

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ  
<< КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ >>



ВІЙСЬКОВИЙ ІНСТИТУТ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙ  
ТА ІНФОРМАТИЗАЦІЇ

# ЗБІРНИК НАУКОВИХ ПРАЦЬ

ВИПУСК № 2



КИЇВ - 2011

## МЕТОД ВІКОННОГО УПРАВЛІННЯ ПОТОКАМИ ДАНИХ В МОБІЛЬНИХ РАДІОМЕРЕЖАХ ВІЙСЬКОВОГО ПРИЗНАЧЕННЯ НА ОСНОВІ СИСТЕМИ НЕЙРО-НЕЧІТКОГО ВИВОДУ

У статті запропоновано метод віконного управління потоками даних, суть якого полягає у використанні системи нейро-нечіткого виводу для прогнозування необхідного розміру вікна перевантаження. Застосування даного методу дозволить підвищити пропускну спроможність мобільної радіомережі з динамічною топологією.

*Жук П.В., Сова О.Я., Жук А.В., Романюк В.А. Метод оконного управления потоками данных в мобильных радиосетях военного назначения на основе системы нейро-нечеткого вывода. В статье предложен метод оконного управления потоками данных, заключающийся в использовании системы нейро-нечеткого вывода для прогнозирования необходимого размера окна перегрузки. Применение данного метода позволит повысить пропускную способность мобильной радиосети с динамической топологией.*

*Zhuk P., Sova O., Zhuk O., Romanuk V. The window flow control method for military mobile radio networks using Neuro-Fuzzy Inference System. The window flow control method for mobile radio networks is offered in the article. Method consists in using of Neuro-Fuzzy Inference System for congestion window size prediction. Application of this method will allow increasing of the dynamic topology mobile radio networks carrying capacity.*

**Ключові слова:** мобільна радіомережа, динамічна топологія, управління потоками даних, вікно перевантаження.

**Актуальність досліджень.** Сьогодні головною тенденцією розвитку майбутніх мереж зв'язку є мобільність. Не винятком є і мережі зв'язку спеціального призначення, які використовуються в збройних силах (ЗС) розвинених у військовому відношенні країн світу. Поява великої кількості нових військових концепцій та теорій (зокрема концепції „мережецентричної війни”) [1], спрямованих на підвищення ефективності застосування ЗС, вимагає створення інформаційно-комунікаційної мережі, яка забезпечить доведення до учасників військових операцій достовірної та повної інформації про обстановку в реальному часі. Основними вимогами до зазначеної мережі є можливість покриття значної географічної території та здатність елементів до самоорганізації в мережу без завчасного розгортання та планування [2].

Враховуючи сьогоденний розвиток безпроводових технологій передачі даних, реалізація наведених вище вимог можлива шляхом використання так званих мобільних радіомереж (МР), які будуються за технологією MANET (*Mobile Ad-Hoc Networks*) [2, 3]. До основних особливостей мереж класу MANET відносяться: динамічна топологія, спричинена мобільністю всіх вузлів та обмеженою дальністю й пропускну спроможністю каналів радіозв'язку; неоднорідність вузлів за потужністю, мобільністю, ємністю батарей та ін.; здатність до самоорганізації.

Як і у випадку з проводовими мережами зв'язку, основне завдання МР полягає у надійній передачі потоків даних із заданою якістю обслуговування. Це завдання особливо загострюється з появою нових прикладних програм, які пред'являють жорсткіші вимоги до ширини смуги пропускання та часу затримки проходження інформації в мережі [4].

У проводових мережах забезпечення надійної та якісної передачі потоків даних здійснюється завдяки функціонуванню протоколів транспортного рівня моделі OSI, зокрема TCP та UDP, а також їх модифікації. Однак, як показав проведений аналіз [5 – 7], специфіка умов функціонування МР та відмінність завдань, які вирішуються ними, унеможливує використання зазначених протоколів при побудові мереж класу MANET або значно знижує їх ефективність через високу динаміку топології мережі. Тому завдання розробки нових та удосконалення існуючих методів управління потоками даних в МР з динамічною топологією є актуальним на сьогоднішньому етапі розвитку безпроводових технологій передачі даних.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Протокол транспортного рівня UDP відповідає за передачу мультимедійної інформації в режимі реального часу, але в ньому відсутні механізми управління потоками даних та гарантування доставки інформації. Тому, протокол TCP є основним протоколом управління потоками даних в проводових мережах зв'язку, який забезпечує узгодження швидкостей передачі між усіма елементами мережі, запобігає перевантаженням у мережі, а також забезпечує надійну доставку інформації шляхом встановлення віртуального з'єднання між відправником та адресатом. При цьому, управляючими параметрами, якими протокол TCP впливає на пропускну спроможність мережі  $S$  (1), є розмір вікна перевантаження  $W$  та величина часу очікування квитанції про підтвердження правильного прийому пакетів даних адресатом  $T_R$  (так званий тайм-аут повторної передачі) [4, 8].

$$S = \frac{W \cdot MSS}{T_R}, \quad (1)$$

де  $MSS$  – максимальний розмір сегмента транспортного рівня, який може бути надісланий в мережу.

Як видно з виразу (1), пропускну спроможність мережі прямопропорційно залежить від розміру вікна перевантаження. Очевидно, що втрата сегмента з даними або перевищення часу їх очікування може значно зменшити швидкість передачі і спричинити перевантаження мережі. Тому основна ідея більшості алгоритмів управління потоками даних полягає у адаптивному налаштуванні швидкості передачі даних в залежності від навантаження на маршруті між відправником та адресатом шляхом зміни вікна перевантаження  $W$ .

Очевидно, що в ідеальному випадку кожне TCP-з'єднання намагатиметься передавати дані з максимальною швидкістю, тобто розмір вікна перевантаження буде встановлено в якесь максимальне значення. На практиці встановлення максимального розміру вікна перевантаження відбувається поступово. Для цього розроблена низка алгоритмів („ковзаюче вікно” (sliding window), адитивне збільшення – мультиплікативне зменшення (AIMD), повільний старт (slow start) та ін.), які поступово збільшують швидкість передачі до моменту втрати пакетів з даними, або коли величина тайм-ауту  $T_R$  перевищить деяке допустиме значення. Як тільки з'єднання TCP виявляє втрату пакету – значення вікна перевантаження різко зменшується до „безпечного” розміру і процес збільшення розміру вікна починається заново [15].

Стандартний протокол TCP „вважає”, що втрата пакетів під час передачі в проводовій мережі може відбуватися лише в результаті її перевантаження через низьку пропускну спроможність або недостатню ємність отримувача. Однак, в МР втрати пакетів можуть відбуватися не тільки через перевантаження мережі, але і через велику кількість помилок у радіоканалі, що змушує протокол TCP здійснювати зайві повторні передачі пакетів, внаслідок чого пропускну спроможність радіомережі витрачається в основному на передачу службового трафіку. Крім того, розриви каналу зв'язку, пов'язані з мобільністю абонентів, приводять до тривалих простоїв протоколу TCP через необхідність пошуку та побудови нових маршрутів передачі на мережевому рівні моделі OSI, а також очікування квитанцій про прийом пакетів на стороні адресата [9].

З метою підвищення продуктивності протоколу TCP розроблено багато методів управління потоками даних, які відрізняються один від одного обсягом управляючого впливу, параметром, який використовується в якості метрики контролю стану мережі та функціонуванням на різних рівнях моделі OSI [5]. Однак ці методи втрачають свою ефективність в умовах швидкої зміни топології, притаманних мережам MANET, а також не надають можливість вузлу МР приймати рішення з вибору розміру вікна перевантаження в умовах невизначеності, які пов'язані з [11]:

- складністю формалізованого опису МР та задач управління ними з врахуванням похибок при обчисленнях та вимірюваннях;
- нечіткістю цілей функціонування та задач управління;

- нестационарністю параметрів МР та системи управління ними (висока мобільність абонентів, зміна і непередбачуваність топології мережі);
- апріорною невизначеністю обстановки та умов функціонування МР;
- наявністю випадкових та навмисних впливів зовнішнього середовища (засоби знищення та радіоелектронного подавлення);
- викривленням інформації під час передачі в каналах радіозв'язку та ін.

З метою адаптації протоколу TCP до динамічного середовища мереж MANET, а також забезпечення здатності МР до самоорганізації та адаптації її елементів до різних умов функціонування, які характеризуються невизначеністю, у низці робіт запропоновано використання технологій обробки знань для управління потоками даних, зокрема протокол Fuzzy-RED [5, 10]. Однак, цей протокол в якості параметра для управління потоками даних у мережі використовує тільки розмір черги та швидкість її зміни, не враховуючи вимог до передачі певного типу трафіка та ситуацію в мережі. Крім того, класичним системам з нечіткою логікою, не здатним автоматично навчатися, притаманний суттєвий недолік: набір нечітких правил, вид та параметри функцій приналежності, що описують вхідні та вихідні змінні системи, а також вид алгоритму нечіткого виводу обираються суб'єктивно експертом-людиною, що не завжди адекватно відповідає дійсності [12].

Одним з перспективних науково-технічних напрямків, що дозволяють усунути зазначений вище недолік систем з нечіткою логікою, є застосування гібридних інтелектуальних систем, зокрема систем нейро-нечіткого виводу, які об'єднують в собі переваги нейронних мереж та систем нечіткого виводу. З одного боку, вони дозволяють розробляти та подавати моделі систем у формі правил нечітких продукцій, що володіють наочністю та простотою змістовної інтерпретації. З іншого боку, для побудови правил нечітких продукцій використовуються методи нейронних мереж, що є більш зручним та менш складним процесом для системних аналітиків [14].

Отже, враховуючи вищесказане, можна зробити висновок, що існуючі методи управління потоками даних для стаціонарних мереж, а також їх модифікації для безпроводових мереж, володіють низькою адаптивністю до змін топології і не враховують вимог до передачі різних типів трафіка, внаслідок чого відбувається неоптимальне використання обмежених мережевих ресурсів (смуги пропускання, ємності батарей та ін.). Це підтверджує важливість та **актуальність наукової задачі**, пов'язаної з розробкою нових методів управління потоками даних для мереж військового призначення з динамічною топологією.

**Метою** даної статті, є підвищення ефективності функціонування мобільних радіомереж військового призначення за рахунок використання системи нейро-нечіткого виводу для управління розміром вікна перевантаження. **Об'єктом** досліджень є процеси управління потоками даних в МР, **предметом** дослідження – методи управління потоками даних в МР з динамічною топологією.

### ***Постановка задачі наукового дослідження.***

**Допущення:** у зв'язку з неможливістю збору в реальному режимі часу інформації про стан всієї МР будемо розглядати процес управління потоками даних на інформаційному напрямку  $a - b$ , який складається з кінцевих вузлів  $a$  та  $b$  (відповідно відправник та адресат), а також множини вузлів, які формують канали передачі між  $a$  та  $b$ .

**Задані параметри МР:** кількість вузлів  $N \leq 100$ ; вузли енергонезалежні – ємність батареї  $i$ -го вузла  $e_i^0 = \infty$ ; тип інформації –  $\xi = 1-3$  (мова, відео, передача даних); кількість адресатів при кожній сесії  $|b| = 1$  (однокористувальницька передача); вхідне навантаження  $\Gamma_{\xi}^{a-b}(t) = \|g_{\xi}^{a-b}(t)\|$ ,  $g_{\xi}^{a-b}(t) \leq g_{\max}^{a-b}$  для  $a \neq b$ ;  $\omega^{a-b}(t) \leq \omega_{\max}^{a-b}$  – інтенсивність зміни топології; пропускна спроможність напрямку  $s^{a-b} \leq s_{\max}^{a-b}$ ; радіозв'язність між вузлами мережі підтримується одним з протоколів канального рівня; наявність  $k$ -го маршруту визначається протоколами мережевого рівня.

**Множина вимог до методу управління потоками даних**  $\{B_q\} = \{B_1, B_2, B_3, B_4\}$ : робота в умовах децентралізованого управління; мінімальна завантаженість мережі службовою інформацією; можливість одночасного використання кількох метрик управління потоками даних; можливість взаємодії з різними рівнями моделі OSI.

**Необхідно:** здійснити синтез методу управління потоками даних, який забезпечить необхідну пропускну спроможність інформаційного напрямку МР ( $S^{a-b}$ ) шляхом вибору оптимального розміру вікна перевантаження  $W_n^{a-b}(t)$  на виході  $n$ -го вузла, що належить інформаційному напрямку між вузлами  $a$  та  $b$  (2) при задоволенні користувальницької оптимізації (3):

$$U_T(t) \rightarrow \underset{X_T^{a-b} \in \Omega}{opt} W_n^{a-b}(X_T^{a-b}(t)), \quad (2)$$

$$U_T^*(t) = \arg S^{a-b}(\Gamma_\xi^{a-b}(t), RTT(t), \omega^{a-b}(t), M_k^{a-b}(t), U_T(t)) \geq S_{\xi_{доп}}^{a-b} \quad (3)$$

при обмеженнях:  $\Omega = \{t_3^\xi \leq t_{3доп}^\xi, r^{a-b} \leq r_{max}^{a-b}, s^{a-b} \leq s_{max}^{a-b}, \omega^{a-b} \leq \omega_{max}^{a-b}\}$ ,

де  $\Gamma_\xi^{a-b}(t) = \|g_\xi^{a-b}(t)\|$ ,  $g_\xi^{a-b}(t) \leq g_{max}^{a-b}$  – вхідне навантаження на напрямку між вузлами  $a$  та  $b$ ,  $M_k^{a-b}(t)$  – інформація про стан маршруту(ів) між вузлами  $a$  та  $b$ ;  $RTT(t)$  – час між відправкою пакетів відправником та отриманням ним квитанції про прийом (час кругообігу пакетів);  $\omega^{a-b}(t) \leq \omega_{max}^{a-b}$  – інтенсивність зміни топології на напрямку  $a-b$ ;  $s^{a-b}$  – пропускну спроможність каналу на напрямку  $a-b$  (ширина смуги пропускання);  $t_3^\xi$  – затримка передачі пакета  $\xi$ -типу;  $W_n^{a-b}(t)$  – розмір вікна перевантаження на виході  $n$ -го вузла між вузлами  $a$  та  $b$ ;  $X^{a-b}(t) = \{x_i^{a-b}(t)\}$  – множина параметрів, що характеризують напрямок передачі  $a-b$  на транспортному рівні.

### Новий метод віконного управління потоками даних в МР.

Для вирішення поставленої наукової задачі пропонується новий метод віконного управління потоками даних (ВУПД) в МР, у якому, в якості управляючого параметра, використовується розмір вікна перевантаження ( $y = W_n^{a-b}(t)$ ), а вхідними даними  $X^{a-b}(t)$ , для оцінки ситуації на інформаційному напрямку, є розмір черги вузла-адресата ( $x_1 = H_n^{a-b}(t)$ ), швидкість зміни розміру черги вузла-адресата ( $x_2 = \Delta H_n^{a-b}(t)$ ), якість маршруту(ів) між вузлами  $a$  та  $b$  ( $x_3 = M_k^{a-b}(t)$ ) та тип інформації, яка передається ( $x_4 = \xi_n^{a-b}(t)$ ).

Запропонований метод ВУПД можливо реалізувати за наявності системи управління вузлом МР, одним з елементів якої є підсистема управління потоками даних (рис. 1).



Рис. 1. Схема підсистеми управління потоками даних в МР

Центральне місце у вузловій системі управління займає підсистема прийняття рішень (рис. 1), на вході якої здійснюється фазифікація вихідних даних. Далі проводиться оцінка стану інформаційного напрямку, визначається необхідність управляючого впливу, обчислюються управляючі змінні (в даному випадку розмір вікна перевантаження). Підсистема самонавчання, до складу якої входить база правил управління, забезпечує здатність вузлової системи управління накопичувати отриманий досвід в процесі передачі даних, корегуючи існуючі правила чи поповнюючи базу новими правилами.

Метод передбачає, що залежно від ситуації в мережі, будь-яким вузлом на інформаційному напрямку  $a-b$  може прийматися рішення про зміну розміру вікна перевантаження. Схема процесу адаптації розміру вікна перевантаження в залежності від стану напрямку  $a-b$  зображена на рис. 2.

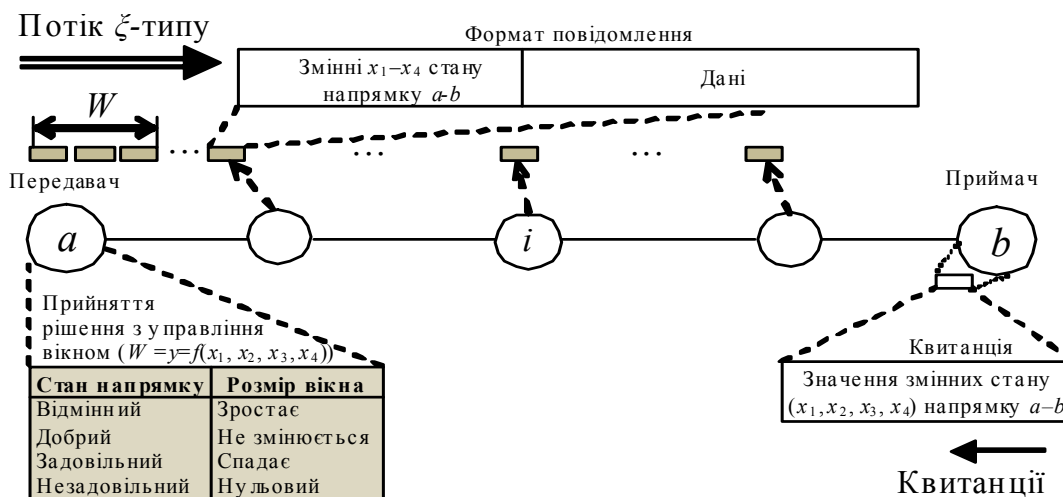


Рис. 2. Адаптація розміру вікна  $W$  в залежності від стану напрямку  $a-b$

Процес управління вибором розміру вікна перевантаження складається з трьох етапів:

1. Передавач  $a$  в процесі передачі інформації встановлює певний розмір вікна перевантаження (наприклад, як і в протоколі TCP, початкове значення  $W$  рівне розміру одного TCP-сегменту) [4, 15]. У заголовку інформаційного повідомлення містяться комірки, в яких записується інформація про стан інформаційного напрямку ( $X^{a-b}(t) = \{x_i^{a-b}(t)\}, i = \overline{1,4}$ ). Збір інформації про стан напрямку  $a-b$  здійснюється шляхом вимірювання параметрів стану напрямку  $x_1-x_4$  проміжними вузлами.

Передбачається, що для отримання інформації про якість маршруту(ів) та клас обслуговування, транспортний рівень взаємодіє відповідно з мережевим та прикладним рівнями моделі OSI. Ідентифікація якості маршруту проводиться на основі метрик, якими можуть бути енергетичний потенціал маршруту, тривалість життя маршруту, час передачі інформації даним маршрутом та ін. (залежать від методу маршрутизації, який використовується) [17].

Встановлення з'єднання між двома вузлами відбувається тільки після отримання інформації з мережевого рівня про наявність маршруту, який відповідає вимогам до передачі певного типу трафіка. У випадку відсутності маршруту необхідної якості або втрати зв'язності мережі, всякі спроби встановлення з'єднання припиняються (для скорочення об'ємів службового трафіка) до моменту, коли буде знайдено новий маршрут.

Блоки даних, які передаються з прикладного рівня, в своєму заголовку містять інформацію про клас обслуговування, що дозволяє побудувати відповідні набори правил з урахуванням вимог до передачі різних типів інформації, що циркулює в мережі.

2. Інформація про параметри  $x_1-x_4$ , отримана в заголовку повідомлення, підсумовується адресатом і відправляється у вигляді квитанції до передавача.

3. Вузлова система управління вузла-передавача ідентифікує стан інформаційного напрямку  $C^{a-b}(t)$  на основі відповідних параметрів функціонування вузлів  $x_i, i = \overline{1, 4}$ . Вважатимемо, що стан інформаційного напрямку в момент часу  $t$  може бути визначений множиною станів вузлів  $C^n(t)$  з яких складається  $k$ -й маршрут на напрямку  $a-b$   $C^{a-b}(t) = \{C_k^n(t)\}, k = \overline{1, K}, n = \overline{1, N}$  [16].

$$C_k^n(t) = f(x_1(t), x_2(t), \dots, x_i(t), \dots, x_l(t)), i = \overline{1, I}, n = \overline{1, N}, k = \overline{1, K}, \quad (4)$$

де  $x_i(t)$  –  $i$ -й параметр функціонування  $n$ -го вузла на  $k$ -му маршруті між вузлами  $a$  та  $b$ .

Використовуючи залежність (4), кожен вузол МР може ідентифікувати поточну ситуацію, яка склалася в мережі на момент часу  $t$ . На основі ідентифікації поточної ситуації в мережі вузлом приймається рішення про необхідність управляючого впливу, який полягає у адаптації розміру вікна перевантаження до поточного стану інформаційного напрямку, з урахуванням вимог до передачі трафіку  $\xi$ -типу.

Ієрархію процесу управління потоками даних зображено на (рис. 3), з якого випливає, що даний процес можна представити у вигляді циклічного графа послідовних переходів етапів управління. На етапі вибору рішення пропонується використовувати систему нейро-нечіткого виводу, суттєвою перевагою якої, в порівнянні з класичними системами нечіткого виводу, є те, що набір нечітких правил і параметри функцій приналежності не задаються людиною-експертом. Для їх знаходження використовуються спеціальні процедури навчання нейронних мереж.

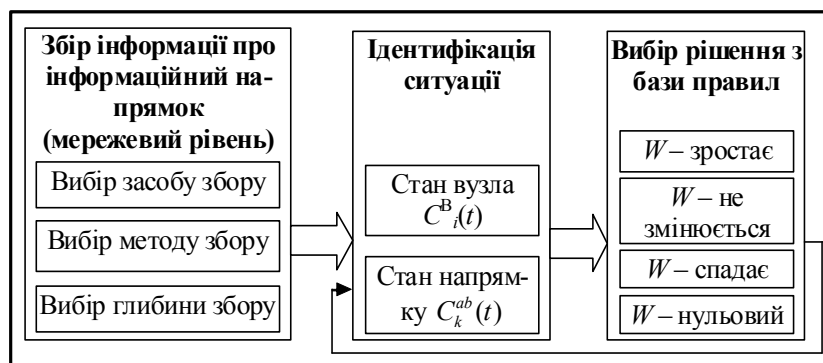


Рис. 3. Ієрархія процесу управління потоками даних на інформаційному напрямку

Таким чином, суть запропонованого методу віконного управління полягає у застосуванні системи нейро-нечіткого виводу для прогнозування необхідного розміру вікна перевантаження на основі наявної інформації про стан напрямку  $X^{a-b}(t) = \{x_i^{a-b}(t)\}$ .

Моделювання процесу вибору розміру вікна перевантаження в МР з використанням системи нейро-нечіткого виводу можливо здійснити з використанням системи комп'ютерної математики MATLAB + Simulink, яка надає засоби для побудови нечіткої нейронної мережі типу ANFIS (Adaptive Network-based Fuzzy Inference System). Для простоти розробки була вибрана ANFIS-мережа, яка реалізує алгоритм нечіткого виводу Сугено 0-го порядку [14, 18]. Відповідно до цього алгоритму формуються певні набори правил для різних типів трафіка (мова, відео, дані) з урахуванням стану інформаційного напрямку, що дозволяє більш точно описати поведінку системи у визначені моменти часу.

#### **Вихідні дані для моделі.**

Задамо області зміни вихідної та вхідних змінних відповідно  $X$  та  $Y$ .

$$X = [\underline{x}_i, \overline{x}_i], i = \overline{1, 4} \quad (4)$$

$$Y = [\underline{y}, \overline{y}], \quad (5)$$

де  $\underline{x}_i(\overline{x}_i)$  – нижнє (верхнє) значення вхідних змінних  $x_i, i = \overline{1, 4}$ ;  $\underline{y}(\overline{y})$  – нижнє (верхнє) значення вихідної змінної  $y$ .

Мережа може бути описана ненаправленим ваговим графом  $G = (V, E)$ , де  $V$  – множина вузлів,  $E$  – множина каналів на напрямку зв'язку між вузлами  $a$  та  $b$ . Нехай  $X^* = \langle x_1^*, x_2^*, x_3^*, x_4^* \rangle$  – вектор фіксованих значень вихідних змінних, що поступають на вхід вузла  $v_i \in V$ . Задача прийняття рішення з вибору розміру вікна перевантаження полягає в тому, щоб на основі інформації про вектор входів  $X^*$  визначити вихід  $y^* \in Y$ . Необхідною умовою формального вирішення такої задачі є наявність залежності

$$y^* = f_y(x_1^*, x_2^*, x_3^*, x_4^*). \quad (6)$$

Для встановлення цієї залежності будемо розглядати чіткі значення вхідних змінних  $x_i^*$ ,  $i=\overline{1, 4}$  і вихідної змінної  $y^*$  як лінгвістичні змінні, задані на універсальних множинах (4) і (5). Для оцінки зазначених лінгвістичних змінних  $x_i^*$  та  $y^*$  будемо використовувати кількісні терми з наступних терм-множин:

$A_1 = \{a_1^1, a_1^2, a_1^3\}$  – терм-множина (нечітка множина) вхідної змінної  $x_1$ ;

$A_2 = \{a_2^1, a_2^2, a_2^3\}$  – терм-множина вхідної змінної  $x_2$ ;

$A_3 = \{a_3^1, a_3^2, a_3^3\}$  – терм-множина вхідної змінної  $x_3$ ;

$A_4 = \{a_4^1, a_4^2, a_4^3\}$  – терм-множина вхідної змінної  $x_4$ ;

$G = \{g^1, g^2, g^3, g^4\}$  – терм-множина вихідної змінної  $y$ ,

де  $a_i^p$  –  $p$ -й лінгвістичний терм змінної  $x_i$ ,  $p=\overline{1, 3}$ ,  $i=\overline{1, 4}$ ;  $g^j$  –  $j$ -й лінгвістичний терм змінної  $y$ ,  $j=\overline{1, 4}$ .

Базові значення нечітких термів зазначених вище терм-множин вхідних та вихідної лінгвістичних змінних наведено в таблиці 1.

Таблиця 1

Параметри бази знань нечіткої системи прийняття рішень про розмір вікна перевантаження

Лінгвістичні змінні	Назва лінгвістичної змінної	Базова терм-множина лінгвістичної змінної	Синтаксичний опис змістових значень змінної
<b>Вхідні змінні</b>			
$x_1$	розмір черги ( $H$ )	$A_1$	$\{a_1^1 = \text{„низький“}, a_1^2 = \text{„середній“}, a_1^3 = \text{„високий“}\}$
$x_2$	швидкість зміни розміру черги ( $\Delta H$ )	$A_2$	$\{a_2^1 = \text{„зростає“}, a_2^2 = \text{„нульова“}, a_2^3 = \text{„спадає“}\}$
$x_3$	якість маршруту(ів) між вузлами $a$ та $b$ ( $M$ )	$A_3$	$\{a_3^1 = \text{„висока“}, a_3^2 = \text{„середня“}, a_3^3 = \text{„низька“}\}$
$x_4$	тип інформації, яка передається ( $\xi$ )	$A_4$	$\{a_4^1 = \text{„мова“}, a_4^2 = \text{„відео“}, a_4^3 = \text{„дані“}\}$
<b>Вихідна змінна</b>			
$y$	розмір вікна перевантаження ( $W$ )	$G$	$\{g^1 = \text{„зростає“}, g^2 = \text{„не змінюється“}, g^3 = \text{„спадає“}, g^4 = \text{„нульовий“}\}$

Запропонована для використання в методі ВУПД нейро-нечітка система, навчається згідно методу зворотного поширення помилки для реалізації нечітких моделей [14, 18]. В даному випадку нейро-нечітка мережа навчається відтворювати залежність (6).

В результаті навчання нейро-нечіткої мережі сформовано базу правил системи нечіткого виводу наступного типу

**П<sub>1</sub>**: Якщо ( $x_1 = a_1^p$ ) і ( $x_2 = a_2^p$ ) і ... і ( $x_i = a_i^p$ ), то  $y = g^j$ .

В таблиці 2 наводиться наближена база правил, які отримуються під час навчання нейро-нечіткої системи для відтворення залежності (6).



Таблиця 2

База правил нейро-нечіткої системи для відтворення залежності  $y^* = f_y(x_1^*, x_2^*, x_3^*, x_4^*)$ 

$x_1$	$x_2$	$x_3$	$x_4$	$y$
$a_{11}^1$ $a_{11}^1$ $a_{11}^1$	$a_{23}^3$ $a_{23}^3$ $a_{23}^3$	$a_{31}^1$ $a_{31}^1$ $a_{31}^1$	$a_{42}^1$ $a_{43}^3$ $a_{44}^1$	$g^1$
$a_{12}^2$ $a_{12}^2$ $a_{13}^3$ $a_{13}^3$ $a_{13}^3$	$a_{22}^2$ $a_{22}^2$ $a_{23}^3$ $a_{23}^3$ $a_{23}^3$	$a_{32}^2$ $a_{32}^2$ $a_{31}^1$ $a_{31}^1$ $a_{31}^1$	$a_{42}^1$ $a_{43}^3$ $a_{41}^1$ $a_{42}^2$ $a_{43}^3$	$g^2$
$a_{13}^3$ $a_{13}^3$ $a_{12}^2$ $a_{12}^2$ $a_{12}^2$	$a_{21}^1$ $a_{21}^1$ $a_{21}^1$ $a_{21}^1$ $a_{21}^1$	$a_{32}^2$ $a_{32}^2$ $a_{32}^2$ $a_{32}^2$ $a_{32}^2$	$a_{41}^1$ $a_{42}^2$ $a_{43}^3$ $a_{41}^1$ $a_{42}^2$ $a_{43}^3$	$g^3$
$a_{13}^3$ $a_{13}^3$ $a_{13}^3$	$a_{21}^1$ $a_{21}^1$ $a_{21}^1$	$a_{33}^3$ $a_{33}^3$ $a_{33}^3$	$a_{41}^1$ $a_{42}^2$ $a_{43}^3$	$g^4$

Нейро-нечітка система виводу, застосування якої пропонується для прогнозування необхідного розміру вікна перевантаження, структурно є нейронною мережею, що складається з п'яти шарів (рис. 4). Кожен шар виконує певні функції елементів системи нечіткого виводу.

*Перший шар* нейронів виконує процедуру фазифікації, тобто приведення до нечіткості [14, 18]. В результаті виконання цієї процедури обчислюються значення функцій приналежності для вхідних змінних. Результати цих обчислень можна одержати шляхом підстановки конкретних значень  $x_i^*$ ,  $i = \overline{1, 4}$  вхідних змінних у вираз (7)

$$\mu^{a_i^p}(x_i^*) = \begin{cases} 0, & x_i^* \leq a, \\ \frac{x_i^* - a}{b - a}, & a \leq x_i^* \leq b, \\ \frac{c - x_i^*}{c - b}, & b \leq x_i^* \leq c, \\ 0, & c \leq x_i^*. \end{cases}, \quad (7)$$

де  $\mu^{a_i^p}(x_i^*)$  – функція приналежності вхідної змінної  $x_i^*$  нечіткому терму  $a_i^p$ ,  $p = \overline{1, 3}$ ,  $i = \overline{1, 4}$ ;  $a$ ,  $b$ ,  $c$  – нелінійні параметри функцій приналежності.

З метою забезпечення максимальної швидкодії нейро-нечіткої системи управління потоками даних, пропонується використовувати параметричні, нормальні, унімодальні, трикутні функції приналежності (рис. 5). Враховуючи різну природу вхідних та проміжних лінгвістичних змінних, функції приналежності будуються окремо для кожної змінної [18].

Елементи *другого шару* виконують функцію агрегування ступенів істинності умов за кожним правилом системи нечіткого виводу у відповідності до операції T-норми, в якості якої в даному випадку використовується операція *min-кон'юнкції* [14, 18]. В результаті виконання цієї процедури визначаються рівні „відсікання” для умов кожного з правил. Ті правила, степені істинності яких відрізняються від нуля, вважаються активними і використовуються для подальших розрахунків:

$$\alpha_n = \mu^{a_1^p}(x_1) \wedge \mu^{a_2^p}(x_2) \wedge \mu^{a_3^p}(x_3) \wedge \mu^{a_4^p}(x_4),$$

де  $\wedge$  – позначення операції логічного мінімуму.

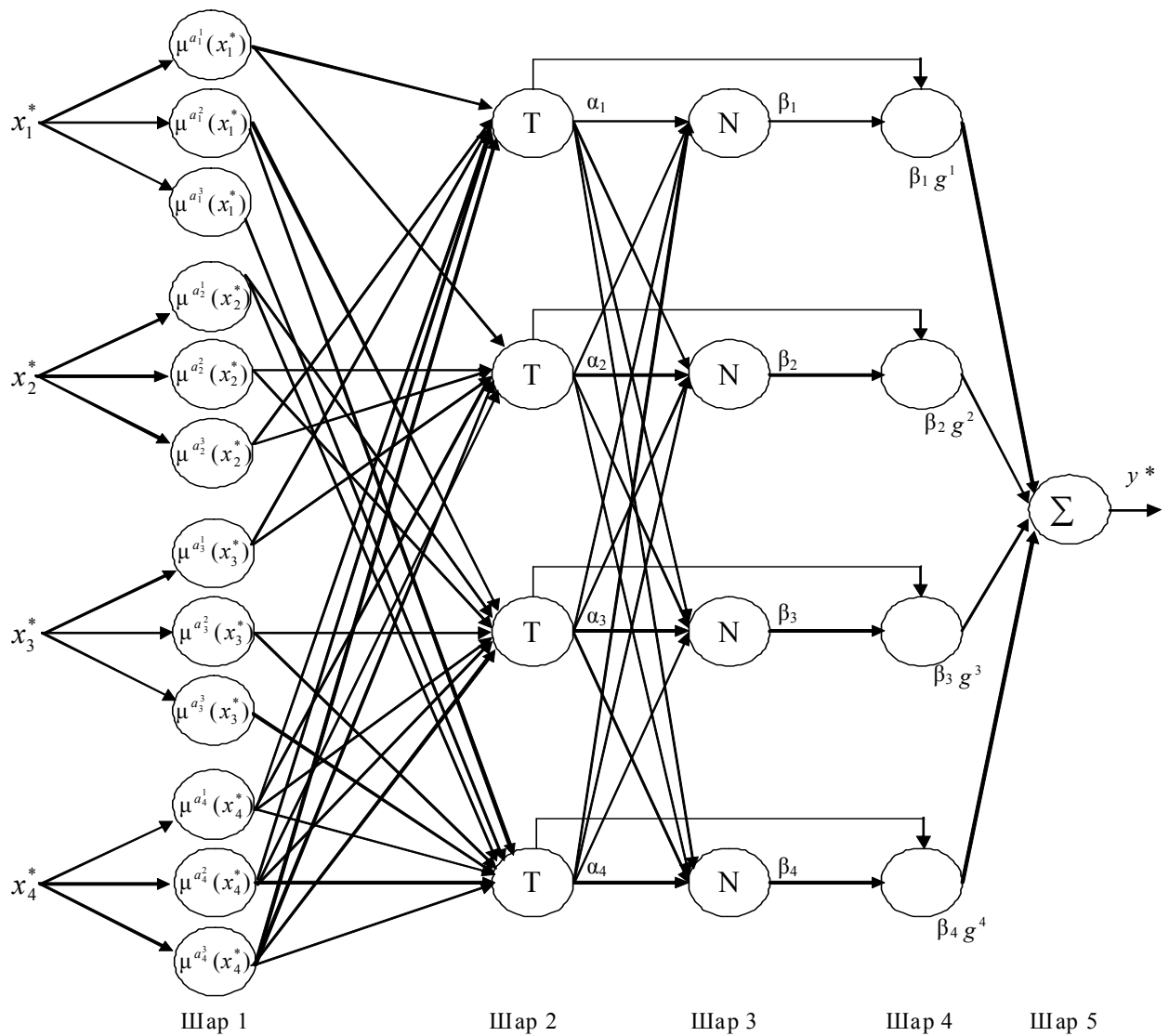


Рис. 4. Структура нечіткої нейронної мережі для прогнозування необхідного розміру вікна перевантаження

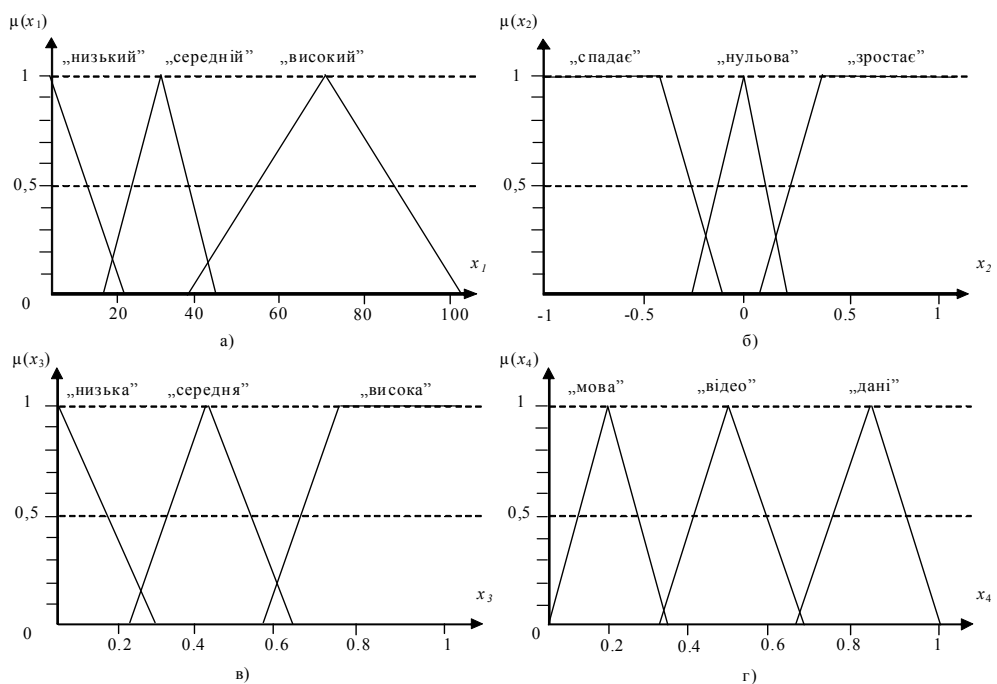


Рис. 5. Функції приналежності

Третій шар виконує нормалізацію і обчислює наступні значення:

$$\beta_1 = \frac{\alpha_1}{\alpha_1 + \alpha_2 + \alpha_3 + \alpha_4}; \beta_2 = \frac{\alpha_2}{\alpha_1 + \alpha_2 + \alpha_3 + \alpha_4}; \beta_3 = \frac{\alpha_3}{\alpha_1 + \alpha_2 + \alpha_3 + \alpha_4}; \beta_4 = \frac{\alpha_4}{\alpha_1 + \alpha_2 + \alpha_3 + \alpha_4}$$

Четвертий шар нейронів, після знаходження всіх значень ступенів істинності  $\alpha_n$  і проведення нормалізації виконує функцію активізації нечітких правил продукцій, використовуючи вираз (9)

$$\mu'_j(y) = \min\{\alpha_n, \mu^{g_j}(y)\}, \quad (9)$$

де  $\mu^{g_j}(y)$  – функція приналежності терму  $g_i$ , який є значенням вихідної змінної  $y$ ;  $\mu'_j(y)$  – функція приналежності кожного висновку для вихідних лінгвістичних змінних, які розглядаються.

П'ятий шар нейронів формує на виході мережі дефазифіковане значення вихідної величини  $y^*$ , яка відповідає необхідному розміру вікна перевантаження (10):

$$y^* = \frac{\alpha_1 g_1 + \alpha_2 g_2 + \alpha_3 g_3 + \alpha_4 g_4}{\alpha_1 + \alpha_2 + \alpha_3 + \alpha_4} = \beta_1 g_1 + \beta_2 g_2 + \beta_3 g_3 + \beta_4 g_4, \quad (10)$$

де  $\beta_1 - \beta_4$  – нормалізовані значення  $\alpha_1 - \alpha_4$ ;  $g_1 - g_4$  – нечіткі терми вихідної змінної  $y$ .

В даному випадку параметричними шарами нечіткої нейронної мережі є перший і четвертий шари, а параметрами, які будуть налаштовуватися в процесі навчання є:

- в першому шарі – нелінійні параметри  $a, b, c$  функцій приналежності  $\mu^{a_i^p}(x_i^*)$ ;
- в четвертому шарі – нелінійні параметри  $\alpha_n$  функцій приналежності  $\mu^{g_j}(y)$ .

### **Висновки.**

Таким чином, аналіз існуючих методів управління потоками даних, розроблених для стаціонарних мереж зв'язку, показав їх неспроможність виконувати свої функції в МР з динамічною топологією. Використання протоколу TCP та його модифікацій в МР приводить до суттєвого зниження пропускної спроможності мережі внаслідок тривалих „простоїв” цих протоколів, які пов'язані з прийняттям хибних рішень про стан мережі.

Для усунення недоліків існуючих протоколів управління потоками даних, а також забезпечення можливості МР до самоорганізації та адаптації її елементів до різних умов функціонування, запропоновано новий метод віконного управління потоками даних.

Новизна методу полягає у застосуванні системи нейро-нечіткого виводу для прогнозування розміру вікна перевантаження на основі інформації про стан інформаційного напрямку між відправником та адресатом. На відміну від класичних систем нечіткого виводу, система нейро-нечіткого виводу формує набір нечітких правил та параметри функцій приналежності за допомогою спеціальних процедур навчання, а не за допомогою людини-експерта.

В ході подальших досліджень буде проведена оцінка ефективності нового віконного методу управління потоками даних, а також розроблено методику взаємодії запропонованого методу з методами маршрутизації для отримання інформації про стан маршруту(ів) на інформаційному напрямку між відправником та адресатом.

### **ЛІТЕРАТУРА**

1. Влияние концепции сетецентрической войны на характер современных операций [электронный ресурс] / М.М. Хамзатов // Военная мысль. – 2006. – №7. – Режим доступа к журналу:

<http://www.milresource.ru/Hamzatov-article-1.html>.

2. Романюк В.А. Интеллектуальні мобільні радіомережі // V науково-технічна конференція „Пріоритетні напрямки розвитку телекомунікаційних систем та мереж спеціального призначення”: матеріали конференції (Київ, 20–21 жовт. 2010 р.). К.: ВІТІ НТУУ „КПІ”, 2010. – С. 28 – 36.

3. Міночкін А.І. Архітектура перспективної мобільної компоненти тактичних мереж зв'язку збройних сил України / Міночкін А.І., Романюк В.А. // Збірник наукових праць ВІТІ НТУУ „КПІ”. – 2004. – № 5. – С. 107 – 115.

4. Кульгін М. Сети передачи данных: управление скоростью [электронный ресурс] / М. Кульгін // XServer, онлайн библиотека. – Режим доступа к журналу: <http://www.xserver.ru/computer/nets/razn/92/>.

5. Міночкін А.І. Аналіз методів управління навантаженням в мобільних радіомережах на транспортному рівні моделі OSI / Міночкін А.І., Романюк В.А., Сова О.Я. // Збірник наукових праць ВІТІ НТУУ „КПІ”. – 2006. – № 3. – С. 51 – 62.

6. Performance of transport control protocol over dynamic spectrum access links / [A.M.R. Slingerland, P. Pawelczak, R.V. Prasad, A. Lo, R. Hekmat] // In Proceedings of the IEEE DySPAN 2007, April 2007, pp. 486–495.

7. Yu X. Improving TCP performance over mobile ad hoc networks by exploiting cross-layer information awareness / Yu X. // In Proceedings of the ACM MOBICOM, Philadelphia, PA, USA, September 2004, pp. 231 – 244.

8. Таненбаум Э. Компьютерные сети: [пер. с англ.] / Таненбаум Э. – Спб.: Питер, 2002. – 848 с.

9. Міночкін А.І. Задачі управління топологією мережі безпілотних літальних апаратів мобільного компоненту мереж зв'язку військового призначення / Міночкін А.І., Романюк В.А. // Збірник наукових праць ВІТІ НТУУ „КПІ”. – 2005. – № 2. – С. 83 – 90.

10. Overview of Fuzzy-RED in Diff-Serv Networks / [L. Rossides, C. Chrysostomou, A. Pitsillides, A. Sekercioglu] // In Proceedings of the Soft-Ware 2002 Conference. April 2002, Belfast. – P. 1 – 13.

11. Сова О.Я. Концепція ієрархічної побудови інтелектуальних систем управління мобільними радіомережами військового призначення / Сова О.Я., Романюк В.А., Жук П.В. // Збірник наукових праць ВІТІ НТУУ „КПІ”. – 2010. – № 2. – С. 121 – 130.

12. Усков А.А. Интеллектуальные технологии управления. Искусственные нейронные сети и нечеткая логика / Усков А.А., Кузьмин А.В. – М.: Горячая линия – Телеком, 2004. – 143 с.

13. Комашинский В.И. Нейронные сети и их применение в системах управления и связи / Комашинский В.И., Смирнов Д.А. – М.: Горячая линия – Телеком, 2002. – 94 с.

14. Леоненков А.В. Нечеткое моделирование в среде MATLAB и fuzzyTECH / Леоненков А.В. – СПб.: БХВ-Петербург, 2003. – 703 с.

15. Кучерявый Е.А. Управление трафиком и качество обслуживания в сети Интернет / Е.А. Кучерявый. – СПб.: Наука и Техника, 2004. – 336 с.: ил.

16. Кульгін М. Технологии корпоративных сетей / Кульгін М. – СПб: Издательство „Питер”, 2000. – 704 с.

17. Міночкін А.І. Маршрутизація в мобільних радіосетях – проблема и пути ее решения / Міночкін А.І., Романюк В.А. // Зв'язок. – 2006. – № 3. – С. 42 – 50.

18. Борисов В.В. Нечеткие модели и сети / Борисов В.В., Круглов В.В., Федулов А.С. – М.: Горячая линия–Телеком, 2007. – 284 с.: ил.