характеризує наявність можливості реалізації оперативного регулювання, що відображає достатність часу знаходження поїзду на станції оборту для виконання оперативного регулювання.

$$t_{\text{об}} = t_{nj} - t_{ni} \quad (8)$$

При цьому час знаходження складу в обороті повинен бути більшим за час виконання оперативного регулювання.

$$t_{\text{об}} \geq t_{\text{оп}}, \quad (9)$$

де  $t_{\text{об}}$  - час простою швидкісного поїзду на станції по обороту, год;

$t_{nj}$  - час відправлення поїзду у  $n$ -ий період доби в  $j$ -ту одиницю часу, год;

$t_{ni}$  - час прибуття поїзду у  $n$ -ий період доби в  $i$ -ту одиницю часу, год;

$t_{\text{оп}}$  - час, потрібний на реалізацію оперативного регулювання складу швидкісного поїзду, згідно технології роботи ПТС, год.

Отже запропонована модель може розглядатися як система з чотирма входами  $X = (\Delta P, H, K_n, t_{\text{об}})$  та одним дискретним виходом  $D = \{d_1, d_2, \dots, d_k\}$ , де  $d_k$  ( $k = 1, N$ ) дискретні значення, що відповідають одному з рівнів прийняття рішень.

Таким чином, задача розробки відповідних рішень для оперативного регулювання композиції складу полягає у виконанні відображення.

$$X = (\Delta P, H, K_n, t_{\text{об}}) \rightarrow D \in \{d_1, d_2, \dots, d_k\}, \quad (10)$$

де  $d_1$  - замінити швидкісний поїзд на інший зі збільшеним складом на  $(P_{nj}^{\text{прог}} - P_{ni}^{\text{приб}}) / A_{\text{ваг}}$  вагонів;

$d_2$  - замінити швидкісний поїзд на інший зі зменшеним складом на  $(P_{nj}^{\text{прог}} - P_{ni}^{\text{приб}}) / A_{\text{ваг}}$  вагонів;

$d_3$  - не здійснювати ніяких змін;

$d_4$  - призначити додатковий швидкісний поїзд складом  $(P_{nj}^{\text{прог}} - P_{ni}^{\text{приб}}) / A_{\text{ваг}}$  вагонів;

$d_5$  - відмінити додатковий швидкісний поїзд складом  $(P_{nj}^{\text{прог}} - P_{ni}^{\text{приб}}) / A_{\text{ваг}}$  вагонів;

$d_6$  - призначити довгосоставний експрес складом  $(P_{nj}^{\text{прог}} - P_{ni}^{\text{приб}}) / A_{\text{ваг}}$  вагонів і відмінити швидкісний поїзд;

$d_7$  - відмінити довгосоставний експрес складом  $(P_{nj}^{\text{прог}} - P_{ni}^{\text{приб}}) / A_{\text{ваг}}$  вагонів та призначити швидкісний поїзд.

Даний підхід розробки моделі дозволяє описати вхідні параметри  $x_i (i = \overline{1, n})$  відповідними нечіткими лінгвістичними змінними (ЛЗ) [1,2,3], які представляють кортеж наступного виду  $\langle N_i, T_i, X_i \rangle$ , де  $N_i$  – назва ЛЗ;  $T_i$  – терм-множина ЛЗ  $N_i$  або множина її значень (термін), кожний з яких являє собою найменування окремої нечіткої змінної  $\alpha_j^i (j = \overline{1, m})$ , що визначена у вигляді кортежу  $\langle \alpha_j^i, X_i, \tilde{A}_j^i \rangle$ , в якому нечітка підмножина  $\tilde{A}_j^i$  базової множини  $X_i$  описує можливі значення, що може приймати нечітка змінна  $\alpha_j^i$  [1,2,3,4].

$$\tilde{A}_j^i = \{ \langle x, \mu_{\tilde{A}_j^i}(x) \mid X_i \rangle \}, \quad (11)$$

де  $\mu_{\tilde{A}_j^i} : X_i \rightarrow [0,1]$  - функція приналежності нечіткої підмножини  $\tilde{A}_j^i$ , яка ставить у відповідність кожному елементу  $x \in X_i$  число з інтервалу  $[0,1]$ , що представляє ступінь приналежності елемента  $x$  підмножині  $\tilde{A}_j^i$  [1,2].

В якості вхідних параметрів нечіткої моделі будемо розглядати чотири нечіткі ЛЗ:  $N_1 = \Delta P =$  «Величина зміни пасажиропотоку між відправленням та прибуттям»,  $N_2 = H =$  «Населеність міжрегіонального поїзду по відправленню»,  $N_3 = K_n =$  «Нерівномірність пасажиропотоку на шляху прямування» та  $N_4 = t_{об} =$  «Час знаходження на станції обороту». Формалізацію нечітких термів в роботі здійснено за допомогою моделей функцій приналежності (ФП), параметри яких можуть модифікуватися в процесі настроювання моделі, що дозволяє змінювати положення та структуру нечітких множин.

Значення першої ЛЗ  $\Delta P$  визначається з терм-множини  $T_1 = \{ \langle \text{«від'ємно високі»(ВВ), «від'ємно низькі»(ВН), «відсутні»(Н), «додатньо низькі»(ДН), «додатньо високі»(ДВ)} \}$ . Для термів «ВН», «Н», «ПН» запропоновано використовувати ФП, що формується з використанням кусочно-лінійної апроксимації та має трикутну структуру. Крайні терми «ВВ» та «ПВ» описуються ФП, яка має трикутну структуру відповідно відкриту ліворуч та праворуч [1,2]. З метою пристосованості бази правил та відповідності висновків до практичних оперативних заходів необхідним є уточнення значень терм-множин а саме (ВВ,ДВ)~ $A_n$ , (ВН,ДН)~ $A_{ваг}$ ,  $H < A_{ваг}$ , де  $A_n$  – місткість вагонів швидкісного поїзду розміром від мінімального складу та більше, та  $A_{ваг}$  – місткість вагонів швидкісного поїзду розміром від 1 до мінімального складу.

Другу ЛЗ  $H$  описано за допомогою терм-множини  $T_2 = \{ \langle \text{«нижче мінімального»(НМ), «оптимальне»(О), «вище максимального»(ВМ)} \}$ . Нечіткий терм «оптимальне» представлений за допомогою ФП симетричного гаусового типу. Для крайніх термів лінгвістичної змінної ФП формуються на основі поліноміальних кривих. Приймаємо для термів «нижче мінімального» та «вище максимального» відповідно Z-подібну ФП, що представляє собою асиметричну поліноміальну криву відкриту ліворуч та S-подібну ФП, яка є дзеркальним відображенням функції Z [1,2].

Третю ЛЗ  $K_n$  описано за допомогою терм-множини  $T_3 = \{ \langle \text{«низький»(Н), «середній»(С), «високий»(В)} \}$ . Нечіткий терм «середній» представлений за допомогою ФП симетричного гаусового типу. Для крайніх термів лінгвістичної змінної ФП формуються на основі поліноміальних кривих. Приймаємо для термів

«низький» та «високий» відповідно Z-подібну ФП, що представляє собою асиметричну поліноміальну криву відкриту ліворуч та S-подібну ФП, яка є дзеркальним відображенням функції Z.

Четверту ЛЗ  $t_{об}$  визначаємо за допомогою терм-множини  $T_4 = \{\text{«не достатній»(НД), «достатній»(Д)}\}$ . Для термів цієї лінгвістичної змінної ФП також формуються на основі поліноміальних кривих. Приймаємо для термів «нижче ніж достатній» та «достатній» відповідно Z-подібну ФП та S-подібну ФП, яка є дзеркальним відображенням функції Z [2].

Для подальшого моделювання за принципами нечіткої логіки лінгвістичну інформацію доцільно представити у вигляді правил в формі нечітких умовних суджень типу "Якщо ... то", де перша частина правила містить набір умов, а друга є наслідком, що містить висновок. Генерування експертним шляхом нечіткої бази правил, яка грубо відображає взаємозв'язок між входами та виходом за допомогою системи логічних висловлень представляє собою перший етап побудови моделі - структурна ідентифікація.

В даній гібридній моделі вирішено використати нечіткий логічний висновок типу Сугено 1-го порядку [1,2,5,6]. В цьому випадку правило  $r_k$  для змінних  $x_i$  можна представити в наступному вигляді.

$$r_k : \text{Якщо } x_1 \in a_1^{(k)} \perp x_2 \in a_2^{(k)} \perp x_3 \in a_3^{(k)} \text{ то ,} \\ d_k = m_{0,k} + b_{1,k} \cdot x_1 + b_{2,k} \cdot x_2 + b_{3,k} \cdot x_3 + b_{4,k} \cdot x_4, \quad (12)$$

де  $r_k$  - нечітке правило за порядковим номером  $k$ ,  $k = \overline{1, N}$ ;

$x_i$  - відповідні нечіткі ЛЗ;

$a_i^{(k)}$  - нечіткий терм з ФП  $\mu_A^{(k)}(x_i)$ , що застосовується для лінгвістичної оцінки змінної  $x_i$  у  $k$ -му правилі ( $k = \overline{1, N}$ ,  $i = \overline{1, n}$ );

$d_k$  - висновок кожного правила являє чітку лінійну функцію представлену як поліном першого порядку з коефіцієнтами  $b_{1,k}, \dots, b_{q,k}$  ( $q = \overline{1, n}$ ,  $k = \overline{1, N}$ ) та вільною складовою  $m_{0,k}$ ;

$\perp$  – операція логічного зв'язування *та, або*;

У результаті практичного аналізу розробки відповідних рішень для оперативного регулювання композиції міжрегіонального поїзда, була сформована експертна [1,2,7] система нечітких правил.

$r_1$  : Якщо  $\Delta P \in \text{«ДН»}$  та  $H \in \text{«ВМ»}$  та  $K_n \in \text{«Н»}$  та  $t_{об} \in \text{«Д»}$ , то  $d_1$ ;

$r_2$  : Якщо  $\Delta P \in \text{«ВН»}$  та  $H \in \text{«НМ»}$  та  $K_n \in \text{«Н»}$  та  $t_{об} \in \text{«Д»}$ , то  $d_2$ ;

$r_3$  : Якщо  $\Delta P \in \text{«Н»}$  або  $H \in \text{«О»}$  або  $K_n \in \text{«Н»}$  або  $t_{об} \in \text{«НД»}$ , то  $d_3$ ;

$r_4$  : Якщо  $\Delta P \in \text{«ДН»}$  або  $H \in \text{«ВМ»}$  або  $K_n \in \text{«С»}$  або  $t_{об} \in \text{«НД»}$ , то  $d_4$ ;

$r_5$  : Якщо  $\Delta P \in \text{«ВН»}$  або  $H \in \text{«НМ»}$  або  $K_n \in \text{«С»}$  або  $t_{об} \in \text{«НД»}$ , то  $d_5$ ;

$r_6$  : Якщо  $\Delta P \in \text{«ДВ»}$  або  $H \in \text{«ВМ»}$  або  $K_n \in \text{«В»}$  або  $t_{об} \in \text{«НД»}$ , то  $d_6$ ;

$r_7$ : Якщо  $\Delta P \in$  “ВВ” або  $H \in$  “НМ” або  $K_n \in$  “В” або  $t_{ob} \in$  “НД”, то  $d_7$ .

Якщо  $t_{ob}$  менше за  $T_{op}$ , реалізація за необхідності оперативного регулювання композиції можлива лише шляхом збільшення часу знаходження поїзду на станції, що потребує корегування графіку обороту та, відповідно, графіку руху поїздів.

Розглянемо реалізацію запропонованої системи нечітких правил на основі штучної нейронної мережі з п'ятишаровою прямонаправленою архітектурою з використанням «логічних нейронів» (та-, або- нейронів) [1,2], що моделюють логічні зв'язування. У процесі функціонування нечітка мережа представляє собою структуру, що складається із спеціалізованих шарів.

Шар 1. Кожен нейрон першого шару є радіальним базисним нейроном [1,2], що перетворює значення вхідної змінної  $x_i, i=1,4$  за допомогою відповідної ФП  $\mu_A^{(k)}(x_i)$ . Це параметричний шар, в якому параметри ФП підлягають адаптації в процесі навчання.

Шар 2. Другий шар непараметричний, кожен нейрон в якому моделює відповідний логічний зв'язок і посиляє на вихід активуючу силу правила, тобто ваги  $w_k$ , що представлені як оператори кон'юкції та диз'юкції у вигляді трикутної t-норми T і t-конорми S [1,2].

Для моделювання логічного оператора та використовується нечіткий нейрон, в якому вхідні сигнали  $x_i$  взаємодіють з вагами  $w_i$ , утворюючи добуток, який реалізується за допомогою трикутної t-конорми S, що представлена алгебраїчною сумою:  $P = S(w_i, x_i)$ , тоді як добуток об'єднується з використанням операції додавання на основі трикутної t-норми T – алгебраїчний добуток, що представляє собою вхід N нейрона:  $N = T(w_i, x_i)$ . Перетворення потенціалу, здійснюване нечітким нейроном із двома входами, має вигляд.

$$y = F(N) = T(S(w_1, x_1), S(w_2, x_2), S(w_3, x_3), S(w_4, x_4)) \quad (13)$$

Використовуючи протилежну підстановку, в якій добуток моделюється трикутною t-нормою T, а додавання зважених ваг – t-конормою S отримаємо перетворення, характерне для нечіткого або-нейрону.

$$y = F(G) = S(T(w_1, x_1), T(w_2, x_2), T(w_3, x_3), T(w_4, x_4)) \quad (14)$$

Таким чином, ваги визначаються нечіткою логічною операцією та як добуток ФП.

$$w_k = \mu_{A_1}^{(k)}(x_1) \cdot \mu_{A_2}^{(k)}(x_2) \cdot \mu_{A_3}^{(k)}(x_3) \cdot \mu_{A_4}^{(k)}(x_4), \quad (15)$$

а нечіткою логічною операцією або - як алгебраїчна сума.

$$w_k = (\mu_{A_1}^{(k)}(x_1) + \mu_{A_2}^{(k)}(x_2) + \mu_{A_3}^{(k)}(x_3) + \mu_{A_4}^{(k)}(x_4)) - \mu_{A_1}^{(k)}(x_1) \cdot \mu_{A_2}^{(k)}(x_2) \cdot \mu_{A_3}^{(k)}(x_3) \cdot \mu_{A_4}^{(k)}(x_4) \quad (16)$$

Шар 3. Неадаптивні вузли третього шару обчислюють нормовану силу правила [1,2].

$$\bar{w}_k = w_k / \sum_{i=1}^7 w_k \quad (17)$$

Шар 4. Четвертий шар з'єднаний з третім шаром та з усіма входами мережі. В ньому розраховується внесок одного нечіткого правила у вихід мережі [1,2].

$$\bar{w}_k d_k = \bar{w}_k (m_{0,k} + b_{1,k} \cdot x_1 + b_{2,k} \cdot x_2 + b_{3,k} \cdot x_3 + b_{4,k} \cdot x_4) \quad (18)$$

Це параметричний шар, у якому адаптації підлягають лінійні параметри  $m_{0,k}, b_{1,k}, \dots, b_{q,k}$  для  $(q = \overline{1, n}, k = \overline{1, N})$ , які визначають функції наслідків правил. Шар 5. В останньому шарі ваги піддаються нормалізації й обчислюється вихідний сигнал  $d$  відповідно до виразу (19). Це також непараметричний шар [1,2].

$$d = \sum_{k=1}^7 \bar{w}_k d_k = \frac{\sum_{k=1}^7 w_k d_k}{\sum_{k=1}^7 w_k}. \quad (19)$$

Результат розробки нейро-нечіткої моделі у вигляді мережі ANFIS [1,2,8] представлено на рис. 2. Нечітка модель оптимізована по навчальній вибірці із 70 експериментальних даних у вигляді <вхід ( $\Delta P, H, K_n, t_{об}$ ) – вихід ( $d$ )>. Мінімум похибки навчання складає

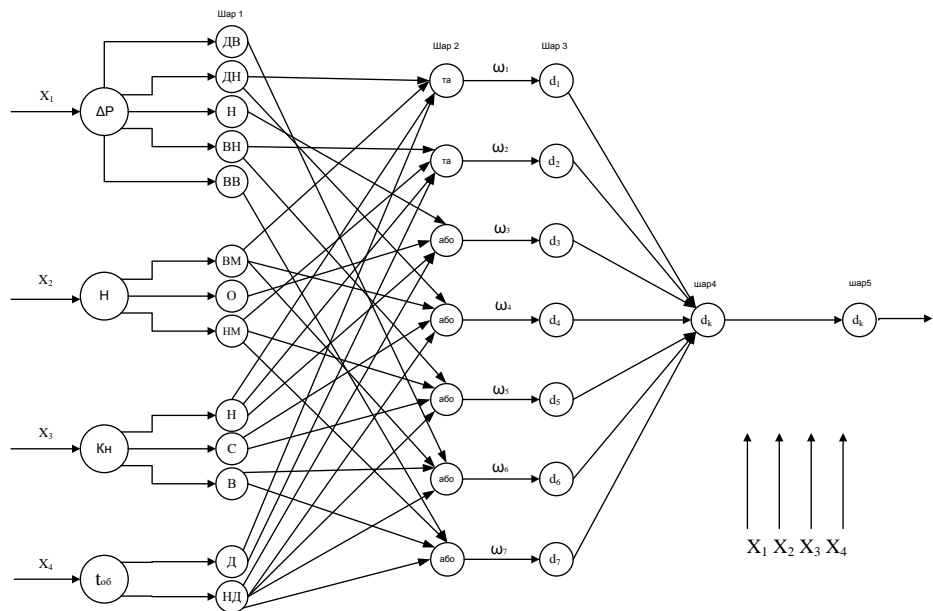


Рис. 2 – Нейро-нечітка структура мережі ANFIS

1,21% та досягається в районі 47-ї ітерації алгоритму. З метою перевірки моделі на адекватність за допомогою програмного продукту MATLAB було проведено тестування нечіткої мережі ANFIS. В результаті проведення тестування моделі на тестовій вибірці було встановлено, що похибка тестування не перевищує 4-5%, та відповідає необхідному рівню точності на виході моделі. Збільшення точності моделювання в подальшому процесі настроювання може бути досягнуте за рахунок подальшого навчання моделі під час надходження нових експериментальних даних.

**Висновки.** Реалізація запропонованої моделі у якості СППР для оперативного регулювання експлуатації рухомого складу в системі швидкісних міжрегіональних пасажирських перевезень дозволить покращити інформаційну підтримку в процесі оперативного планування пасажирського руху та автоматизувати процес формування оперативного управлінського рішення стосовно задач оптимізації експлуатаційної роботи в сфері швидкісних пасажирських перевезень. Подальший розвиток представленої СППР надасть можливість інтегрувати її до сектору швидкісних пасажирських перевезень АСК ПП УЗ з розширенням задач їх регулювання.

**Список літератури:** 1. Бутько Т. В., Прохорченко А. В. Застосування нейро-нечіткого моделювання в системах підтримки прийняття рішень для оперативного корегування поїздоутворенням пасажирських составів / Т. В. Бутько, А. В. Прохорченко // Восточно-європейський журнал передових технологій. – 2006. – Вып.1/2(19). – С. 32-36. 2. Константинов Д. В. Розроблення системи підтримки прийняття рішень з застосуванням нейро-нечіткого



моделивання для реалізації оперативного регулювання композиції составів у приміському сполученні [Текст] / Д. В. Константинов // Зб. наук. пр. / Укр. держ. акад. залізнич. трансп. – Х., 2009. – Вип. 111. – С. 68-81. **3. Язенин А. В.** Линейное программирование со случайными нечеткими данными [Текст] / А. В. Язенин // Известия АН СССР. Техническая кибернетика. 1991.- №3.- С. 52-58. **4. Ротштейн А. П.** Soft Computing: идентификация закономерностей нечеткими базами знаний [Текст] / А. П. Ротштейн, Ю. И. Митюшкин // Винницкий гос. техн. ун-т Винница: Универсум-Винница, 2002.-145 с. **5. Рутковская Д., Пилинский М., Рутковский Л.** "Нейронные сети, генетические алгоритмы и нечеткие системы" [Текст] / Д. Рутковская, М. Пилинский, Л. Рутковский //: Пер. с польск. И.Д. Рудинского.–М.:Горячая линия – Телеком, 2004. – 452 с. **6. Круглов В. В.** Сравнение алгоритмов Мамдани и Сугэно в задаче аппроксимации функции [Текст] / В. В. Круглов // Нейрокомпьютеры: разработка, применение. 2003. -№5.-С. 34-38. **7. Wang L. X.,** Generating fuzzy rules by learning from examples [Текст] / L. X. Wang, J. M. Mendel // IEEE Transaction on Systems, Man and Cybernetics. 1992. V. 22.- № 6. -P.1414-1427. **8. Jang J.** ANFIS: Adaptive-Network-Based Fuzzy Inference System [Текст] /J. Jang // IEEE Trans. Systems & Cybernetics.- 1993.- Vol.23.- P.665-685.

Надійшла до редколегії 20.09.2013

УДК 656.027(477)

**Моделивання процесу оперативного регулювання швидкісних міжрегіональних пасажирських перевезень / Константинов Д. В., Крамченко К. В.** // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Нові рішення в сучасних технологіях. – Х: НТУ «ХПІ», – 2013. - № 56 (1029). – С.128-136. – Бібліогр.:8 назв.

В статті представлена реалізація перспективної розробки по удосконаленню системи швидкісних міжрегіональних пасажирських перевезень залізничних доріг України. Здійснено моделювання системи підтримки прийняття рішень оперативного управління процесом експлуатації швидкісного подвижного складу.

**Ключевые слова:** міжрегіональні, пасажирські, перевезення, пасажиропотоки, технологія, експлуатація, регулювання, моделювання.

The article presents the implementation of advanced development to improve the high-speed inter-regional passenger transportation system of railways in Ukraine. Performed simulation decision of support system for operational control in exploitation process of high-speed rolling stock.

**Keywords:** interregional, passenger, transportation, passenger traffic, technology, operation, regulation, modeling.

**УДК 056.55**

**Н. М. ЛІЩИНА**, канд. техн. наук, доц., Луцький інститут розвитку людини  
Університету «Україна»

## **СИНТЕЗ І РЕАЛІЗАЦІЯ В ПЛІС ПЕВНИХ ТИПІВ ПАМ'ЯТІ З ВПОРЯДКОВАНИМ ДОСТУПОМ**

Наведено опис програмних моделей пам'яті з впорядкованим доступом. Пам'ять описано на мові VHDL та проведено її синтез в програмованих логічних інтегральних схемах (ПЛІС) з використанням сучасних технологій та засобів проектування.

**Ключові слова:** пам'ять з впорядкованим доступом, налаштовувана сортувальна мережа, мова VHDL.

**Вступ.** Досліджувалися три типи структур пам'яті з впорядкованим доступом (ПВД): пам'ять з впорядкованим доступом на основі налаштовуваних сортувальних мереж (ПВДН), пам'ять із змінним впорядкованим доступом (ПЗВД) та пам'ять з фіксованим впорядкованим доступом (ПФВД). У функціональному відношенні

© Н. М. ЛІЩИНА, 2013