

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
РАДІОЕЛЕКТРОНІКИ

**ЗДОРЕНКО Юрій Миколайович**

УДК 621.391

**МЕТОДИ РОЗПОДІЛУ РЕСУРСІВ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНИХ КАНАЛІВ  
НА ОСНОВІ ВИКОРИСТАННЯ НЕЧІТКИХ НЕЙРОННИХ МЕРЕЖ**

Спеціальність 05.12.02 – Телекомунікаційні системи та мережі

Автореферат  
дисертації на здобуття наукового ступеня  
кандидата технічних наук

Харків – 2016

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана у Військовому інституті телекомунікацій та інформатизації Міністерства оборони України.

**Науковий керівник:** кандидат технічних наук, старший науковий співробітник  
МАСЕСОВ Микола Олександрович,  
Військовий інститут телекомунікацій та інформатизації,  
начальник науково-дослідного відділу Наукового центру зв'язку та інформатизації.

**Офіційні опоненти:** доктор технічних наук, професор  
ЛЕМЕШКО Олександр Віталійович,  
Харківський національний університет  
радіоелектроніки, професор кафедри  
телекомунікаційних систем;

кандидат технічних наук, доцент  
ЛАВРУТ Олександр Олександрович,  
Національна академія сухопутних військ імені гетьмана  
Петра Сагайдачного, професор кафедри тактики.

Захист відбудеться «07» вересня 2016 року о 15 годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 64.052.09 в Харківському національному університеті радіоелектроніки за адресою: 61166, м. Харків, пр. Науки, 14.

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Харківського національного університету радіоелектроніки за адресою: 61166, м. Харків, пр. Науки, 14.

Автореферат розісланий «05» серпня 2016 року

Вчений секретар  
спеціалізованої вченої ради

О.Б.Ткачова

## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

**Актуальність теми.** Прискорений розвиток інформаційної інфраструктури України та її інтеграція зі світовою інфраструктурою є одним із пріоритетних завдань вітчизняної інфокомунікаційної галузі. Основою інформаційної інфраструктури є сучасні мультисервісні телекомунікаційні мережі (ТКМ). Ефективність функціонування таких мереж визначається наявністю та обсягом ресурсів, необхідних для передавання по них трафіку з різними вимогами. Однак ресурси телекомунікаційних каналів, а саме, канална пропускна здатність та розмір буферів маршрутизаторів на шляху слідування пакетів, є обмеженими. Тому одним із найважливіших напрямів забезпечення якісного та економічно обґрунтованого передавання інформаційних потоків в таких мережах є вирішення завдання забезпечення ефективного розподілу ресурсів телекомунікаційних каналів.

Практика підтверджує потребу застосування нових динамічних (адаптивних) методів розподілу ресурсів телекомунікаційних каналів. У науковій літературі наявні результати наукових досліджень, спрямованих на їх розробку та реалізацію. Проте активне впровадження таких методів стримується на даний час у зв'язку з недостатністю їхнього теоретичного обґрунтування та недосконалістю з позицій практичної цінності.

Серед перспективних напрямків розв'язання окремих наукових задач розподілу мережних ресурсів можна відзначити праці Дробот О.А., Лаврута О.О., Лемешка О.В., Польщикова К. О., Усачева О.М.. Наявні підходи можна розділити на дві групи: перша група оснований на потокових моделях та методах, друга – на пакетному аналізі.

Наявні результати теоретичних та експериментальних розробок дають підстави вважати, що ефективна реалізація процесу розподілу ресурсів телекомунікаційних каналів в мультисервісних мережах, в умовах нестационарного вхідного навантаження, можлива на основі застосування моделей та методів, що базуються на пакетному аналізі з використанням наукового апарату інтелектуальних систем. Розв'язанню окремих наукових задач у цьому напрямку присвячено праці Abdeljaber H., Baklizi M., Chabaa S., Chrysostomou C., Гостева В.І., Дарта В. Ю., Польщикова К. О., Султанова А. Х., Фомина В. В..

Найбільші потенційні можливості мають гібридні системи, які поєднують переваги нечіткої логіки та нейронних мереж. Сучасні телекомунікаційні мережі характеризуються швидкою зміною станів, випадковим характером більшості процесів, високим рівнем нестационарності трафіку, що не дозволяє забезпечити ефективність їх функціонування статичними методами. Для забезпечення високої ефективності процесу розподілу ресурсів телекомунікаційних каналів необхідна наявність попередніх даних про можливі стани телекомунікаційної мережі. Отримання цих даних є можливим при використанні нечітких систем. Нечіткі системи дозволяють знаходити нелінійні залежності між множиною вхідних поточних величин та вихідним параметром, що характеризує майбутній стан телекомунікаційної мережі. Нейронні мережі дозволяють здійснити початкове налаштування параметрів нечітких систем та їх адаптацію в процесі функціонування телекомунікаційної мережі. Тому актуальними є дослідження,

спрямовані на застосування наукового апарату нечітких нейронних мереж для підвищення ефективності розподілу ресурсів телекомунікаційних каналів.

**Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.** Дисертаційна робота пов'язана з реалізацією положень «Концепції конвергенції телефонних мереж і мереж із пакетною комутацією в Україні», «Концепцією національної програми інформатизації» та «Основних засад розвитку інформаційного суспільства в Україні на 2007-2015 роки». Дослідження проводились в рамках виконання науково-дослідницьких робіт: шифр «Цифра» (Військовий інститут телекомунікацій та інформатизації) і «Методи і моделі забезпечення якості обслуговування, надійності та безпеки в інформаційно-телекомунікаційних мережах» (№ДР 0110U004619, Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка).

**Мета і задачі досліджень.** Метою роботи є забезпечення якісного та економічно обґрунтованого передавання інформаційних потоків в телекомунікаційній мережі.

Для досягнення поставленої мети в роботі розв'язані такі завдання:

- 1) аналіз наявних методів розподілу ресурсів телекомунікаційних каналів;
- 2) розробка нового методу розподілу пропускної здатності телекомунікаційного каналу;
- 3) удосконалення методу управління відкиданням пакетів у маршрутизаторах телекомунікаційної мережі;
- 4) оцінка ефективності використання пропонованих методів розподілу ресурсів телекомунікаційних каналів на основі математичного моделювання та лабораторного експерименту.

**Об'єкт дослідження** – процес розподілу ресурсів телекомунікаційних каналів.

**Предмет дослідження** – методи і моделі розподілу ресурсів телекомунікаційних каналів.

**Методи дослідження.** Для прийняття рішення про перерозподіл пропускної здатності вихідного інтерфейсу використано апарат лінійного програмування. Процедура прийняття рішення про управління буферним ресурсом базується на використанні теорії імовірностей. На основі застосування нечітких нейронних мереж здійснювалось прогнозування інтенсивності надходження пакетів різних класів для передавання по каналу та визначалась імовірність відкидання пакету у транзитному маршрутизаторі. Для обґрунтування рекомендацій кінцевому користувачу щодо передачі мультимедійних потоків з заданою якістю використовувався математичний апарат імовірно-часових графів. Перевірка достовірності пропонуємих в роботі методів здійснювалася шляхом проведення лабораторних експериментів.

**Наукова новизна отриманих результатів.** Під час розв'язання поставлених задач були отримані наступні нові наукові результати:

1. Вперше розроблено метод динамічного розподілу пропускної здатності телекомунікаційного каналу, який, на відміну від наявних методів, передбачає використання нейро-нечіткого прогнозування для визначення інтенсивності надходження пакетів різних класів для передавання по каналу. Застосування

методу дозволяє максимізувати сумарний виграш та зменшити втрати пакетів в результаті передавання інформаційних потоків по телекомунікаційним каналам.

2. Вперше на основі використання імовірнісно-часових графів розроблено математичні моделі передавання мультимедійного потоку в телекомунікаційній мережі, які, на відміну від наявних, відбивають залежність характеристик доставки цього потоку від імовірності наявності бітових помилок у пакеті та імовірності його відкидання внаслідок перевантаження маршрутизаторів. Використання моделей дозволяє оцінити середню тривалість мультимедійного потоку, передавання якого можна здійснити при заданій імовірності відкидання пакету.

3. Удосконалено метод нейро-нечіткого управління відкиданням пакетів у транзитному маршрутизаторі у частині того, що в процесі обчислення імовірності відкидання пакету враховується зміна пропускної здатності каналу, що виділяється для обслуговування пакетів різних класів. Застосування методу дозволяє зменшити середню пакетну затримку й скоротити втрати пакетів у порівнянні з використанням наявних методів управління чергами.

**Практичне значення отриманих результатів** полягає у можливості їх застосування для побудови апаратно-програмних засобів з розподілу пропускної здатності вихідного інтерфейсу та управління відкиданням пакетів в маршрутизаторах телекомунікаційних мереж.

Результати дисертації використано в навчальному процесі кафедри «Бойового застосування математичного та програмного забезпечення АСУ» Військового інституту телекомунікацій та інформатизації, зокрема, в процесі викладання навчальної дисципліни «Апаратні засоби мереж спеціального призначення» (акт реалізації від 18.03.2015 року).

У рамках дисертаційного дослідження отримано патент на корисну модель «Спосіб нейро-нечіткого управління пакетною чергою вихідного порту маршрутизатора телекомунікаційної мережі» (№72989 Україна. у 201200752; заявл. 25.01.2012; опубл. 10.09.2012, Бюл. №17).

**Особистий внесок здобувача.** Основні результати дисертаційної роботи опубліковано в спеціалізованих фахових виданнях [1-17]. Всі основні наукові результати, представлені до захисту, одержані автором самостійно.

Крім того, у роботі [1] автор провів аналіз методів управління завчасним відкиданням пакетів; у [5, 6] автор провів аналіз існуючих методів розподілу пропускної здатності телекомунікаційних каналів та обґрунтував необхідність використання динамічних методів; у [6] автором розроблено метод розподілу пропускної здатності телекомунікаційного каналу на основі рішення задачі лінійного програмування; у [7, 17] автором розроблено нейро-нечіткі системи прогнозування вхідного навантаження для методу розподілу пропускної здатності телекомунікаційного каналу; у [9] автором удосконалено метод управління відкиданням пакетів та проведена оцінка його ефективності; у [8] автором розроблено математичні моделі передавання мультимедійного потоку в телекомунікаційній мережі та обґрунтовані рекомендації для кінцевого користувача щодо тривалості потоку (та об'єму інформації), що може передатися з заданою якістю.

**Апробація результатів дисертації.** Результати роботи обговорено на таких наукових конференціях і форумах: Науково-практична конференція «Інформаційні технології та інформаційна безпека в науці, техніці та навчанні» (Севастополь, 2009); 9-а науково-технічна конференція «Математичне моделювання та інформаційні технології» (Одеса, 2009); 5-ий науково-практичний семінар «Пріоритетні напрямки розвитку телекомунікаційних систем та мереж спеціального призначення» (Київ, 2009); 4-ий Міжнародний радіоелектронний форум «Прикладна радіоелектроніка. Стан та перспективи розвитку – МРФ-2011» (Харків, 2011); 19-а міжнародна науково-технічна конференція «Інформаційні системи і технології» (Нижній Новгород, 2013); Науково-практична конференція «Застосування інформаційних технологій у підготовці та діяльності сил охорони правопорядку» (Харків, 2013); 12-а міжнародна наукова конференція «Modern Problems of Radio Engineering, Telecommunications and Computer Science – TCSET'2014» (Львів, 2014); Second International Scientific-Practical Conference. Problems of Infocommunications Science and Technology (IEEE PIC S&T'2015), (Харків, 2015).

**Публікації.** Основні результати дисертаційної роботи опубліковано в 18 наукових працях, серед яких 7 статей надруковано у фахових виданнях України [1-6, 9], 2 статті – у наукових періодичних виданнях інших держав [7, 8], а також 8 тез доповідей у збірниках праць наукових конференцій [10-17]. Здобувач має один патент на корисну модель [18].

**Структура та об'єм дисертації.** Дисертація складається зі вступу, трьох розділів та висновків, списку використаної літератури, додатку. Загальний обсяг дисертаційної роботи становить 172 сторінки, у тому числі 145 сторінок основного тексту, 45 рисунків та 17 таблиць. Список використаних джерел містить 205 найменувань на 24 сторінках, 1 додаток на 1 сторінці.

## **ЗМІСТ РОБОТИ**

У **вступі** обґрунтовано актуальність теми та наукових задач; сформульовано мету дисертаційної роботи, показані об'єкт, предмет, наукова новизна і практична значимість отриманих результатів; відображено особистий внесок здобувача, дані про реалізацію, апробації та публікації результатів досліджень.

У **першому розділі** розглянуто особливості функціонування сучасних телекомунікаційних мереж та проаналізовано існуючі та перспективні методи розподілу ресурсів телекомунікаційних каналів.

Сучасна мультисервісна телекомунікаційна мережа є складною системою, функціонування якої має забезпечувати якісний обмін різномірною інформацією між її вузлами, що з'єднані за допомогою відповідних каналів. Важливими ресурсами телекомунікаційних каналів є пропускна здатність, що надається для передавання пакетів, та ємність буферної пам'яті вихідних інтерфейсів маршрутизаторів. Від розподілу цих ресурсів залежить якість обслуговування користувачів. Проведений аналіз показав, що мультисервісність, випадковий і нестационарний характер навантаження, при функціонуванні сучасних ТКМ, істотно ускладнюють забезпечення ефективного розподілу обмежених ресурсів телекомунікаційних каналів.

Недосконалість статичного налаштування параметрів та недостатня теоретична обґрунтованість схем динамічного налаштування є основними недоліками наявних методів розподілу ресурсів телекомунікаційних каналів, що негативно впливають на результати їх практичної реалізації.

Одним з перспективних напрямків розподілу ресурсів телекомунікаційних каналів є використання рішень отриманих на основі потокових моделей. Але їх використання, в умовах нестаціонарності вхідного навантаження, потребує рішення додаткових задач щодо коректного знаходження характеристик вхідних потоків. Тому, за таких умов, пропонується динамічний розподіл пропускної здатності та буферного ресурсу здійснювати з використанням моделей та методів на рівні пакетів. У зв'язку з цим виникла потреба у розробці нових та удосконаленні наявних методів розподілу пропускної здатності телекомунікаційних каналів та управління відкиданням пакетів у маршрутизаторах ТКМ, які будуть ефективними в умовах нестаціонарності вхідного навантаження. Реалізація цих методів має бути спрямована на зниження затримки пакетів та їх втрат, збільшення обсягів інформації, доставлених адресатові з потрібною якістю, та забезпечення економічної обґрунтованості передавання даних.

Для розробки таких методів розподілу ресурсів телекомунікаційних каналів обґрунтовано використання наукового апарату нечітких нейронних мереж, основними перевагами яких є здатність точного прогнозування вхідного навантаження і втрат пакетів, можливість автоматичного налаштування параметрів активного управління пакетними чергами та адекватної адаптації до динамічної зміни умов функціонування ТКМ.

Отже, розробка теоретично обґрунтованих методів розподілу каналних ресурсів на основі застосування нечітких нейронних мереж з метою забезпечення якісного та економічно обґрунтованого передавання інформаційних потоків в телекомунікаційній мережі є актуальним науково-технічним завданням. На основі декомпозиції цього завдання виокремлено низку часткових задач дослідження, поетапне розв'язання яких визначає логічну послідовність викладення результатів дисертаційної роботи.

У **другому розділі** запропоновано новий метод розподілу пропускної здатності телекомунікаційного каналу та розроблено нові математичні моделі для оцінки ефективності розподілу ресурсів телекомунікаційних каналів.

Нехай є система, в якій здійснюється прийняття рішення про порядок відправлення в телекомунікаційний канал пакетів  $v$  потоків даних ( $v = \{1, p\}$ , де  $p$  - максимальне число визначених потоків). Кожен з потоків віднесено до окремого класу. Так, пакети, що належать  $v$ -му потоку будуть іменуватися пакетами класу  $v$ . Для врахування економічної складової зроблене припущення, що передача кожного пакета класу  $v$  має умовну вартість, що дорівнює  $\gamma_v$ . Передавання пакетів здійснюється протягом послідовних циклів, кожен із яких складається з  $S$  тактів. Той чи інший такт може бути виділений для передачі одного певного пакета. Кількість тактів у межах одного циклу визначається пропускною здатністю каналу, тобто максимальною кількістю пакетів, що можуть бути обслуговані протягом тривалості цього циклу. Передавання певної кількості

пакетів  $v$  класів в межах  $u$  циклів обслуговування можна оцінити сумарним умовним вирашем  $\gamma_\Sigma$  отриманим від їх передавання.

Якщо пакет надійшов у систему в той момент, коли канал зайнятий передаванням даних, то він потрапляє у чергу відповідного класу. Максимальний розмір пакетної черги класу  $v$ , позначимо  $Q_v$ ,  $v = \overline{\{1, p\}}$ . Відповідна максимальна кількість пакетних черг буде  $p$ , що відповідає кількості визначених класів. Якщо у момент надходження пакета відповідна черга не має вільних місць, то пакет відкидається.

Функціонування такої системи протягом двох найближчих у майбутньому циклів ілюструє рис. 1, на якому позначено такі величини:  $Z_{u,v}$  – кількість пакетів класу  $v$ , що надійдуть у систему в циклі  $u$ ;  $Y_{u,v}$  – кількість пакетів класу  $v$ , які будуть передані по каналу в циклі  $u$ ;  $R_{u,v}$  – кількість пакетів класу  $v$ , які будуть відкинуті в циклі  $u$ ;  $q_{u,v}$  – кількість пакетів у черзі класу  $v$  на початку циклу  $u$ .

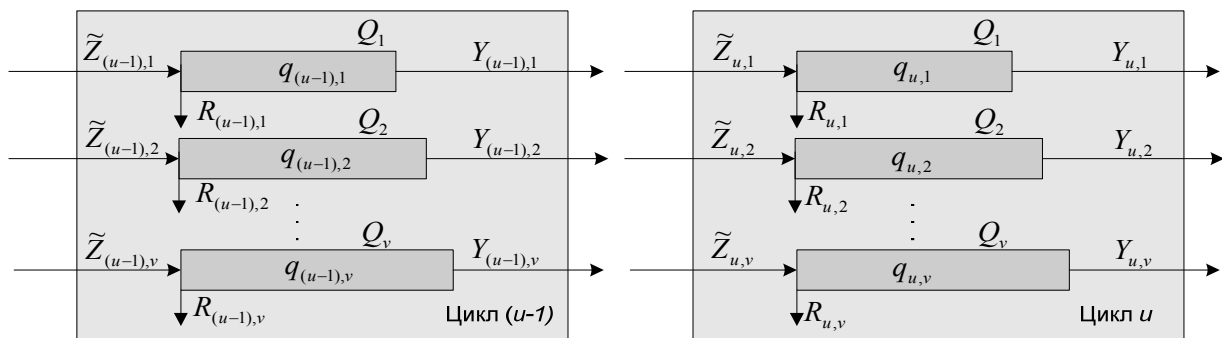


Рис. 1. Два цикли функціонування системи розподілу пропускної здатності телекомунікаційного каналу

Для ефективного розподілу пропускної здатності телекомунікаційного каналу треба знайти такі значення  $Y_{u,v}$ , при заданих  $v = \overline{\{1, p\}}$  та  $u$ , за яких максимальною буде величина  $\gamma_\Sigma$  – сумарний вираш від передавання пакетів  $v$  класів протягом  $u$  аналізованих циклів, а втрати пакетів мінімальними.

Забезпечити ефективний розподіл пропускної здатності телекомунікаційного каналу можна за умови наявності достовірних даних щодо значень величин  $Z_{u,v}$ , для  $v = \overline{\{1, p\}}$  класів, в  $u$  циклах обслуговування. Для одержання значень величин  $Z_{u,v}$  доцільно застосувати апарат нечіткого нейронного прогнозування. Обґрунтовано інтервал прогнозування обмежити двома послідовними циклами обслуговування ( $u = 2$ ). Перший цикл позначено – циклі 1, другий – цикл 2. Тоді, для отримання значень прогнозованих величин для  $v = \overline{\{1, p\}}$  класів трафіку, в межах визначених циклів обслуговування, доцільно використати нечіткі нейронні мережі двох типів. Нейро-нечітка система першого типу має бути використана для визначення величини  $\tilde{Z}_{1,v}$ , та система другого типу – для обчислення  $\tilde{Z}_{2,v}$ . Нейро-нечітка мережа другого типу функціонально відрізняється більшою складністю, бо вона призначена для прогнозування величин на інтервалі часу, більш віддаленому у майбутнє. Алгоритм нечіткого висновку для нечіткої



нейронної мережі першого та другого типу – Сугено 0-го та 1-го порядку відповідно. Алгоритм навчання нейронів для обох мереж – алгоритм зворотного поширення помилки. Прогнозування кількості пакетів класу  $v$ , що надійдуть у систему в циклі 1, тобто визначення величини  $\tilde{Z}_{1,v}$ , пропонується здійснювати на основі використання нечіткої нейронної мережі першого типу, на вхід якої подаються величини  $Z_a, Z_b, Z_c$  – значення кількості пакетів, які надійшли у систему в трьох попередніх циклах  $a, b$  і  $c$ . Визначення величини  $\tilde{Z}_{2,v}$  пропонується здійснювати на основі використання нечіткої нейронної мережі другого типу, на вхід якої подаються величини  $Z_k, Z_l, Z_m$  і  $Z_n$ , тобто значення кількості пакетів, які надійшли до системи протягом чотирьох попередніх ділянок часу  $k, l, m$  і  $n$ . При цьому тривалість зазначених ділянок у два рази більша, ніж тривалість циклів. Вихідною величиною цієї нечіткої нейронної мережі є значення  $\tilde{Z}_w$  – прогнозована сумарна кількість пакетів, що надійдуть до системи у циклах 1 і 2. Тоді на основі одержаних значень  $\tilde{Z}_{1,v}$  і  $Z_w$  (результатів функціонування нейро-нечітких систем першого та другого типів) можна обчислити шукану величину  $\tilde{Z}_{2,v}$  за такою формулою:

$$\tilde{Z}_{2,v} = \tilde{Z}_w - \tilde{Z}_{1,v}. \quad (1)$$

Результати численних імітаційних експериментів, виконаних в середовищі MATLAB, свідчать про те, що точність прогнозування, здійснюваного за допомогою синтезованих нечітких нейронних мереж, становить 94-97 %.

При наявності достовірних даних про вхідне навантаження для майбутніх циклів обслуговування, поставлене завдання розподілу пропускну здатності телекомунікаційного каналу, можна розв'язати на основі використання лінійного програмування. Цільова функція при цьому має вид:

$$\sum_{v=1}^p \gamma_v Y_{u,v} \rightarrow \max, \quad (2)$$

а система обмежень має вид:

$$\begin{cases} Y_{(u-1),v} \leq q_{(u-1),v} + Z_{(u-1),v}; \\ Y_{u,v} \leq q_{(u-1),v} + Z_{(u-1),v} - Y_{(u-1),v} + Z_{u,v}; \\ Y_{u,v} \leq Q_v + Z_{u,v}; \\ \sum_{v=1}^p Y_{(u-1),v} \leq S; \\ \sum_{v=1}^p Y_{u,v} \leq S. \end{cases} \quad (3)$$

Додатковими умовами є такі обмеження:  $Y_{u,v} \geq 0$  для  $v = \overline{1, p}$ ,  $u = 2$ .

Позбавлення від нерівностей у системі (3) було здійснено введенням додаткових змінних  $X_i$ ,  $i = \overline{\{1, (3u + p)\}}$ , що мають невід'ємні значення:

$$\begin{cases} Y_{(u-1),v} + X_i = b_i, & i = \overline{\{1, u\}}; \\ Y_{(u-1),v} + Y_{u,v} + X_i = b_i, & i = \overline{\{(u+1), 2u\}}; \\ Y_{u,v} + X_i = b_i, & i = \overline{\{(2u+1), 3u\}}; \\ \sum_{v=1}^p Y_{(u-1),v} + X_i = b_i, & i = \overline{\{(3u+1), (3u+p)\}}; \\ \sum_{v=1}^p Y_{u,v} + X_i = b_i, & i = \overline{\{(3u+1), (3u+p)\}}. \end{cases} \quad (4)$$

де для  $i = \overline{\{1, u\}}$  та  $v = \overline{\{1, p\}}$ :

$$b_i = q_{(u-1),v} + Z_{(u-1),v}, \quad (5)$$

для  $i = \overline{\{(u+1), 2u\}}$  та  $v = \overline{\{1, p\}}$ :

$$b_i = q_{(u-1),v} + Z_{(u-1),v} + Z_{u,v}, \quad (6)$$

для  $i = \overline{\{(2u+1), 3u\}}$  та  $v = \overline{\{1, p\}}$ :

$$b_i = Q_v + Z_{u,v}, \quad (7)$$

для  $i = \overline{\{(3u+1), (3u+p)\}}$  та  $v = \overline{\{1, p\}}$ :

$$b_i = S. \quad (8)$$

Цільова функція в канонічній формі, з використанням коефіцієнтів  $d_n$ ,  $n = \overline{\{1, up\}}$  має вигляд:

$$d_1 Y_{1,1} + d_2 Y_{1,2} + \dots + d_p Y_{1,p} + d_{(p+1)} Y_{2,1} + \dots + d_{2p} Y_{2,p} + \dots + d_{up} Y_{u,p} \rightarrow \max. \quad (9)$$

Системі лінійних рівнянь (4) відповідає матриця коефіцієнтів  $A = \|a_{ij}\|$ , де  $i = \overline{\{1, (3u+p)\}}$ ,  $j = \overline{\{1, (pu+3u+p)\}}$ .

На основі матриці  $A$  складено початкову ітераційну таблицю (див. табл. 1). В якості прикладу, для складання цієї таблиці, розглянуто систему в якій розподіл пропускної здатності здійснюється для двох класів трафіку.

Для пошуку рішення у початковій ітераційній таблиці потрібно визначити поточні колонки за таким правилом:

**Правило 1.** Поточна колонка ітераційної таблиці – це колонка номер  $n$ , (де  $n = \overline{\{1, (up+3u+p)\}}$ ), яка містить елемент  $d_n$  із максимальним значенням.

У знайдених поточних колонках потрібно визначити поточний елемент за таким правилом:

**Правило 2.** Поточний елемент – це елемент  $a_{m,n}$  поточної колонки з такими  $m$  та  $n$ , (де  $m = \overline{\{1, (3u+p)\}}$ ,  $n = \overline{\{1, (up+3u+p)\}}$ ) при яких добуток  $a_{m,n} b_m$  має мінімальне додатне значення.

Початкова ітераційна таблиця

$i$	$j$												$b_i$
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
1	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	$b_1$
2	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	$b_2$
3	1	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	$b_3$
4	0	1	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	$b_4$
5	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	$b_5$
6	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	$b_6$
7	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	$b_7$
8	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1	$b_8$
$d_j$	$d_1$	$d_2$	$d_3$	$d_4$	0	0	0	0	0	0	0	0	

Потім початкову ітераційну таблицю потрібно перетворити у ітераційну таблицю першої ітерації, змінивши значення її елементів за такими формулами:

$$a_{m,j}^{k+1} = \frac{a_{m,j}^k}{a_{m,n}^k}, \quad j = \overline{\{1, (pu + 3u + p)\}}, \quad (10)$$

$$a_{i,j}^{k+1} = a_{i,j}^k - \frac{a_{m,j}^k}{a_{m,n}^k} a_{i,n}^k, \quad i \neq m, \quad j = \overline{\{1, (pu + 3u + p)\}}, \quad (11)$$

$$b_i^{k+1} = b_i^k - \frac{b_m^k}{a_{m,n}^k} a_{i,n}^k, \quad i \neq m, \quad (12)$$

$$b_i^{k+1} = b_i^k - \frac{b_m^k}{a_{mn}^k} a_{in}^k, \quad i \neq m, \quad (13)$$

$$d_j^{k+1} = d_j^k - \frac{a_{m,j}^k}{a_{m,n}^k} d_n^k, \quad j = \overline{\{1, (pu + 3u + p)\}}, \quad (14)$$

де  $k$  – номер ітерації (для елементів початкової ітераційної таблиці  $k = 0$ ).

Кожному розв'язку буде відповідати певний вигляд ітераційної таблиці, за яким для відповідного розв'язку можна знайти шукані значення  $Y_{u,v}$  за таким правилом:

**Правило 3.** Значення  $Y_{u,v}$  дорівнює значенню елемента  $b_i$  з таким  $i = \overline{\{1, (3u + p)\}}$ , при якому, відповідний циклу  $u$  та класу  $v$  коефіцієнт  $a_{i,j} = 1$ .

Серед одержаних розв'язків потрібно обрати той, що призводить до найменших сумарних втрат пакетів, які для  $u$  циклів обчислюються за формулою:

$$R_\Sigma = \sum_{v=1}^p R_{u,v}. \quad (15)$$

Для прийняття рішення про розподіл пропускну здатності телекомунікаційного каналу при передаванні пакетів даних  $v$  класів пропонується метод, що складається із викладених нижче етапів.

*Етап 1.* Формування початкової ітераційної таблиці.

На етапі 1 визначають елементи табл. 1. При цьому значення елементів  $b_i^0$  обчислюють за формулами (5)-(8), а значення елементів  $d_j^0 = \gamma_v$  визначаються в відповідності з (9) та належністю до класу  $v$ .

*Етап 2.* Пошук поточної колонки ітераційної таблиці.

На цьому етапі за правилом 1 в ітераційній таблиці обирають поточну колонку.

*Етап 3.* Визначення поточного елемента.

На цьому етапі за правилом 2 в ітераційній таблиці здійснюють пошук поточного елемента.

*Етап 4.* Перетворення ітераційної таблиці.

На етапі 4 за формулами (10)-(14) обчислюють елементи перетвореної ітераційної таблиці.

*Етап 5.* Пошук розв'язку.

На цьому етапі перевіряють наявність елементів із додатними значеннями у рядку  $d_j$ . Якщо такі елементи наявні, то здійснюється повернення до етапу 2. В іншому випадку знайдено розв'язок, згідно з яким шукані величини  $Y_{u,v}$  визначаються за правилом 3.

*Етап 6.* Перевірка наявності альтернативного розв'язку.

На цьому етапі у рядку  $d_j$  шукають елемент, значення якого дорівнює 0 у ітераційній таблиці, яка містить розв'язок, та дорівнювало від'ємному значенню у ітераційній таблиці попередньої ітерації. Якщо такого елемента немає, то інший розв'язок відсутній і здійснюється перехід до етапу 7. В іншому випадку колонку таблиці, що містить такий елемент, вважають поточною і для пошуку альтернативного розв'язку повертаються до етапу 3.

*Етап 7.* Прийняття рішення.

На цьому етапі для кожного знайденого розв'язку за формулою (15) обчислюють втрати пакетів. Потім із множини знайдених розв'язків обирається таке рішення щодо значень  $Y_{u,v}$ , при якому сумарні втрати пакетів є мінімальними.

Результати виконання численних розрахункових експериментів з різними початковими даними показали, що застосування пропонованого методу дозволяє максимізувати сумарний виграш від передавання пакетів в середньому на 5,2% та зменшити втрати пакетів в середньому на 7,8% в порівнянні з пріоритетним (PQ) та циклічним (RR) обслуговуванням. Результати отримані на основі аналітичних розрахунків були підтверджені серією лабораторних експериментів, які проводились на обладнанні компанії Cisco Systems. В ході яких було встановлено, що в умовах нестаціонарності вхідного навантаження, з зростанням його інтенсивності, метод, що пропонується, дозволяє зменшити кількість втрачених пакетів в порівнянні з Weighted Fair Queuing (WFQ). Разом з тим, сумарна кількість переданих пакетів протягом періоду спостереження збільшується в порівнянні з WFQ, що свідчить про більшу ефективність використання ресурсів телекомунікаційного каналу та дозволяє отримати більший сумарний виграш від

передавання пакетів.

Зменшення показників втрачених пакетів, що спостерігається в процесі застосування пропонованого розподілу пропускної здатності каналів, надає змогу також збільшити об'єм переданої мультимедійної інформації, про що свідчать результати представлених нижче досліджень.

Нехай переданий по мережі мультимедійний потік на приймальному боці неможливо якісно відтворити, якщо втрачено  $\alpha$  пакетів. У випадку успішної передачі  $\beta$  пакетів підряд вважається, що до цього моменту втрат пакетів не було. Крім того, задані наступні величини:

$P_D$  – імовірність відкидання переданого пакета внаслідок перевантаження;

$P_E$  – імовірність викривлення переданого пакета внаслідок наявності бітових помилок;

$\tau$  – середній інтервал часу між переданими пакетами,  $\tau > 0$ .

Обмеження:  $\alpha > 1$  і  $\beta > 1$ .

Необхідно одержати залежність середньої тривалості мультимедійного потоку, передачу якого можна здійснити з необхідною якістю, від величин  $P_D$  і  $P_E$ .

Для розв'язання поставленого завдання пропонується застосувати математичний апарат імовірнісно-часових графів (ІЧГ) й твірних функцій. У загальному випадку процес, що моделюється, можна представити у вигляді графу, зображеного на рис. 2.

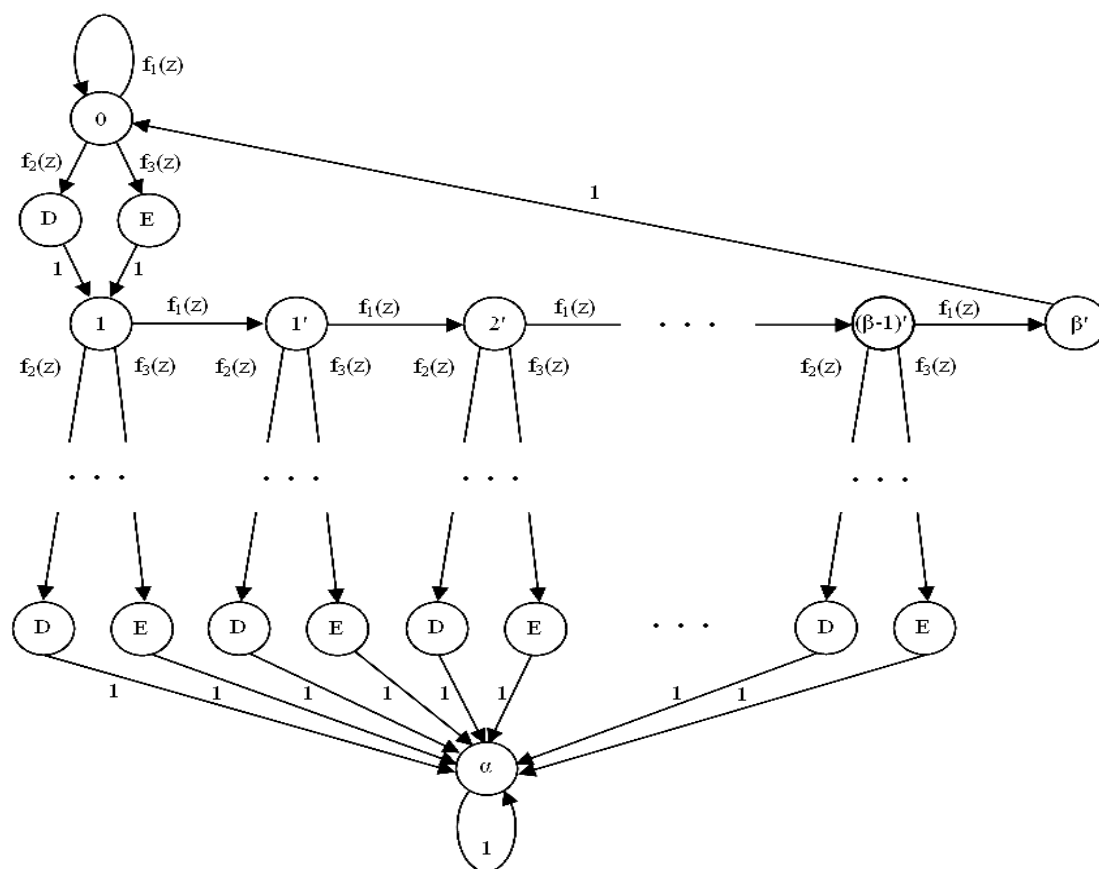


Рис. 2. ІЧГ, що моделює передачу мультимедійного потоку при  $\alpha > 1$  й  $\beta > 1$

Вершини цього графа моделюють наступні стани:

«0», «1» і « $\alpha$ » – втрачено, відповідно 0, 1 і  $\alpha$  пакети;

«1'», «2'», і « $\beta'$ » – після втраченого пакету успішно передано, відповідно 1, 2, і  $\beta$  пакети;

«D» – пакет відкинутий внаслідок перевантаження;

«E» – пакет спотворений (наявність у пакеті бітових помилок).

Переходи між зазначеними станами моделюються ребрами графа. Вищезазначеним ребрам відповідає одна з наступних функцій:

$$f_1(z) = (1 - P_D - P_E)z^\tau, \quad (16)$$

$$f_2(z) = P_D z^\tau, \quad (17)$$

$$f_3(z) = P_E z^\tau. \quad (18)$$

Узагальнені формули для обчислення твірних функцій ІЧГ, зображеного на рис. 2:

$$F_{e1}(z) = F_\alpha(z) \left[ 1 + (\alpha - 1) \left[ f_1(z) + f_1^2(z) + \dots + f_1^{(\beta-1)}(z) \right] \right], \quad (19)$$

$$F_{e2}(z) = f_1(z) + F_{(\alpha-2)}(z) f_1^\beta(z) + \beta^{(\alpha-2)} F_{(\alpha-1)}(z) f_1^\beta(z), \quad (20)$$

де

$$F_\alpha(z) = f_2^\alpha(z) + (\alpha - 1) \left[ f_2^{(\alpha-1)}(z) f_3(z) + f_2(z) f_3^{(\alpha-1)}(z) \right] + f_3^\alpha(z). \quad (21)$$

Результуючу твірну функцію графу  $F_e(z)$  можна знайти за формулою:

$$F_e(z) = \frac{F_{e1}(z)}{1 - F_{e2}(z)}. \quad (22)$$

Середня тривалість модельованого процесу, фактично, є середнім часом, протягом якого мультимедійний потік передається з необхідною якістю. Значення цієї величини можна визначити за допомогою виразу:

$$T = \left. \frac{dF_e(z)}{dz} \right|_{z=1}. \quad (23)$$

Шукана величина середнього об'єму переданої інформації, передачу якої можна здійснити з необхідною якістю, є найбільшим натуральним числом, що задовольняє наступній умові:

$$V \leq \frac{T}{\tau}. \quad (24)$$

Таким чином, використання аналітичних співвідношень (16)-(23), дозволяє оцінити середню тривалість мультимедійного потоку, передачу якого, в заданих умовах, можна здійснити з необхідною якістю. З використанням виразу (24) можна оцінити середній об'єм переданої інформації  $V$  від параметрів  $P_D$  і  $P_E$ .

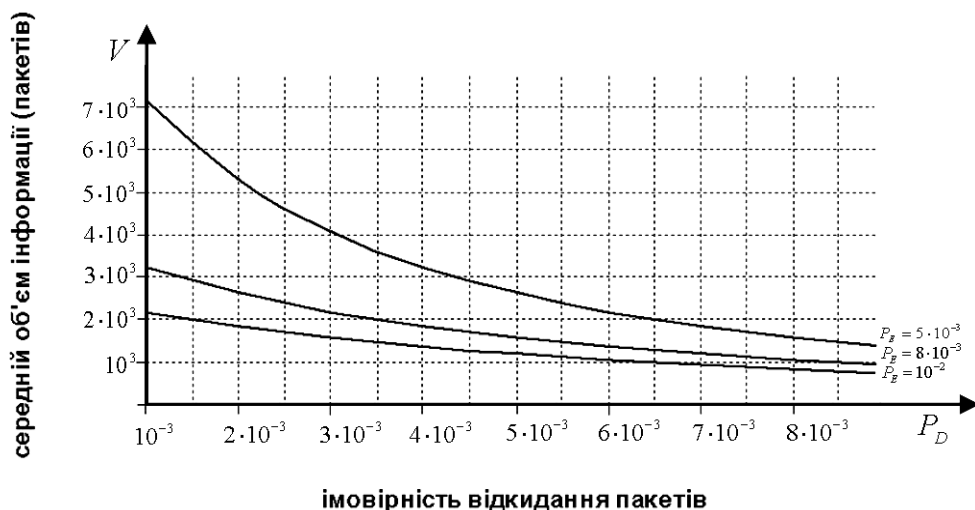


Рис. 3. Залежності  $V(P_D)$  при різних значеннях  $P_E$

За допомогою представлених графічних залежностей для заданих параметрів процесу, що моделюється, можна обґрунтувати рекомендований об'єм мультимедійної інформації, передача якої буде здійснена з необхідною якістю. Так, якщо внаслідок перешкод імовірність спотворення пакета рівна  $5 \cdot 10^{-3}$ , а імовірність відкидання пакета через перевантаження маршрутизаторів становить  $10^{-3}$ , то об'єм мультимедійної інформації не повинен перевищувати 7174 пакети. Якщо ж імовірність перешкод не змінилась, а імовірність відкидання пакета збільшилася до величини  $2 \cdot 10^{-3}$  (зросло мережне навантаження), то не рекомендується передавати мультимедійну інформацію, об'єм якої перевищує 5299 пакетів.

Одержану залежність  $V(P_D)$  можна використати для оцінки ефективності розподілу ресурсів телекомунікаційних каналів. Відповідні розрахункові експерименти показали, що зниження втрат пакетів, яке спостерігається внаслідок використання пропонованого методу розподілу каналної пропускної здатності, надає змогу в середньому на 23,6% збільшити об'єм інформації, яка передається мультимедійними потоками.

У **третьому розділі** здійснено удосконалення методу нейро-нечіткого управління відкиданням пакетів з врахуванням динамічної зміни пропускної здатності.

Динамічний перерозподіл пропускної здатності телекомунікаційного каналу при застосуванні пропонованого методу дозволяє покращити основні показники якості обслуговування. Але його застосування не дозволяє попередити перевантаження, що виникають в маршрутизаторах. Для боротьби з перевантаженнями традиційно застосовуються методи управління чергами. При цьому застосування відповідного методу управління чергами повинно бути узгодженим з рішеннями прийнятими при розподілі пропускної здатності.

В роботі [13] запропоновано метод управління відкиданням пакетів, що базується на нейро-нечіткому прогнозуванні величини  $\tilde{Z}_d$  (навантаження в поточному циклі) і  $\tilde{R}_e$  (втраченого навантаження в наступному циклі при

пасивному управлінні пакетної чергою). При цьому імовірність відкидання пакетів обчислюється за формулою:

$$P = \frac{\tilde{R}_e}{\tilde{Z}_d}. \quad (25)$$

Прогнозовані значення  $\tilde{Z}_d$  та  $\tilde{R}_e$  є вихідними величинами двох відповідних нейро-нечітких систем. Для отримання результатів прогнозу на входи цих систем подаються величини  $Z_a$ ,  $Z_b$  і  $Z_c$  – значення вхідного навантаження у трьох попередніх циклах. З метою одержання цих значень протягом кожного поточного циклу  $i$  здійснюється підрахунок величини  $Z_i$  – поточного навантаження, тобто кількості пакетів, що надходять у вихідний порт маршрутизатора для подальшої передачі по каналу. В умовах динамічної зміни пропускної здатності кількість відкинутих пакетів заданого класу залежить не тільки від динаміки надходження пакетів даного класу для передавання по каналу, але й від того, яке поточне значення пропускної здатності каналу виділяється для передавання цих пакетів. Тому актуальною науково-прикладною задачею є вдосконалення методу активного нейро-нечіткого управління пакетними чергами в частині урахування можливої зміни значень пропускної здатності каналу.

Згідно з удосконаленим методом нейро-нечіткого управління відкиданням пакетів у транзитному маршрутизаторі мають виконуватись такі етапи:

- 1) протягом кожного поточного циклу вимірюються значення величини  $Z_i$ ;
- 2) на вхід нейро-нечіткої системи, призначеної для прогнозування величини  $\tilde{Z}_d$  подаються значення величин  $Z_a$ ,  $Z_b$  та  $Z_c$ ;
- 3) на вхід нейро-нечіткої системи, призначеної для прогнозування величини  $\tilde{R}_e$  подаються значення величин  $Z_a$ ,  $Z_b$ ,  $Z_c$  та  $V_d$ ;
- 4) шляхом виконання процедур нечіткого виводу на виходах відповідних нейро-нечітких систем одержують значення результатів прогнозу, тобто величин  $\tilde{Z}_d$  і  $\tilde{R}_e$ ;
- 5) для кожного пакету, що надходить до транзитного маршрутизатора для передавання по певному каналу, генерується псевдовипадкове число  $\theta$  у межах  $[0, 1]$ ;
- 6) за формулою (26) обчислюється імовірність завчасного відкидання пакету, що надійшов;

$$P_d = \begin{cases} 1, & \tilde{Z}_d \leq \tilde{R}_e; \\ \frac{\tilde{R}_e}{\tilde{Z}_d}, & \tilde{Z}_d > \tilde{R}_e. \end{cases} \quad (26)$$

7) у разі виконання умови (27) приймається рішення про завчасне відкидання цього пакету.

$$P_d \geq \theta \quad (27)$$



Точність прогнозування величин  $\tilde{Z}_d$  та  $\tilde{R}_e$ , виявлена в результаті численних імітаційних експериментів, становить 95-97%. Аналіз показав, що застосування пропонованого удосконаленого методу дозволяє зменшити середню затримку пакетів на 8-9% в порівнянні з використанням Tail Drop і скоротити втрати пакетів на 7% в порівнянні з використанням Random Early Detection (RED). Результати розрахунків були в цілому підтвержені в ході багаточисленних лабораторних експериментів, які проводились на обладнанні компанії Cisco Systems. Лабораторні експерименти проводились в умовах нестаціонарного трафіку з випадковим законом розподілу Парето. Ефективність пропонованого методу оцінювалась шляхом порівняння значень показників середня затримка пакетів та рівень втрат пакетів з значеннями отриманими при використанні пасивного управління та активного управління чергою на основі RED. Таким чином, на основі застосування пропонованого методу, можна істотно підвищити ефективність відкидання пакетів в маршрутизаторах телекомунікаційної мережі в умовах зміни пропускної здатності каналів.

## ВИСНОВКИ ПО РОБОТІ

У дисертації наведено теоретичне обґрунтування і нове вирішення актуальної наукової задачі, сутність якої полягає у розробці теоретично обґрунтованих методів розподілу каналних ресурсів на основі застосування нечітких нейронних мереж. Для вирішення наукової задачі був використаний науковий апарат нечітких нейронних мереж, основними перевагами якого є здатність точного прогнозування вхідного навантаження і втрат пакетів, можливість автоматичного налаштування параметрів активного управління пакетними чергами та адекватної адаптації до динамічної зміни умов функціонування ТКМ, що дозволило отримати нові наукові результати:

1. В роботі показано, що існуючі методи розподілу ресурсів телекомунікаційних каналів мають ряд недоліків, основними з яких є: недосконалість статичного налаштування параметрів та недостатня теоретична обґрунтованість схем динамічного налаштування. У зв'язку з цим існує потреба у розробці нових та удосконаленні наявних методів розподілу пропускної здатності телекомунікаційних каналів та управління відкиданням пакетів у маршрутизаторах ТКМ. Встановлено, що в умовах нестаціонарного характеру вхідного навантаження, перевагу мають моделі та методи, які ґрунтуються на пакетному аналізі з використанням наукового апарату інтелектуальних систем.

2. Розроблений метод динамічного розподілу пропускної здатності телекомунікаційного каналу, який передбачає використання нейро-нечіткого прогнозування для визначення інтенсивності надходження пакетів різних класів для передавання по каналу. Встановлено, що застосування методу в умовах нестаціонарного вхідного навантаження дозволяє максимізувати сумарний виграш в середньому на 5,2% та зменшити втрати пакетів в результаті передавання інформаційних потоків по телекомунікаційним каналам в середньому на 7,8%.

3. Розроблено нові математичні моделі передавання мультимедійного потоку в телекомунікаційній мережі, які ґрунтуються на використанні імовірнісно-часових графів, і відбивають залежність характеристик доставки цього потоку від

імовірності наявності бітових помилок у пакеті та імовірності його відкидання внаслідок перевантаження маршрутизаторів.

4. Запропоновані моделі дозволили оцінити середній об'єм мультимедійної інформації чи середню тривалість мультимедійного потоку, передавання якого можна здійснити при заданій імовірності відкидання пакету. В результаті встановлено, що застосування пропонованого метода розподілу пропускної здатності телекомунікаційного каналу дозволяє збільшити об'єм якісно переданих мультимедійних потоків в середньому на 23,6 %.

5. Удосконалено метод нейро-нечіткого управління відкиданням пакетів у транзитному маршрутизаторі у частині того, що в процесі обчислення імовірності відкидання пакету враховується зміна пропускної здатності каналу, яка виділяється для обслуговування пакетів різних класів.

6. Проведена оцінка застосування удосконаленого методу нейро-нечіткого управління відкиданням пакетів показала, що його використання дозволяє зменшити середню пакетну затримку в середньому на 9 % й скоротити втрати пакетів в середньому на 7 % у порівнянні з використанням наявних методів управління чергами.

Проведена оцінка застосування отриманих методів розподілу ресурсів телекомунікаційних каналів показала, що їх реалізація дозволить досягти зниження затримки пакетів та їх втрат, збільшення обсягів інформації, доставлених адресатові з потрібною якістю, та забезпечення економічної обґрунтованості передавання даних. Результати аналітичних розрахунків були підтвердженні багаточисленними лабораторними експериментами, які проводились на обладнанні компанії Cisco Systems в умовах нестационарного вхідного навантаження з випадковим законом розподілу Парето.

Таким чином, сукупність отриманих в дисертації нових наукових результатів дозволяє вважати сформульовану наукову задачу, яка полягає в розробці теоретично обґрунтованих методів розподілу каналних ресурсів на основі застосування нечітких нейронних мереж – вирішеною, а поставлену мету – забезпечення якісного та економічно обґрунтованого передавання інформаційних потоків в телекомунікаційній мережі – досягнутою.

## **СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ РОБІТ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ**

1. Польщиків К. О. Імітаційна модель активного управління чергою на основі методу випадкового завчасного виявлення перевантаження в телекомунікаційній мережі / К.О. Польщиків, С.В. Дружинін, Ю.М. Здоренко // Системи управління, навігації та зв'язку. – К.: ЦНДІНУ. – 2009. – Вип. 4(12). – С.169-174.

2. Польщиків К.О. Імітаційна модель передавання даних в телекомунікаційній мережі, в якій управління вікном перевантаження здійснюється згідно з протоколом TCP / К.О. Польщиків, Ю.М. Здоренко, В.В. Шкіцькій // Радіоелектронні і комп'ютерні системи. – Харків: «ХАІ». – 2010. – Вип. 6(47). – С. 316-323.

3. Польщиків К.О. Використання програмного комплексу MATLAB для моделювання пакетного передавання в телекомунікаційній мережі /

К.О. Польщиков, Н.В. Рвачова, Ю.М. Здоренко, В.В. Шкіцькій // Інформаційні інфраструктури та технології. – Полтава. – 2010. – Вип. 1. – С. 53-55.

4. Польщиков К.А. Методика нейро-нечеткого прогнозирования потерь пакетов при перегрузке компьютерной сети / К.А. Польщиков, Ю.Н. Здоренко, Г.В. Сокол // Научный вестник ДГМА. – Краматорск: ДГМА. – 2011. – №2 (8Е). – С. 77-86.

5. Польщиков К. О. Оптимізація розподілу мережних ресурсів в маршрутизаторі телекомунікаційної мережі / К. О. Польщиков, М. О. Масесов, Ю. М. Здоренко, В. В. Шкіцькій // Сучасні інформаційні технології у сфері безпеки та оборони. – 2013. – № 2 (17). – С. 52-55.

6. Польщиков К. О. Метод прийняття рішення про розподіл пропускної спроможності телекомунікаційного каналу на основі лінійного програмування / К. О. Польщиков, М. О. Масесов, Ю. М. Здоренко // Сучасні інформаційні технології у сфері безпеки та оборони. – 2013. – № 3 (18). – С. 83-89.

7. Polshchykov K. O Method of telecommunications channel throughput distribution based on linear programming and neuro fuzzy predicting / K. O. Polshchykov, Y. M. Zdorenko, M. O. Masesov // Elixir International Journal, Network Engineering. – 2014. – Vol. 75 – pp.27327-27334.

8. Польщиков К. А. Математическая модель передачи мультимедийного сообщения в телекоммуникационной сети с коммутацией пакетов / К. А. Польщиков, Ю. Н. Здоренко, О. Я. Сова // Научные ведомости Белгородского государственного университета. – 2014. – № 15 (186), Выпуск 31/1. – С. 176-183.

9. Польщиков К. А. Усовершенствованный метод нейро-нечеткого управления отбрасыванием пакетов в транзитных маршрутизаторах телекоммуникационной сети [Электронный ресурс] / К. А. Польщиков, Ю. Н. Здоренко // Проблемы телекоммуникаций. – 2014. – № 2 (14). – С. 76-90. – Режим доступа: [http://pt.journal.kh.ua/2014/2/1/142\\_polshikov\\_fuzzy.pdf](http://pt.journal.kh.ua/2014/2/1/142_polshikov_fuzzy.pdf).

10. Польщиков К.О. Імітаційне моделювання раннього відкидання пакетів в комп'ютерних мережах / К.О Польщиков, Ю.М. Здоренко // Міжнародна науково-практична конференція «Інформаційні технології та інформаційна безпека в науці, техніці та навчанні», 07-12 вересня 2009р.: матеріали конф. – Севастополь: СЕВНТУ, 2009. – С. 468.

11. Польщиков К.О. Моделювання методу випадкового завчасного виявлення перевантаження в телекомунікаційній мережі / К.О. Польщиков, Ю.М. Здоренко // Дев'ята науково-технічна конференція «Математичне моделювання та інформаційні технології», 20-22 жовтня 2009р.: тези доповідей – Одеса: ОДАХ, 2009. – С. 34.

12. Польщиков К.О. Аналіз методів боротьби з перевантаженнями, що використовуються при передаванні ТСП-трафіку в телекомунікаційних мережах / К.О. Польщиков, Ю.М. Здоренко, В.В. Шкіцькій // V науково-практичний семінар «Пріоритетні напрямки розвитку телекомунікаційних систем та мереж спеціального призначення», 22 жовтня 2009р.: Зб. матеріалів семінару – К.: ВІПІ НТУУ «КПІ», 2009. – С. 212.

13. Польщиков К.О. Метод нейро-нечіткого активного управління

пакетними чергами в телекомунікаційній мережі / К.О. Польщиків, Ю.М. Здоренко // Четвертый международный радиоэлектронный форум «Прикладная радиоэлектроника. Состояние и перспективы развития» (МРФ'2011), 18-21 октября 2011г.: Сб. науч. трудов – Х.: ХНУРЭ, 2011. – Т.2. – С. 113-116.

14. Польщиків К.О. Метод адаптивного розподілу мережних ресурсів в маршрутизаторі телекомунікаційної мережі / К.О. Польщиків, М.О. Масесов, Ю.М. Здоренко // Застосування інформаційних технологій у підготовці та діяльності сил охорони правопорядку: науково-практична конференція, 20-21 березня 2013р.: Зб. тез доповідей – Х.: Академія внутрішніх військ МВС України, 2013. – С. 38.

15. Масесов Н.А. Модель адаптивного управління очередями в маршрутизаторе телекоммуникационной сети / Н. А. Масесов, К. А. Польщиків, Ю. Н. Здоренко // XIX международная научно-техническая конференция «Информационные системы и технологии»: материалы конф., 19 апреля 2013 г. – Нижний Новгород: НГТУ им. Р. Е. Алексеева, 2013. – С. 123.

16. Zdorenko Y. Method of Telecommunications Channel Throughput Distribution Based on Linear Programming / Y. Zdorenko, V. Shkickyi, N. Masesov // International Conference “Modern problems of radio engineering, telecommunications, and computer science” (TCSET'2014), 25 February – 01 March 2014: Proceedings of the Conference – Lviv-Slavske: Lviv Polytechnic National University, 2014. – p. 458-461.

17. Polshchykov K. Neuro-Fuzzy System for Prediction of Telecommunication Channel Load / K. Polshchykov, Y. Zdorenko, M. Masesov // Second International Scientific-Practical Conference. Problems of Infocommunications Science and Technology (IEEE PIC S&T'2015), 13-15 October 2015: Proceedings of the Conference – Kharkiv: Kharkiv National University of Radio Electronics, 2015. – pp.33-34.

18. Патент на корисну модель 72989 Україна. Спосіб нейро-нечіткого управління пакетною чергою вихідного порту маршрутизатора телекомунікаційної мережі / К.О. Польщиків, Ю.М. Здоренко, О.Ю. Стрюк, В.В. Шкіцькій. – №и 201200752; заявл. 25.01.2012; опубл. 10.09.2012. Бюл. №17.

## АНОТАЦІЯ

**Здоренко Ю.М.** Методи розподілу ресурсів телекомунікаційних каналів на основі використання нечітких нейронних мереж. – Рукопис. Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за фахом 05.12.02 – телекомунікаційні системи та мережі. Харківський національний університет радіоелектроніки, м. Харків, 2016.

Дисертацію присвячено вирішенню актуальної наукової задачі, що полягає у розробці теоретично обґрунтованих методів розподілу каналних ресурсів на основі застосування нечітких нейронних мереж.

В роботі запропоновано новий метод розподілу пропускної здатності телекомунікаційного каналу на основі нейро-нечіткого прогнозування. Визначено, що застосування пропонованого методу дозволяє збільшити сумарний виграш від передавання пакетів та знизити втрати пакетів. Розроблено математичні моделі передавання мультимедійного потоку, що дозволяють встановити середній об'єм мультимедійної інформації чи середню тривалість мультимедійного потоку,

передавання якого можна здійснити при заданій імовірності відкидання пакету. Проведено удосконалення методу нейро-нечіткого управління відкиданням пакетів з врахуванням динамічної зміни пропускної здатності. Визначено, що застосування удосконаленого методу дозволяє скоротити втрати пакетів і зменшити середню затримку пакетів в умовах динамічної зміни пропускної здатності.

**Ключові слова:** втрати пакетів, нечітка нейронна мережа, пакетна затримка, пропускна здатність, ресурси телекомунікаційних каналів, трафік.

## АННОТАЦІЯ

**Здоренко Ю.М.** Методы распределения ресурсов телекоммуникационных каналов на основе использования нечетких нейронных сетей. – Рукопись. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.12.02 – телекоммуникационные системы и сети. Харьковский национальный университет радиоэлектроники, г. Харьков, 2016.

Диссертация посвящена решению актуальной научной задачи, которая состоит в разработке теоретически обоснованных методов распределения канальных ресурсов на основе применения нечетких нейронных сетей.

Проведен анализ существующих методов распределения ресурсов телекоммуникационных каналов и выявлены их недостатки. Установлено, что они имеют статический характер, а теоретические исследования относительно создания динамических методов основаны на эвристических моделях и являются недостаточно аргументированными. В связи с этим обоснована потребность в разработке новых и усовершенствовании имеющихся методов распределения пропускной способности телекоммуникационных каналов и управления отбрасыванием пакетов в маршрутизаторах телекоммуникационных сетей. Установлено, что в условиях нестационарного характера входящей нагрузки, преимущество имеют модели и методы, которые основаны на пакетном анализе с использованием научного аппарата интеллектуальных систем. Реализация этих методов направлена на снижение задержек пакетов и их потерь, увеличение объемов информации, доставленной адресату с требуемым качеством, и обеспечение экономической обоснованности передачи данных.

В ходе решения поставленной научной задачи в диссертационной работе получены такие новые научные результаты. В работе предложен новый метод распределения пропускной способности телекоммуникационного канала на основе нейро-нечеткого прогнозирования. Определено, что применение предлагаемого метода позволяет увеличить суммарный выигрыш от передачи пакетов в среднем на 5,2% и снизить их потери в процессе передачи потоков в среднем на 7,8%.

Разработаны математические модели передачи мультимедийного потока, которые позволяют установить зависимость среднего объема информации, качественную передачу которой, можно осуществить при заданной вероятности отбрасывания пакетов. Полученные математические модели передачи мультимедийного потока были использованы для оценки эффективности предложенного метода распределения пропускной способности. Показано, что применение предлагаемого метода распределения пропускной способности

телекоммуникационного канала позволяет увеличить объем качественно переданных мультимедийных потоков в среднем на 23,6 %.

Проведено усовершенствование метода нейро-нечеткого управления отбрасыванием пакетов с учетом динамического изменения пропускной способности телекоммуникационного канала. Определено, что применение усовершенствованного метода позволяет сократить потери пакетов в среднем на 7% и уменьшить среднюю задержку пакетов в условиях динамического изменения пропускной способности в среднем на 9%.

Результаты расчетов были в целом подтверждены в ходе многочисленных лабораторных экспериментов, которые проводились на оборудовании компании Cisco Systems. Лабораторные эксперименты проводились в условиях нестационарного трафика со случайным законом распределения Парето. Эффективность предлагаемых методов оценивалась путем сравнения значений показателей средняя задержка пакетов и уровень потерь пакетов полученных при использовании существующих и предлагаемых методов.

Практическое значение полученных результатов состоит в возможности их применения для построения аппаратно-программных средств для распределения пропускной способности исходящего интерфейса и управления заблаговременным отбрасыванием пакетов в маршрутизаторах телекоммуникационных сетей.

**Ключевые слова:** потери пакетов, нечеткая нейронная сеть, пакетная задержка, пропускная способность, ресурсы телекоммуникационных каналов, трафик.

## ABSTRACT

**Zdorenko Y.M.** Methods of division of resources of the telecommunication channels on the basis of using of fuzzy neuron networks. – Manuscript. Dissertation for the candidate of technical sciences degree in speciality 05.12.02 – telecommunication systems and networks. – Kharkiv National University of Radio Electronics, Kharkiv, 2016.

Dissertation is devoted to actual scientific task solution, which consists in development of the channel resources division methods on the basis of using of fuzzy neuron networks.

New method of division of telecommunication channel bandwidth is offered. It is based on neuro-fuzzy prediction. It is revealed, that using of offered method allows to increase a total benefit from packets transmission and to reduce the losses of packets. The mathematical models of multimedia flow transferring are developed. They allow setting of middle volume of multimedia message for transferring or middle duration of multimedia flow, transmission of which can be implemented with determined probability of packet dropping. The improvement of method of fuzzy neuron management the casting-out packets is conducted. It takes into account the dynamic changing of bandwidth. Defined, that using of the improved method allows reducing of losses of packets and decreasing of average packet delay in the conditions of dynamic changing of bandwidth.

Keywords: losses of packets, fuzzy neuron network, packet delay, bandwidth, resources of the telecommunication channels, traffic.

Підп. до друку 01.08.16.

Формат 60x90/16

Спосіб друку - ризографія

Умов. друк арк. 1,3

Тираж 100 прим.  
Ціна договірна

Зам. № 529736

ФО-П Гаража М.Ф  
Полтава, вул. Шведська, 20-б