

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Дніпропетровський національний університет
залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна

Кафедра «Електронні обчислювальні машини»

В. М. Пахомова

**ДОСЛІДЖЕННЯ ІНФОРМАЦІЙНО-ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНОЇ
СИСТЕМИ ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ
З ВИКОРИСТАННЯМ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ**

Дніпро, 2018

УДК 004.8:656.2

П 21

Видавництво ПФ «Стандарт - Сервіс», 2018

ISBN 978-617-7382-14-9

Рекомендовано до друку вченою радою
Дніпропетровського національного університету
залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна
(протокол № 3 від 31.10.2016).

Рецензенти:

д-р техн. наук, проф. *О. І. Михальов*
(ДВНЗ «Національна металургійна академія України»);
д-р техн. наук, проф. *В. С. Хандецький*
(ДВНЗ «Дніпропетровський Національний університет
імені О. Гончара»)

**П21 ДОСЛІДЖЕННЯ ІНФОРМАЦІЙНО-ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ
ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ З ВИКОРИСТАННЯМ ШТУЧНОГО
ІНТЕЛЕКТУ** / В. М. Пахомова. – Дніпро, Вид-во ПФ «Стандарт - Сервіс», 2018. – 220 с.
ISBN 978-617-7382-14-9

УДК 004.8:656.2

Представлені розв'язки задач маршрутизації, прогнозування та захисту в інформаційно-телекомунікаційній системі залізничного транспорту на основі використання методів штучного інтелекту: мурашиного та генетичного алгоритмів; нейронних та нейронечітких мереж, а також дослідження можливості подальшого розвитку комп'ютерних мереж з використанням технологій ATM і MPLS.

Книга призначена для здобувачів ступеня вищої освіти «магістр» спеціальностей «Комп'ютерна інженерія» і «Кібербезпека» у вивченні основних методів штучного інтелекту для дослідження інформаційно-телекомунікаційної системи залізничного транспорту.

Іл. 145. Табл. 44. Бібліогр.: 83 назв.

В. М. Пахомова, 2018
Дніпропетровський національний уні-
верситет залізничного транспорту
імені академіка В. Лазаряна, 2018
Видавництво ПФ «Стандарт - Сервіс», 2018

ISBN 978-617-7382-14-9

2

ЗМІСТ

| | |
|---|----|
| Вступ | 8 |
| РОЗДІЛ 1 Інформаційно-телекомунікаційна система Придніпровської залізниці | 11 |
| 1.1. Загальна характеристика | 11 |
| 1.2. Мережа передачі даних | 13 |
| 1.2.1. Призначення мережі передачі даних | 13 |
| 1.2.2. Структура мережі передачі даних | 14 |
| 1.2.3. Варіанти підключення до мережі передачі даних | 16 |
| 1.2.4. Протоколи, що використовуються в мережі передачі даних | 19 |
| 1.3. Система АСК ВП УЗ-Є як найважливіша складова ІТС | 20 |
| 1.3.1. Основні відомості | 20 |
| 1.3.2. Програмно-технічні засоби | 21 |
| 1.3.3. Адміністрування засобів обчислювальної техніки | 22 |
| РОЗДІЛ 2 Дослідження структури комп'ютерної мережі Управління дороги і ДН-1 | 24 |
| 2.1. Постановка задачі | 24 |
| 2.2. Імітаційна модель комп'ютерної мережі існуючої структури | 27 |
| 2.3. Комутатор як основний засіб логічної структуризації мережі | 30 |
| 2.3.1. Повна заміна концентраторів комутаторами | 30 |
| 2.3.2. Імітаційна модель мережі на комутаторах | 30 |
| 2.3.3. Програмна модель оцінки продуктивності комутатора | 32 |
| 2.3.4. Дослідження методів керування потоком кадрів | 37 |
| 2.4. Маршрутизатор як альтернативний засіб логічної структуризації мережі | 40 |
| 2.4.1. Уведення маршрутизатора в структуру мережі | 40 |
| 2.4.2. Імітаційна модель мережі на основі маршрутизатора | 40 |
| 2.5. Використання технології VLAN | 42 |
| 2.5.1. Організація віртуальних мереж на комутаторах | 42 |
| 2.5.2. Імітаційна модель мережі за умови організації віртуальних мереж на комутаторах | 43 |
| 2.5.3. Об'єднання віртуальних мереж на основі маршрутизаторів | 43 |
| РОЗДІЛ 3 Дослідження параметрів мережного трафіку в ІТС | 47 |
| 3.1. Розв'язання задачі маршрутизації на основі штучного інтелекту | 47 |
| 3.1.1. Постановка задачі | 47 |
| 3.1.2. Розв'язання задачі на основі нейронної мережі | 50 |
| 3.1.3. Розв'язання задачі за мурашиним алгоритмом | 56 |
| 3.1.4. Розв'язання задачі за генетичним алгоритмом | 61 |
| 3.1.5. Дослідження часу роботи алгоритмів | 65 |
| 3.2. Прогнозування обсягу мережного трафіку на нейронечіткій мережі | 67 |
| 3.2.1. Постановка задачі та аналіз мережного трафіку | 67 |
| 3.2.2. Підготовка вибірок | 69 |
| 3.2.3. Створення нейронечіткої мережі | 70 |
| 3.2.4. Навчання нейронечіткої мережі | 72 |
| 3.2.5. Тестування нейронечіткої мережі | 74 |
| 3.2.6. Перевірка адекватності прогнозу | 77 |
| 3.2.7. Дослідження похибки навчання гібридної системи від її параметрів | 79 |

| | |
|---|-----|
| 3.3. Прогнозування часу передачі даних в комп'ютерній мережі на основі нейронечіткої мережі..... | 82 |
| 3.3.1. Постановка задачі..... | 82 |
| 3.3.2. Створення та тестування системи ANFIS..... | 84 |
| 3.3.3. Аналіз адекватності прогнозу..... | 89 |
| 3.3.4. Дослідження похибки навчання нейронечіткої мережі від кількості термів та різними функціями належності..... | 89 |
| 3.3.5. Дослідження похибки навчання нейронечіткої мережі від кількості термів за різними алгоритмами навчання..... | 90 |
| 3.4. Прогнозування інтенсивності мережного трафіку на нейронній мережі..... | 91 |
| 3.4.1. Аналіз мережного трафіку..... | 91 |
| 3.4.2. Підготовка вибірок з використанням параметрів суперечення та повторення..... | 96 |
| 3.4.3. Створення нейронної мережі..... | 98 |
| 3.4.4. Оцінка адекватності прогнозу..... | 99 |
| РОЗДІЛ 4 Пропозиції щодо удосконалення ІТС Придніпровської залізниці..... | 104 |
| 4.1. Дослідження використання технології ATM..... | 104 |
| 4.1.1. Постановка проблеми..... | 104 |
| 4.1.2. Імітаційні моделі..... | 106 |
| 4.1.3. Обробка даних мережного трафіку Дніпропетровськ – Київ..... | 109 |
| 4.1.4. Аналіз одержаних результатів на імітаційних моделях..... | 110 |
| 4.1.5. Дослідження часу доставки повідомлення в мережі..... | 111 |
| 4.2. Дослідження використання технології MPLS..... | 117 |
| 4.2.1. Постановка проблеми..... | 117 |
| 4.2.2. Математична постановка задачі..... | 118 |
| 4.2.3. Програмна модель..... | 120 |
| 4.2.4. Розв'язування задачі..... | 122 |
| 4.2.5. Дослідження на імітаційній моделі..... | 124 |
| РОЗДІЛ 5 Захист інформації в комп'ютерних мережах ІТС..... | 131 |
| 5.1. Постановка проблеми..... | 131 |
| 5.2. Виявлення загроз Back, Buffer_overflow, Quess_passwd, Ipsweep, Neptune в комп'ютерній мережі..... | 132 |
| 5.2.1. Постановка задачі..... | 132 |
| 5.2.2. Багатошарова нейронна мережа як основний метод розв'язання..... | 133 |
| 5.2.3. Підготовка вибірок..... | 134 |
| 5.2.4. Створення нейронної мережі в FannExplorer..... | 136 |
| 5.2.5. Експериментальні дослідження часу навчання мережі..... | 141 |
| 5.3. Виявлення загроз Back, Quess_passwd, Neptune, Pod, Smurf, Teardrop, Warezclient, Hmap, Portsweep, Satan в комп'ютерній мережі..... | 144 |
| 5.3.1. Постановка задачі..... | 144 |
| 5.3.2. Створення, навчання та тестування нейронної мережі..... | 145 |
| 5.4. Визначення категорії класу та типу атаки на комп'ютерну мережу..... | 150 |
| 5.4.1. Постановка задачі..... | 150 |
| 5.4.2. Нейромережа для виявлення категорії класу атаки..... | 152 |
| 5.4.3. Нейромережі для виявлення типу атаки..... | 153 |
| 5.4.4. Результати досліджень..... | 156 |

| | |
|---|-----|
| РОЗДІЛ 6 Дослідження інтелектуальних підсистем АСК ВП УЗ-Є | 163 |
| 6.1. Інтелектуальна підсистема визначення кількості вагонів | 163 |
| 6.1.1. Постановка задачі | 163 |
| 6.1.2. Гібридна система як основний метод розв'язання задачі | 164 |
| 6.1.3. Попередній прогноз кількості вагонів | 165 |
| 6.1.4. Остаточний прогноз кількості вагонів | 168 |
| 6.1.5. Розробка інтерфейсу підсистеми «NLogicPlan» | 170 |
| 6.1.6. Дослідження похибки прогнозів | 172 |
| 6.2. Інтелектуальна підсистема вибору маршрутів потягів з використанням мурашиного алгоритму | 173 |
| 6.2.1. Постановка задачі | 173 |
| 6.2.2. Мурашиний алгоритм як основний засіб розв'язання задачі | 174 |
| 6.2.3. Програмна модель «ACS» | 174 |
| 6.2.4. Кільцева система маршрутизації | 176 |
| 6.2.5. Маятникова система маршрутизації | 177 |
| 6.2.6. Розробка інтерфейсу підсистеми «RouteTrain» | 177 |
| 6.3. Інтелектуальна підсистема вибору маршрутів потягів з використанням генетичного алгоритму | 178 |
| 6.3.1. Постановка задачі | 178 |
| 6.3.2. Генетичний алгоритм як основний засіб розв'язання задачі | 179 |
| 6.3.3. Програмна модель «GA» | 180 |
| 6.3.4. Кільцева система маршрутизації | 181 |
| 6.3.5. Маятникова система маршрутизації | 182 |
| 6.3.6. Розробка інтерфейсу підсистеми | 183 |
| 6.4. Інтелектуальна підсистема сортувальної гірки | 185 |
| 6.4.1. Постановка задачі | 185 |
| 6.4.2. Формальна модель станції мережі | 187 |
| 6.4.3. Імітаційна модель «Token Ring-4» | 189 |
| 6.4.4. Перевірка створеної імітаційної моделі на адекватність | 191 |
| 6.4.5. Дослідження впливу довжини кадру на роботу мережі | 192 |
| 6.4.6. Дослідження впливу інтенсивності надходження заявок та довжини кадру на максимальну довжину черги заявок станції | 193 |
| 6.4.7. Визначення параметрів мережі Token Ring, що будуть задовольняти поставленому обмеженню | 194 |
| 6.5. Інтелектуальна підсистема оперативного прогнозування простоїв прибуваючих поїздів | 197 |
| 6.5.1. Постановка задачі | 197 |
| 6.5.2. Обробка вхідних даних | 197 |
| 6.5.3. Створення нейронечіткої мережі | 199 |
| 6.5.4. Перевірка роботи нейронечіткої мережі | 201 |
| 6.5.5. Розробка автоматизованого робочого місця | 202 |
| ЗАКІНЧЕННЯ | 205 |
| Бібліографічний список | 209 |
| ДОДАТОК | 216 |

Перелік умовних позначень

ABR – Available Bit Rate
ACS – Ant Colony System
ANFIS – Adaptive-Network-Based Fuzzy Inference System
ATM – Asynchronous Transfer Mode
BGP – Border Gateway Protocol
CBR – Constant Bit Rate
CDV – Cell Delay Variation
CLR – Cell Loss Ratio
CTD – Cell Transfer Delay
Fann Explorer – Fann Artificial Neural Networks
FEC – Forwarding Equivalence Class
FTP – File Transfer Protocol
GUIDE – Graphic User Interface Development Environment
HTTP – HyperText Transfer Protocol
IEEE – Institute of Electrical and Electronics Engineers
IGP – Interior Gateway Protocol
IP – Internet Protocol
LAN – Local Area Networks
LSP – Label Switching Path
LSR – Label Switching Router
MAC – Media Access Control
MAPE – Mean Absolute Percentage Error
MBS – Maximum Burst Size
MCR – Minimum Cell Rate
MPLS – MultiProtocol Label Switching
MSAU – Multi Station Access Unit
MSE – Mean Squared Error
NFS – Network File System
NRT-VBR – Non Real Time Variable Bit Rate
NTP – Network Time Protocol
OSI – Open System Interconnection
OSPF – Open Shortest Path First
PCR – Peak Cell Rate
PNNI – Private Network-to-Network Interface
PPP – Point-to-Point Protocol
PVC – Permanent Virtual Circuit
QoS – Quality of Service
RAP – Roving Analysis Port
RCP – Remote Copy
RIP – Routing Information Protocol
RPC – Remote Procedure Call
RT-VBR – Real Time Variable Bit Rate

SCR – Sustained Cell Rate
SMTP – Simple Mail Transfer Protocol
SNMP – Simple Network Management Protocol
STA – Spanning Tree Algorithm
SVC – Switched Virtual Circuit
TCP – Transmission Control Protocol
TE – Traffic Engineering
TFTP – Trivial File Transfer Protocol
TSK – Takagi-Sugeno-Kang
UBR – Unspecified Bit Rate
UDP – User Datagram Protocol
UTP – Unshielded Twisted Pair
VLAN – Virtual Local Area Network
АРМ – автоматизоване робоче місце
АСК ВП УЗ-Є – єдина автоматизована система керування вантажними перевезеннями Укрзалізниці
АСК ПП УЗ-Є – єдина автоматизована система керування пасажирськими перевезеннями Укрзалізниці
БД – база даних
ІОЦ – інформаційно-обчислювальний центр
ІТС – інформаційно-телекомунікаційна система
МОД – мінімальне остовне дерево
МПД – мережа передачі даних
НМ – нейронна мережа
ОС – операційна система
ПК – персональний комп'ютер
РС – робоча станція
СУБД – система управління базою даних
УЗ – Укрзалізниця
ЦОД – центр обробки даних

Вступ

Розв'язання задачі займає стільки часу, скільки відпущено на її виконання
Закон Паркінсона

Донедавна робота залізничного транспорту України являла собою взаємодію шести залізниць: Східної, Львівської, Придніпровської, Харківської, Одеської, Донецької, на кожній з яких впроваджена відповідна інформаційно-телекомунікаційна система (ІТС). Основним напрямком розвитку комп'ютерних мереж ІТС залізниці є використання технологій ряду Ethernet (Ethernet, Fast Ethernet, Gigabit Ethernet), що забезпечують ієрархію швидкостей 10/100/1000 Мбіт/с, та використання стека протоколів TCP/IP. Однак на цьому розвиток комп'ютерних мереж ІТС не може бути зупинений, адже існує потреба в підвищенні якості обслуговування (Quality of Service, QoS), яку існуючі технології в ІТС не в змозі забезпечити. Наприклад, технологія асинхронного режиму передачі (Asynchronous Transfer Mode, ATM) – це перша технологія, яка має вбудовані можливості керування QoS, але у зв'язку з її дуже високою вартістю, доречно виконати дослідження повного чи часткового впровадження ATM в ІТС. Комплексний підхід до забезпечення якості обслуговування комп'ютерних мереж в ІТС можна реалізувати за рахунок технології багатопроTOCOLьної комутації за допомогою міток (MultiProtocol Label Switching, MPLS), яка позбавлена недоліків, властивих технології ATM, та підтримує техніку інжинірингу трафіку. Ця перспективна технологія об'єднує техніку віртуальних каналів з функціональністю TCP/IP і також потребує додаткового дослідження перед впровадженням в ІТС на залізничному транспорті.

На сучасному етапі стратегія інформатизації залізничного транспорту України передбачає перехід на трирівневу структуру керування зі створенням єдиного інформаційного простору і забезпеченням інтеграції АСК залізничною галуззю, тому однією із ключових задач залишається маршрутизація в комп'ютерних мережах ІТС. В існуючих протоколах маршрутизації BGP4, IGP, OSPF використовується пошук найкоротшого шляху на графі, реалізація якого в реальному часі викликає певні труднощі, тому доцільно знайти розв'язки задачі маршрутизації із застосуванням методів штучного інтелекту (нейронні та нейронечіткі мережі, мурашиний та генетичний методи) та виконати їх дослідження. Крім того, нейронні мережі доцільно використати й для розв'язання інших задач, таких як прогнозування параметрів мережного трафіку та виявлення загроз у комп'ютерних мережах ІТС.

Виходячи з визначених проблем в ІТС залізничного транспорту України написана ця книга, що складається з шести розділів. У всіх розділах як приклади наведено дослідження частин існуючої ІТС залізничного транспорту (фрагменти ІТС Придніпровської залізниці).

У розділі 1 (довідково-інформаційному розділі) подано загальну характеристику ІТС Придніпровської залізниці, до складу якої входять різні автоматизовані системи, основна з яких автоматизована система керування вантажними перевезеннями (АСК ВП УЗ-Є). Найважливішою складовою ІТС є мережа передачі даних (МПД), що складається з 119 вузлів, являє собою ієрархічну структуру та будується на базі оптичного середовища. Сама МПД – це трирівнева ієрархічна

структура, яка містить магістральний, дорожній і лінійний рівні. Вузол МПД належить до магістрального рівня, якщо на ньому, окрім підключень до вузлів МПД власне залізниці, є підключення до вузлів МПД інших залізниць. Локальні мережі підприємств належать до лінійного рівня, усі інші вузли МПД – до дорожнього рівня. Перелічено протоколи, що використовуються в МПД: BGP4, FTP, HTTP, IGP, IP, NTP, OSPF, PPP, RCP, RPC, SMTP, SNMP, TCP, telnet, UDP, X-window.

Розділ 2 присвячено дослідженню за часом реакції комп'ютерної мережі Управління і ДН-1 Придніпровської залізниці. Розроблено імітаційні моделі комп'ютерної мережі: існуючої структури (використання концентраторів та комутаторів), а також за умови: повної заміни концентраторів комутаторами, введення маршрутизатора в структуру мережі, організації віртуальних локальних мереж на комутаторах, об'єднання віртуальних мереж маршрутизаторами. Для того щоб комутатор коректно працював у комп'ютерній мережі необхідно виконати аналіз його продуктивності, що зроблено на програмній моделі «SPA» (Switch Production Analysis). Методи керування потоком кадрів (агресивного захоплення середовища та зворотного тиску на станцію мережі) досліджувалися на програмній моделі «Fast Ethernet».

У розділі 3 виконано дослідження мережного трафіку в ІТС Придніпровської залізниці з використанням методів штучного інтелекту: мурашиного та генетичного, багатошарової нейронної мережі. Для визначення оптимального маршруту розглянутого фрагмента мережі розроблено модель «Route». Досліджено час роботи розглянутих алгоритмів при різній кількості маршрутизаторів у мережі. Визначення оптимального маршруту в комп'ютерній мережі можливо здійснити також на основі прогнозування часу передачі з використанням нейронечіткої мережі (гібридної системи). Особливу увагу приділено прогнозуванню обсягу мережного трафіку на основі нейронечіткої мережі, підготовлено навчальну, тестову та контрольну вибірки на основі реальних даних за період 21.03.2016-26.03.2016. Крім того, проведено експериментальні дослідження залежності похибки навчання нейронечіткої мережі від її основних параметрів: кількості входів, кількості терм вхідної змінної, потужності навчальної вибірки.

Розділ 4 присвячено удосконаленню ІТС Придніпровської залізниці на основі використання технології ATM для фрагмента мережі Дніпро – Київ. З цією метою розроблено імітаційні моделі: ATMFast-DK, ATM-DK, GigaFast-DK. Модель ATMFast-DK реалізована на базі технології Fast Ethernet (у межах будівель управління) та ATM (між містами); модель ATM-DK базується на технології ATM; модель GigaFast-DK – на базі технології Fast Ethernet (у межах будівель управління) та Gigabit Ethernet (між містами). Для оцінки адекватності розроблених імітаційних моделей використано реальні дані трафіку фрагмента мережі Дніпро – Київ за 01.04.2016 р. На імітаційних моделях виконано експериментальні дослідження залежності часу доставки повідомлення від таких параметрів: кількості станцій мережі, що ведуть передачу даних, розміру повідомлення, а також у разі збільшення кількості звертань до мережі. Оскільки в МПД використовується цілий ряд різних протоколів, то в ІТС Придніпровської залізниці в перспективі доцільно застосування технології MPLS. Можливості керування трафіком у мережі MPLS реалізуються за допомогою технології інжинірингу трафіку. Відображення залежності

якості розв'язання задачі інжинірингу трафіку від черговості вибору тунелів у мережі MPLS показано на моделі «TraffEng». На імітаційній моделі фрагмента ІТС Придніпровської залізниці підтверджується ефективність використання протоколу MPLS при передачі збільшеного нечутливого UDP трафіку і чутливого до перевантаження TCP трафіка.

У розділі 5 наведені розв'язки задачі визначення атак у комп'ютерній мережі. Наприклад, виявлення атак Back, Buffer_overflow, Quess_passwd, Ipsweep, Neptune здійснено на нейронній мережі конфігурації 19-1-25-5, на вхід якої подаються 19 параметрів мережного трафіку. На основі даних бази KDDCup99 сформовано такі вибірки: навчальна (430 прикладів), тестова (200 прикладів), контрольна (25 прикладів). Окрім того, виконано експериментальні дослідження залежності часу навчання нейронної мережі (кількість епох) від кількості нейронів у прихованому шарі (від 10 до 55) і кількості прихованих шарів (від 1 до 4) за різними алгоритмами навчання.

Розділ 6 присвячено дослідженню АСК ВП УЗ-Є: визначення кількості вагонів та часу простою поїздів на основі використання нейронечітких мереж, вибору маршрутів потягів за мурашиним та генетичним алгоритмами, управління роботою на сортувальній гірці. Зокрема, тестування підсистеми «NLogicPlan» виконано на базі реальних даних за березень 2014 р. станції Синельникове-1; значення середньої абсолютної процентної похибки прогнозування кількості навантажених та порожніх вагонів склало 16,52 % та 14,99 % відповідно.

У процесі написання книги мені довелося спілкуватися з людьми, яким я дуже вдячна. Дякую начальнику відділу телекомунікаційних систем і мереж передачі даних В. Г. Івченко за консультації та наданий матеріал про призначення та структуру ІТС Придніпровської залізниці, який увійшов у довідково-інформаційний розділ (розділ 1). Вдячність моєму науковому консультанту професору І. В. Жуковицькому за підтримку та корисні поради при написанні книги. Особлива подяка редактору О. О. Котової.

Вважаю, що дана книга допоможе здобувачам ступеня вищої освіти «магістр» спеціальностей «Комп'ютерна інженерія» і «Кібербезпека» у вивченні основних методів штучного інтелекту: багатошарових нейронних та нейронечітких мереж, мурашиного та генетичного алгоритмів при дослідженні комп'ютерних мереж на залізничному транспорті України.

З повагою Вікторія Миколаївна

3.2. Прогнозування обсягу мережного трафіку на нейронечіткій мережі

3.2.1. Постановка задачі та аналіз мережного трафіку

Постійне збільшення обсягу мережного трафіку в ІТС Придніпровської залізниці породжує необхідність його прогнозування для запобігання перевантаженню в мережі та підвищення якості послуг. Одним із можливих рішень може бути метод прогнозування обсягу мережного трафіку, який дозволить уникнути таких перевантажень (зокрема, перевантажень сервера). Для дослідження використано реальні дані трафіку найбільш важливої частини ІТС Придніпровської залізниці Дніпро – Київ за період 21.03-26.03.2016 р.; результати представлені автором в [61]. Виконано аналіз вхідного та вихідного трафіку за напрямком пошуку довгострокових залежностей (години, доби). Для наочності побудовано графіки обсягів вхідного/вихідного мережних трафіків, довжина фрагменту часового ряду відповідає 24 годинам (рис. 3.17-3.18).

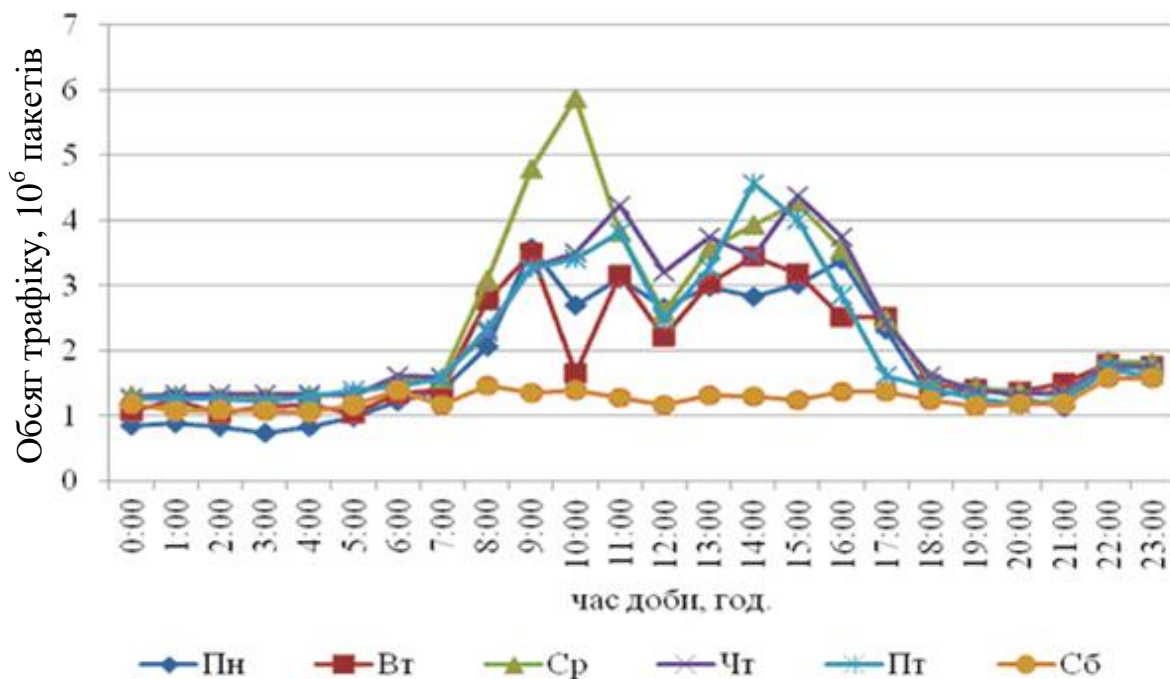


Рис. 3.17. Вхідний трафік Дніпро – Київ

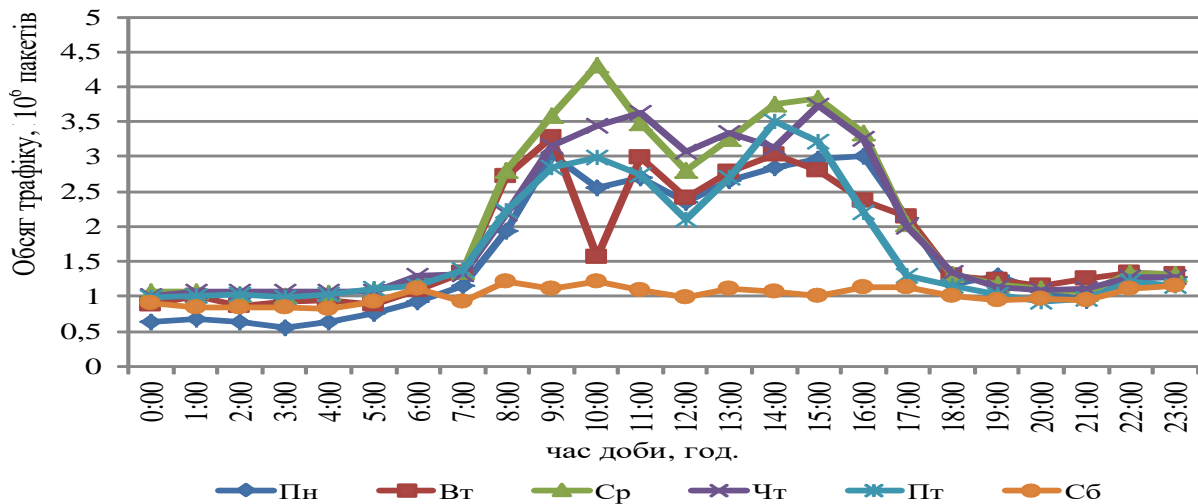


Рис. 3.18. Вихідний трафік Дніпро – Київ

З рисунків можна зробити висновок про тенденцію поведінки мережного трафіку обсягів за тиждень: він приблизно однаковий у понеділок, вівторок, четвер та п'ятницю; існують певні закономірні зміни за визначені періоди. Так, зокрема, низький трафік та більш-менш стабільний з 00:00 до 07:00, високий та нестабільний трафік з 08:00 до 17:00, знову низький та відносно незмінний трафік – з 18:00 до 23:00. У середу мережний трафік найбільш високий, а у вихідні трафік значно менший ніж у будні дні. Із рис. 3.17 видно, що вхідний трафік у середу більший приблизно в 1,5 разу порівняно з понеділком та вівторком, і в 1,2 разу з четвергом та п'ятницею. Вихідний трафік у середу приблизно в 1,3 рази перевищує трафік понеділка, вівторка, четверга та п'ятниці (рис. 3.18). Максимальні та мінімальні значення обсягу трафіку (вхідного та вихідного) занесені до табл. 3.3. Для побудови прогнозу (на добу вперед) обсягу мережного трафіку обрано інтервал з 08:00 до 17:00, де відбуваються його значні коливання, але за дні тижня (понеділок, вівторок, четвер, п'ятниця), коли характер трафіку приблизно однаковий. Тому прийнято рішення здійснити прогноз (на добу вперед) обсягу трафіку $x(t)$ на базі даних попередніх трьох днів: $x(t-1)$, $x(t-2)$, $x(t-3)$.

Таблиця 3.3

Обсяг мережного трафіку в ІТС (Дніпро – Київ), 10^6 пакетів

| Дні тижня | Вхідний трафік | | Вихідний трафік | |
|-----------|----------------|------------|-----------------|------------|
| | <i>max</i> | <i>min</i> | <i>max</i> | <i>min</i> |
| Понеділок | 3,57 | 2,06 | 3,04 | 1,94 |
| Вівторок | 3,5 | 1,64 | 3,28 | 1,56 |
| Середа | 5,87 | 2,47 | 4,38 | 2,04 |
| Четвер | 4,37 | 2,29 | 3,64 | 2,00 |
| П'ятниця | 4,56 | 1,61 | 3,5 | 1,29 |
| Субота | 1,46 | 1,17 | 1,22 | 0,99 |

3.2.2. Підготовка вибірок

Для здійснення прогнозу необхідно підготувати такі вибірки: навчальну, тестову, контрольну. Від сформованої вибірки залежить, наскільки ефективним буде процес навчання та тестування, а також здатність мережі вирішувати поставлені перед нею проблеми під час експлуатації. Для підготовки вибірки складено спеціальний масив зі 100 прикладів, що близькі до реальних. Для формування навчальної вибірки зі створеного масиву використано перші 50 значень, для тестової – наступні 50 значень. Для формування контрольної вибірки використано реальні дані четвертого дня, який не розглядався при прогнозуванні. Фрагменти всіх вибірок обсягів вхідного та вихідного трафіків наведено в табл. 3.4-3.5 відповідно.

Таблиця 3.4

Обсяг вхідного трафіку в ІТС (Дніпро – Київ), 10^6 пакетів

| Навчальна вибірка | | | | Тестова вибірка | | | | Контрольна вибірка | | | |
|-------------------|----------|----------|--------|-----------------|----------|----------|--------|--------------------|----------|----------|--------|
| $x(t-3)$ | $x(t-2)$ | $x(t-1)$ | $x(t)$ | $x(t-3)$ | $x(t-2)$ | $x(t-1)$ | $x(t)$ | $x(t-3)$ | $x(t-2)$ | $x(t-1)$ | $x(t)$ |
| 3,26 | 4,33 | 3,40 | 3,48 | 1,72 | 3,07 | 1,68 | 4,20 | 2,06 | 2,77 | 2,29 | 2,34 |
| 4,33 | 3,40 | 3,48 | 3,41 | 3,07 | 1,68 | 4,20 | 2,35 | 3,57 | 3,5 | 3,28 | 3,25 |
| 3,40 | 3,48 | 3,41 | 3,86 | 1,68 | 4,20 | 2,35 | 2,75 | 2,7 | 1,64 | 3,49 | 3,4 |
| 3,48 | 3,41 | 3,86 | 1,93 | 4,20 | 2,35 | 2,75 | 4,36 | 3,11 | 3,16 | 4,23 | 3,82 |
| 3,41 | 3,86 | 1,93 | 2,56 | 2,35 | 2,75 | 4,36 | 3,05 | 2,66 | 2,2 | 3,2 | 2,47 |
| 3,86 | 1,93 | 2,56 | 1,99 | 2,75 | 4,36 | 3,05 | 1,81 | 2,98 | 3,03 | 3,74 | 3,27 |
| 1,93 | 2,56 | 1,99 | 3,91 | 4,36 | 3,05 | 1,81 | 3,20 | 2,83 | 3,45 | 3,45 | 4,56 |
| 2,56 | 1,99 | 3,91 | 3,43 | 3,05 | 1,81 | 3,20 | 4,29 | 3,01 | 4,27 | 4,37 | 4,01 |
| 1,99 | 3,91 | 3,43 | 1,75 | 1,81 | 3,20 | 4,29 | 1,95 | 3,39 | 2,51 | 3,75 | 2,84 |
| ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | 2,33 | 2,51 | 2,41 | 1,61 |

Таблиця 3.5

Обсяг вихідного трафіку в ІТС (Дніпро – Київ), 10^6 пакетів

| Навчальна вибірка | | | | Тестова вибірка | | | | Контрольна вибірка | | | |
|-------------------|----------|----------|--------|-----------------|----------|----------|--------|--------------------|----------|----------|--------|
| $x(t-3)$ | $x(t-2)$ | $x(t-1)$ | $x(t)$ | $x(t-3)$ | $x(t-2)$ | $x(t-1)$ | $x(t)$ | $x(t-3)$ | $x(t-2)$ | $x(t-1)$ | $x(t)$ |
| 2,37 | 2,61 | 2,57 | 2,14 | 2,55 | 3,41 | 3,59 | 3,36 | 1,94 | 2,73 | 2,19 | 2,22 |
| 2,61 | 2,57 | 2,14 | 2,04 | 3,41 | 3,59 | 3,36 | 3,25 | 3,04 | 3,28 | 3,16 | 2,84 |
| 2,57 | 2,14 | 2,04 | 2,04 | 3,59 | 3,36 | 3,25 | 2,71 | 2,56 | 1,56 | 3,44 | 2,98 |
| 2,14 | 2,04 | 2,04 | 2,98 | 3,36 | 3,25 | 2,71 | 2,96 | 2,70 | 2,99 | 3,63 | 2,75 |
| 2,04 | 2,04 | 2,98 | 3,28 | 3,25 | 2,71 | 2,96 | 2,05 | 2,35 | 2,42 | 3,07 | 2,11 |
| 2,04 | 2,98 | 3,28 | 3,31 | 2,71 | 2,96 | 2,05 | 3,16 | 2,66 | 2,79 | 3,35 | 2,69 |
| 2,98 | 3,28 | 3,31 | 2,83 | 2,96 | 2,05 | 3,16 | 3,52 | 2,84 | 3,03 | 3,13 | 3,50 |
| 3,28 | 3,31 | 2,83 | 3,35 | 2,05 | 3,16 | 3,52 | 3,48 | 2,97 | 3,84 | 3,74 | 3,22 |
| 3,31 | 2,83 | 3,35 | 2,45 | 3,16 | 3,52 | 3,48 | 3,17 | 3,00 | 2,36 | 3,26 | 2,21 |
| ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | 2,12 | 2,15 | 2,00 | 1,29 |

3.2.3. Створення нейронечіткої мережі

Задача прогнозування обсягу трафіку (вхідного, вихідного) зводиться до задачі прогнозування часових рядів, зазвичай для таких завдань вибирається система типу Сугено. На рис. 3.19 наведено загальну структуру нечіткої нейронної мережі, що має три входи. Для лінгвістичної оцінки кожна вхідна змінна має два терми (максимальне та мінімальне значення). Функцію належності обрано симетрично гауссівську (gaussmf), вона по всій області визначення є гладкою та набуває ненульових значень. Для оцінки результуючої змінної задано функцію належності типу linear. У редакторі бази знань задано правила нечіткого виведення, що мають такий вигляд:

якщо $x(t-1)=\min$ та $x(t-2)=\min$ та $x(t-3)=\min$, то $x(t)=1$;
якщо $x(t-1)=\min$ та $x(t-2)=\min$ та $x(t-3)=\max$, то $x(t)=2$;
якщо $x(t-1)=\min$ та $x(t-2)=\max$ та $x(t-3)=\min$, то $x(t)=3$;
якщо $x(t-1)=\min$ та $x(t-2)=\max$ та $x(t-3)=\max$, то $x(t)=4$;
якщо $x(t-1)=\max$ та $x(t-2)=\min$ та $x(t-3)=\min$, то $x(t)=5$;
якщо $x(t-1)=\max$ та $x(t-2)=\min$ та $x(t-3)=\max$, то $x(t)=6$;
якщо $x(t-1)=\max$ та $x(t-2)=\max$ та $x(t-3)=\min$, то $x(t)=7$;
якщо $x(t-1)=\max$ та $x(t-2)=\max$ та $x(t-3)=\max$, то $x(t)=8$.

На рис. 3.20 наведено вікно візуалізації нечіткого логічного виведення, верхня «входи–вихід» відповідно до синтезованої нейронечіткої мережі зображена на рис. 3.21.

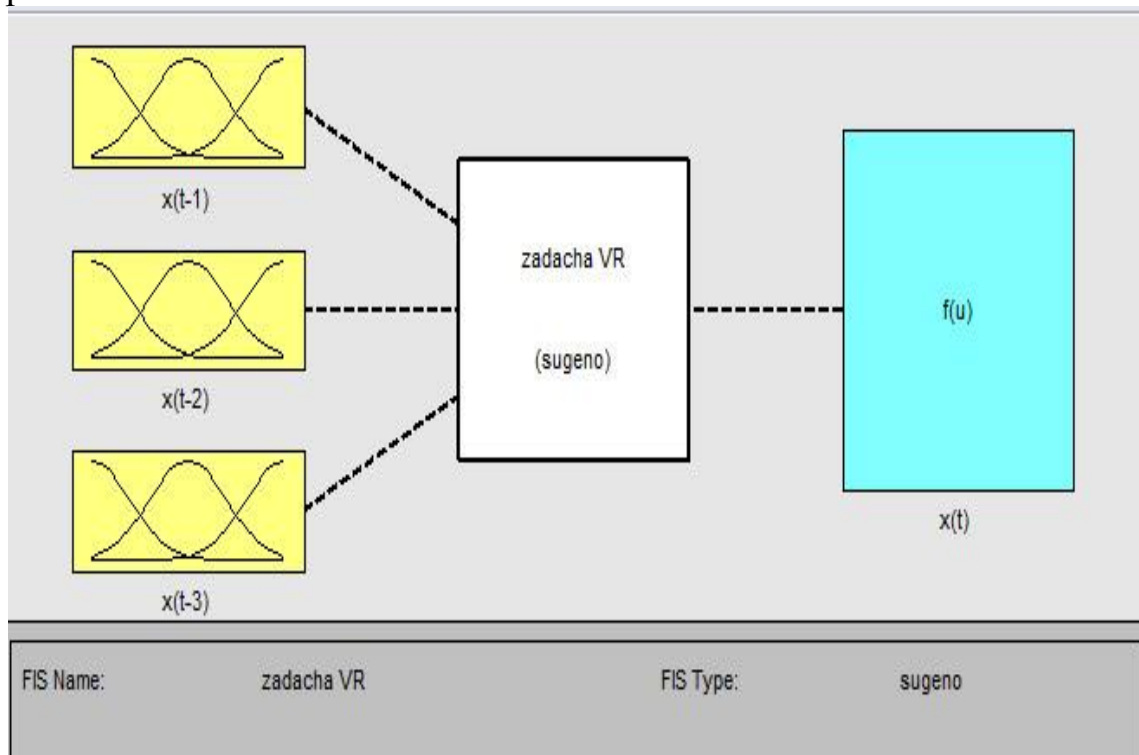


Рис. 3.19. Загальна структура нечіткої нейронної мережі

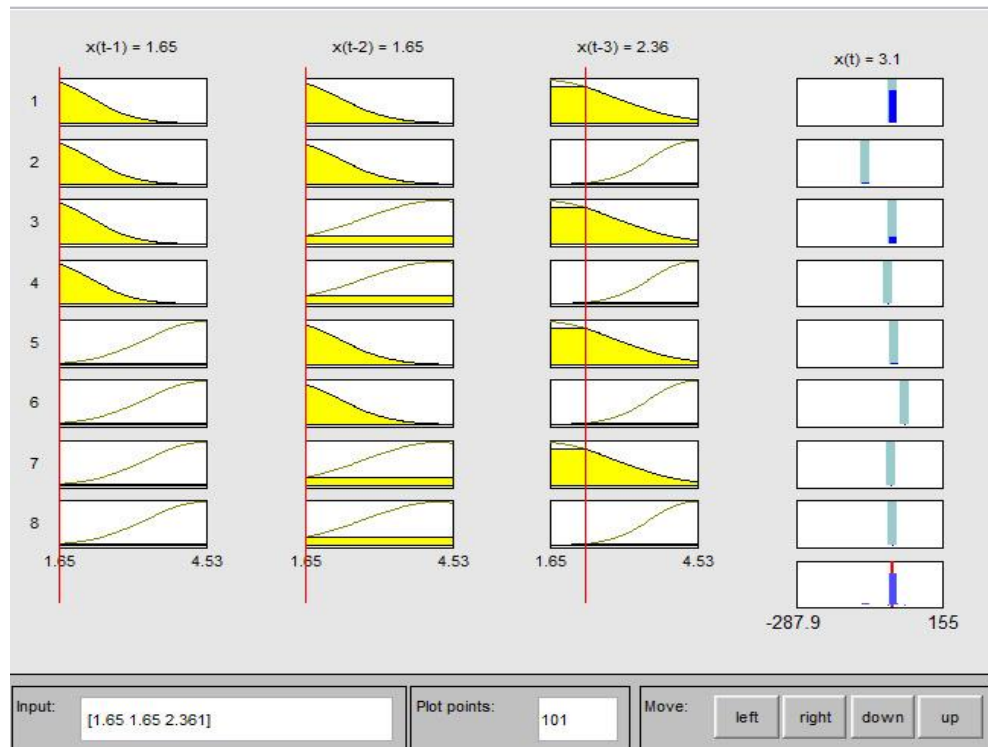


Рис. 3.20. Візуалізація нечіткого логічного виведення в RuleViewer

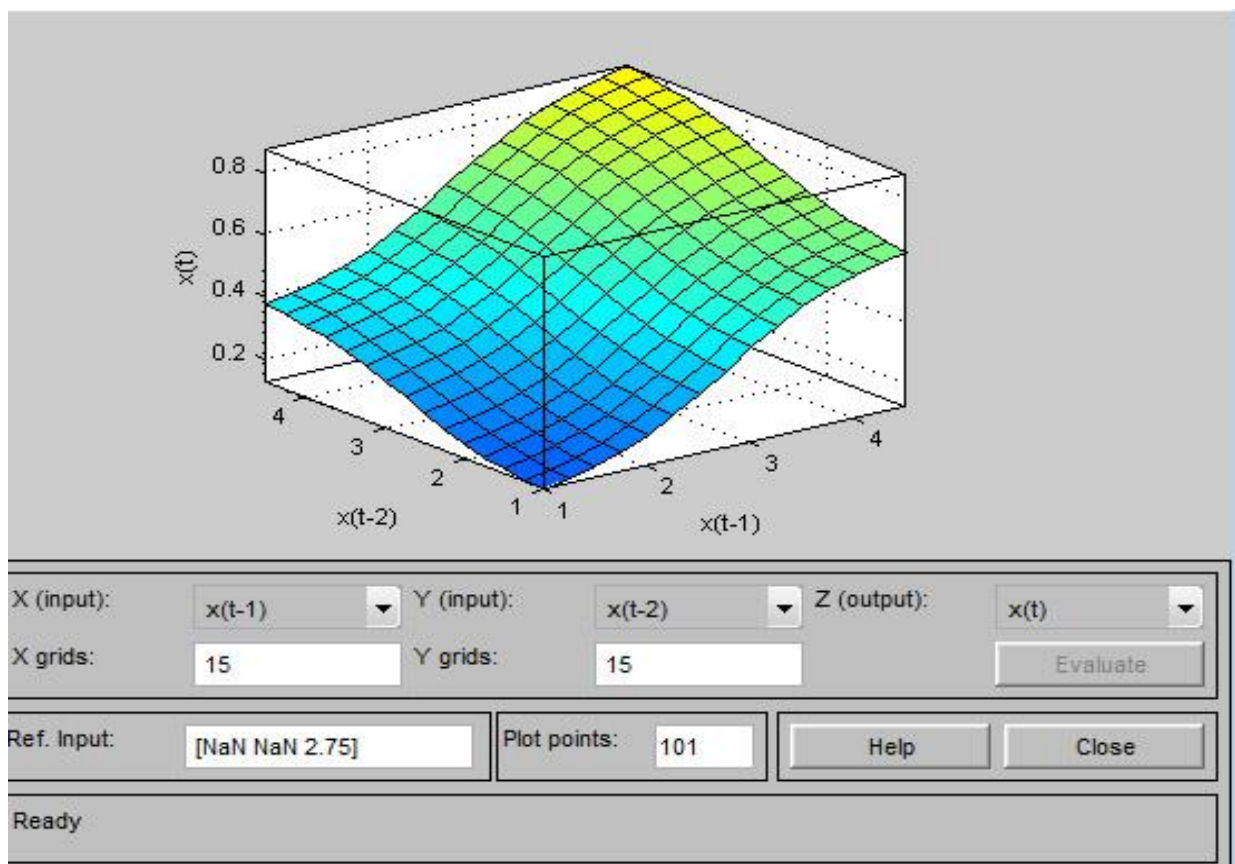


Рис. 3.21. Поверхня «входи-вихід» у вікні SurfaceView

3.2.4. Навчання нейронечіткої мережі

У fis-редакторі програми Matlab завантажено навчальну вибірку, як це показано на рис. 3.22.

Створення нейронечіткої мережі (гібридної системи) здійснено в області генерування (Generate FIS): генерування системи за методом решітки (Grid partition), при виборі якого з'являється вікно введення параметрів методу решітки (рис. 3.23).

Виконання навчання відбувається у відповідній області (Train FIS): метод оптимізації (Optim. Method) – гібридний (hybrid), що поєднує в собі комбінацію методу найменших квадратів та методу зменшеного зворотного градієнта; поле необхідної точності навчання (Error tolerance) – 0; поле задання кількості ітерацій навчання (Epochs) – 40.

Для прикладу графік функції належності першої вхідної змінної до і після навчання системи зображено на рис. 3.24.

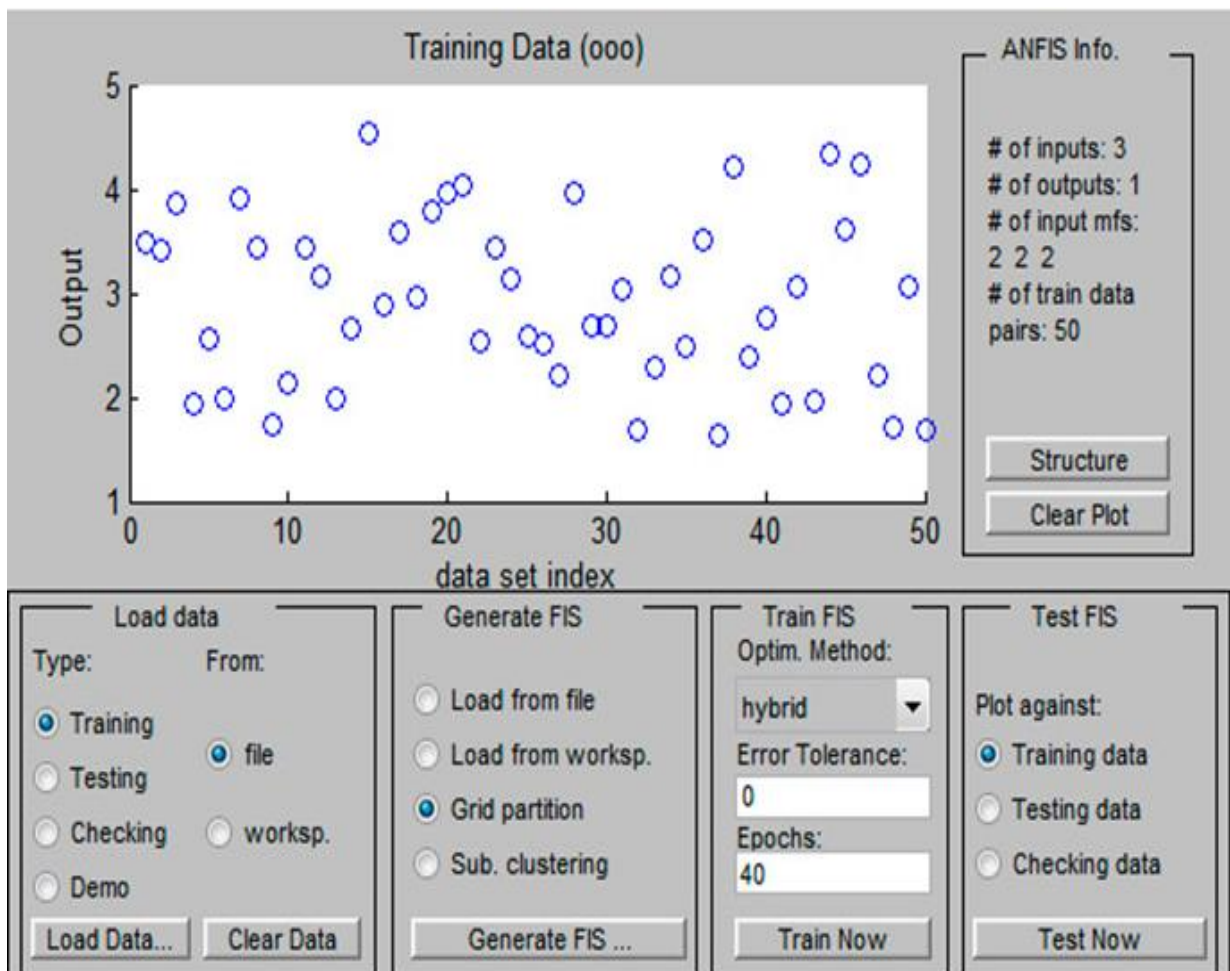


Рис. 3.22. Завантаження навчальної вибірки гібридної системи

INPUT

Number of MFs:

To assign a different number of MFs to each input, use spaces to separate these numbers.

MF Type:

- trimf
- trapmf
- gbellmf
- gaussmf**
- gauss2mf
- pimf
- dsigmf
- psigmf

OUTPUT

MF Type: **linear**

OK Cancel

Рис. 3.23. Уведення параметрів для побудови гібридної системи

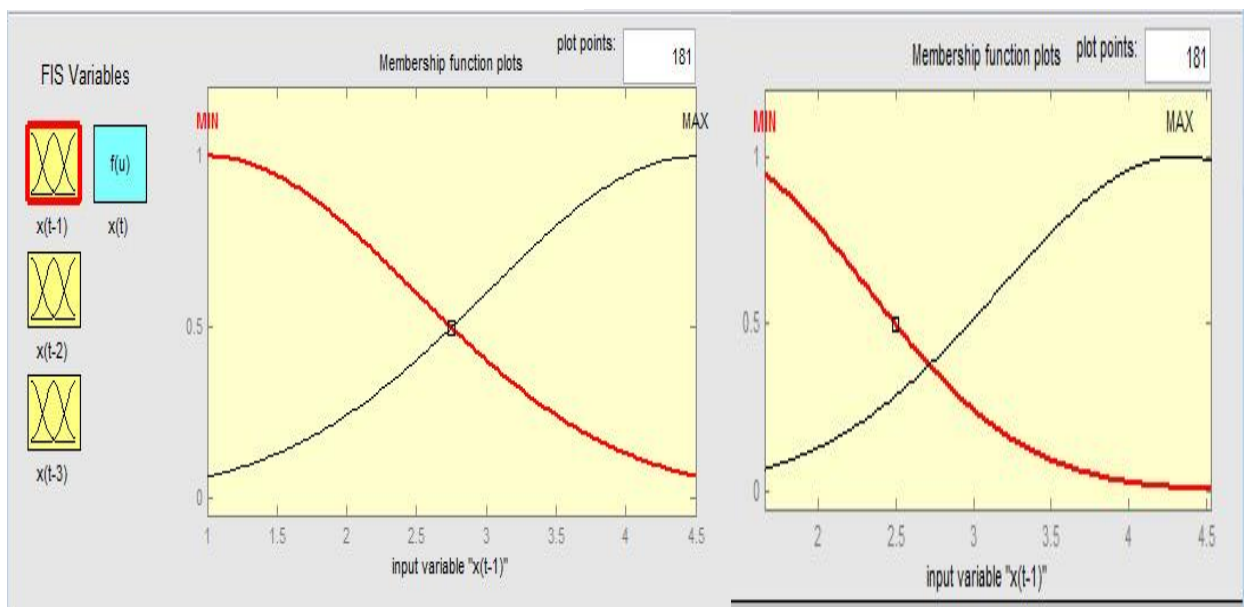


Рис. 3.24. Функція належності першої вхідної змінної до та після навчання

3.2.5. Тестування нейронечіткої мережі

Задання параметрів тестування гібридної системи здійснено у відповідній області (рис. 3.25). Результат тестування порівняно з результатом навчання системи показаний на рис. 3.26. Структуру спроектованої системи нечіткого виведення наведено на рис. 3.27.

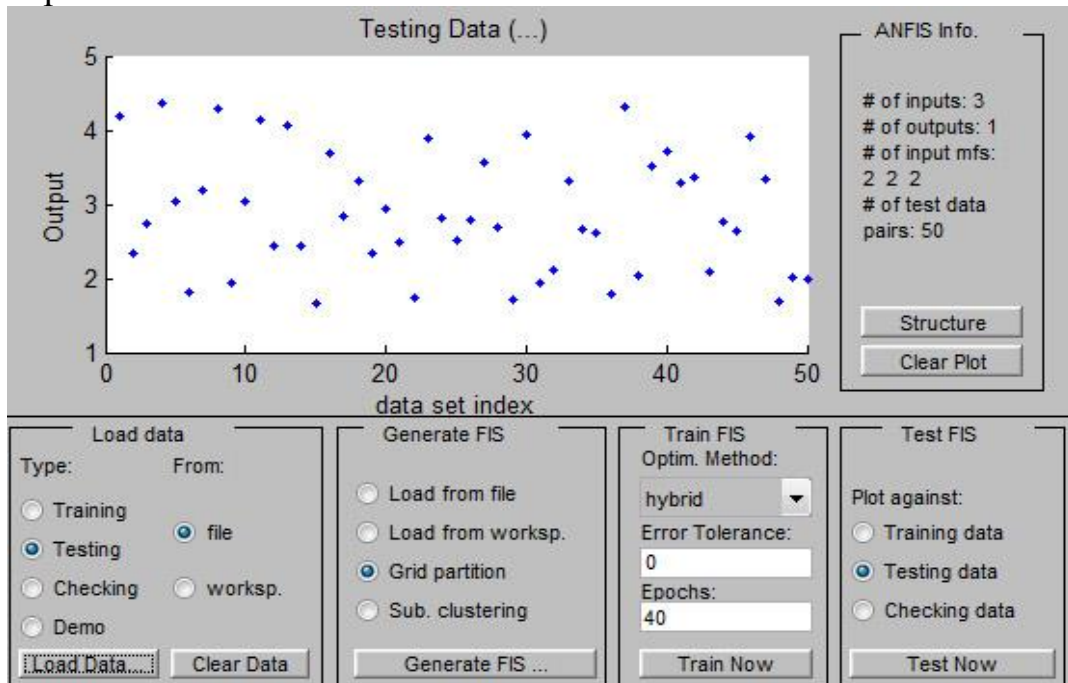


Рис. 3.25. Завантаження тестової вибірки для гібридної системи

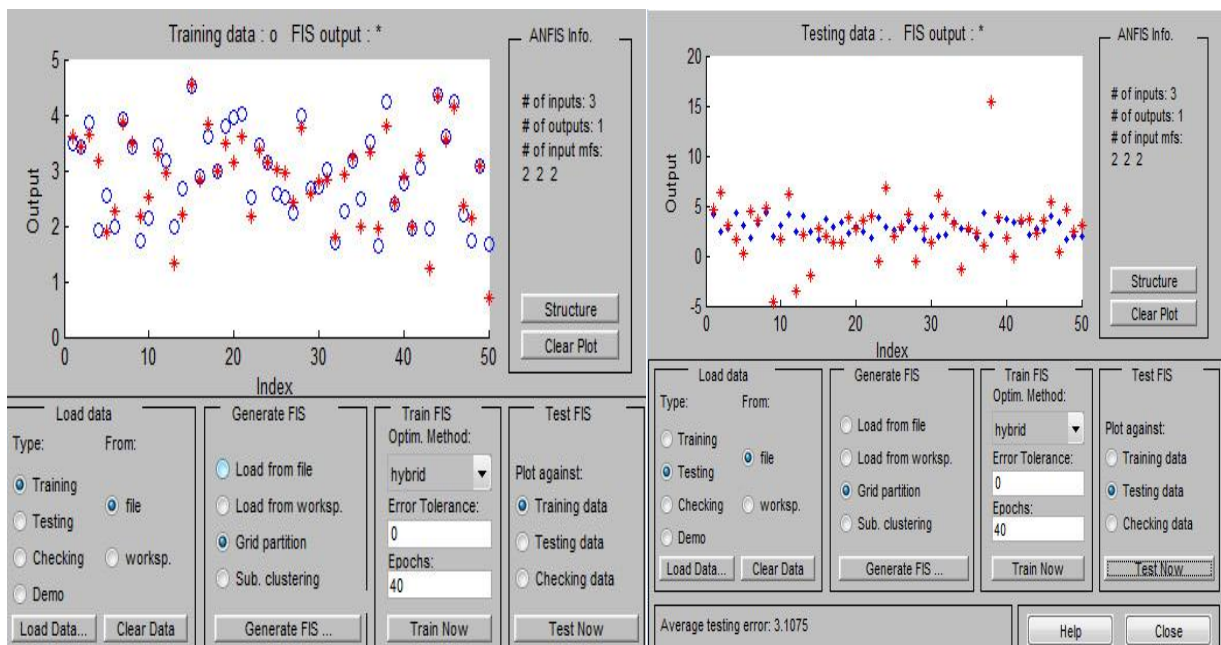


Рис. 3.26. Результати навчання і тестування гібридної системи

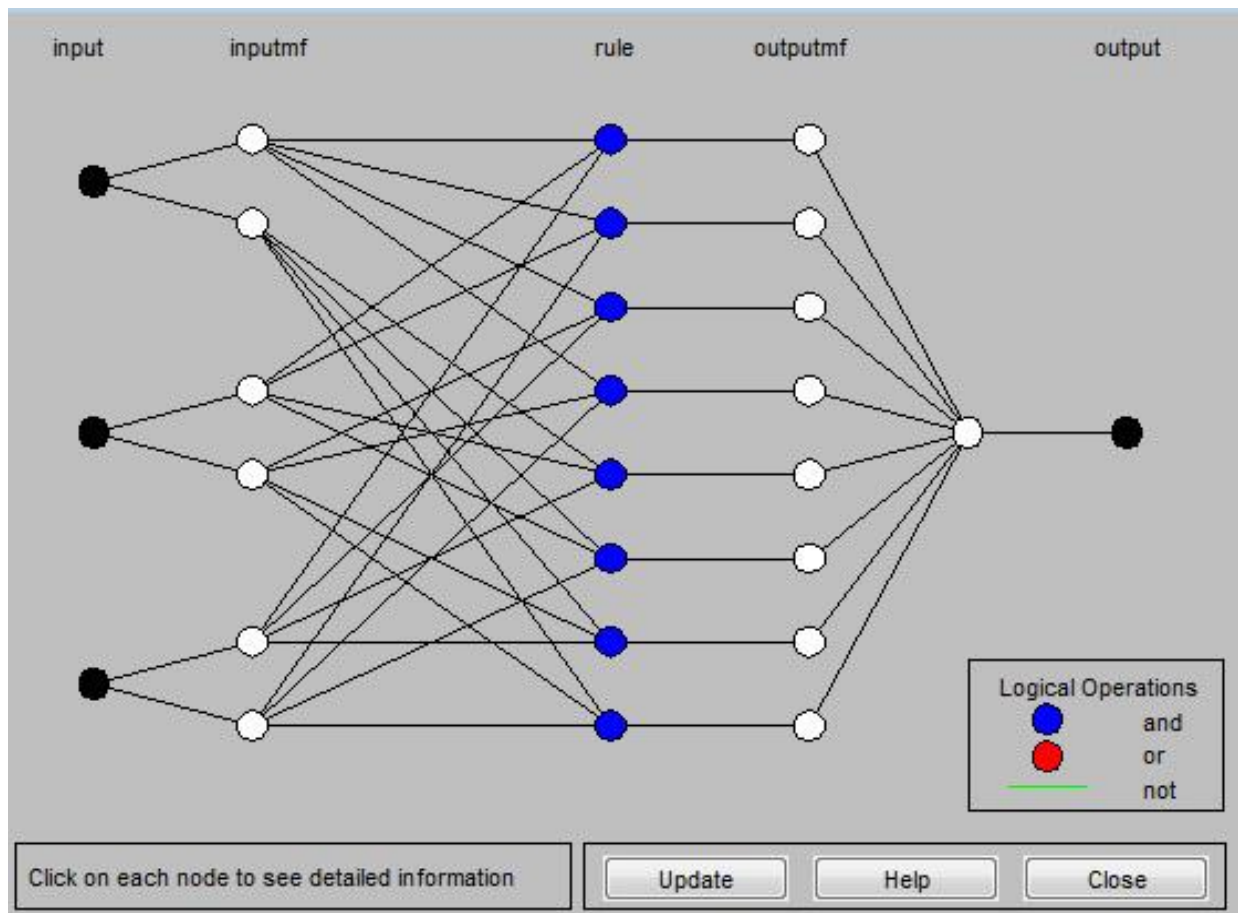


Рис. 3.27. Структура спроектованої гібридної системи

Як видно з рис. 3.27, система має п'ять шарів. Перший шар (input) має три вузли ($x(t-3)$, $x(t-2)$, $x(t-1)$), на які подаються вхідні дані, та виконує роздільну фазифікацію кожної змінної, визначаючи для кожного j -го правила виведення значення коефіцієнта належності відповідно до застосованої функції фазифікації; це параметричний шар з параметрами c_i, σ_i, b_i (у процесі навчання мережі підбору підлягають параметри цього шару). Другий шар (inputmf) складається з $3 \cdot 2 = 6$ вершин, оскільки кожній вхідній змінній відповідає 2 терми, та виконує агрегування окремих змінних x_i , визначаючи результуюче значення коефіцієнта належності для вектора x (рівень активізації правила виведення); цей шар непараметричний. Третій шар (rule) являє собою генератор функції Takagi-Sugeno-Kang (TSK); це параметричний шар, у якому адаптації підлягають лінійні ваги, що визначають функцію наслідку моделі TSK. Четвертий шар (outputmf) складається з функцій належності для кожного правила нечіткого виведення (кількість вершин цього шару відповідає кількості правил $2^3 = 8$); цей шар непараметричний. П'ятий шар (output) – нормалізуючий, він має єдину вершину, яка відповідає виходу системи; цей шар непараметричний.

Алгоритм Takagi-Sugeno-Kang при M правил та N змінних записується у такому вигляді [39]:

3.2.6. Перевірка адекватності прогнозу

Для оцінки якості та точності прогнозу створеної гібридної системи розрахуємо значення MAPE (Mean Absolute Percentage Error) за відомою формулою

$$MAPE = \frac{1}{N} \sum_{t=1}^N \frac{|Z(t) - Z_1(t)|}{Z(t)} \cdot 100 \quad (3.16)$$

де $Z(t)$ – реальні дані в момент часу t ; $Z_1(t)$ – прогнозовані дані в момент часу t ; N – кількість годин.

Результати прогнозу обсягів вхідного та вихідного мережних трафіків у ІТС Придніпровської залізниці (Дніпро – Київ) наведені в табл. 3.6 [61]; прогнозування (на добу вперед) обсягу мережного трафіку проводилось з 8:00 до 17:00 (загальна кількість годин $N=10$), значення MAPE складає: 6,9 % для обсягу вхідного трафіку; 7,7 % для обсягу вихідного трафіку.

Таблиця 3.6

Прогноз обсягів вхідного та вихідного трафіків в ІТС (Дніпро – Київ)

| Час доби, год | Обсяг вхідного трафіку, 10^6 пакетів | | | Обсяг вихідного трафіку, 10^6 пакетів | | |
|---------------|--|---------|--------------------------------|---|---------|--------------------------------|
| | Контрольна вибірка | Прогноз | $\frac{ Z(t) - Z_1(t) }{Z(t)}$ | Контрольна вибірка | Прогноз | $\frac{ Z(t) - Z_1(t) }{Z(t)}$ |
| 8:00 | 2,34 | 2,25 | 0,04 | 2,22 | 2,61 | 0,18 |
| 9:00 | 3,25 | 3,32 | 0,02 | 2,84 | 3,04 | 0,07 |
| 10:00 | 3,40 | 2,79 | 0,18 | 2,98 | 2,79 | 0,06 |
| 11:00 | 3,82 | 3,61 | 0,05 | 2,75 | 2,43 | 0,12 |
| 12:00 | 2,47 | 2,24 | 0,09 | 2,11 | 1,89 | 0,10 |
| 13:00 | 3,27 | 2,94 | 0,10 | 2,69 | 3,04 | 0,13 |
| 14:00 | 4,56 | 4,46 | 0,02 | 3,50 | 3,35 | 0,04 |
| 15:00 | 4,01 | 3,88 | 0,03 | 3,22 | 3,16 | 0,02 |
| 16:00 | 2,84 | 2,44 | 0,14 | 2,21 | 2,19 | 0,01 |
| 17:00 | 1,61 | 1,58 | 0,02 | 1,29 | 1,24 | 0,04 |

В інформаційно-телекомунікаційній системі Придніпровської залізниці (Дніпро – Київ) фактичний та прогнозований обсяги вхідного та вихідного мережних трафіків показані на рис. 3.28, 3.29 відповідно.

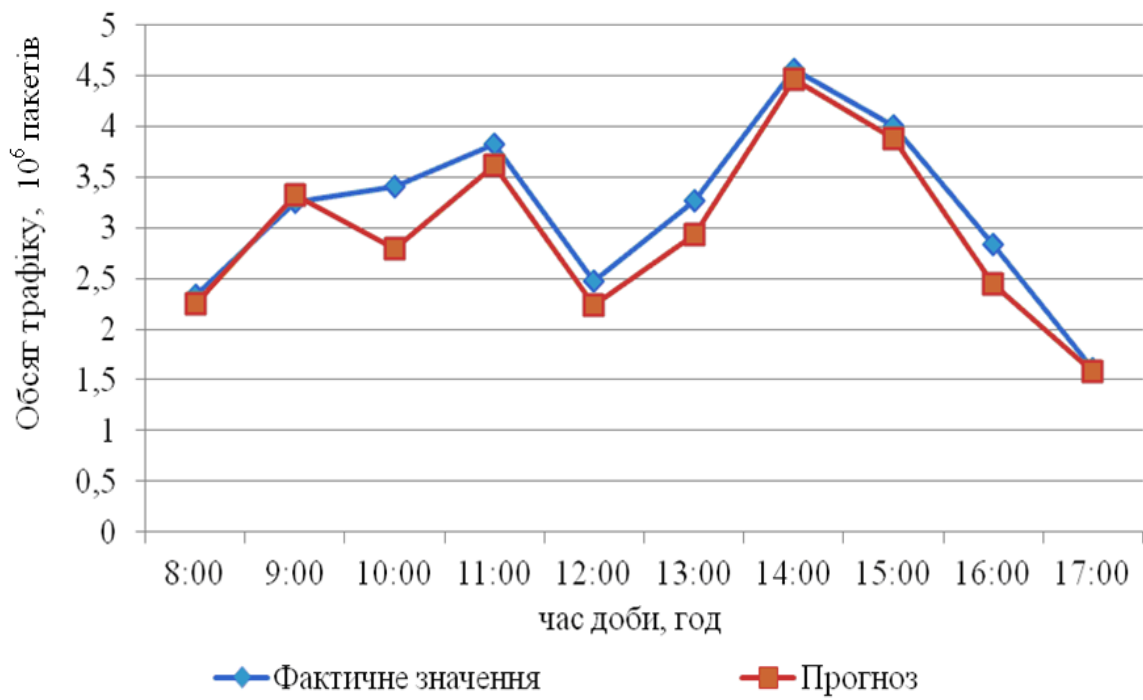


Рис. 3.28. Фактичний та прогнозований обсяг вхідного мережного трафіку

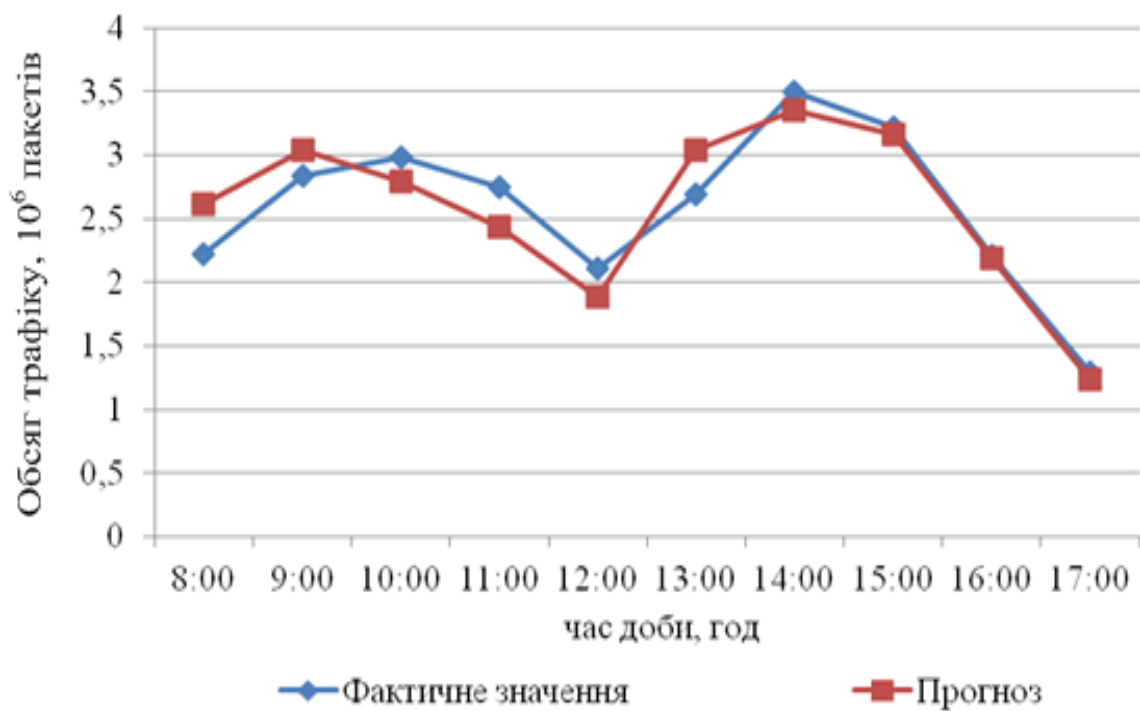


Рис. 3.29. Фактичний та прогнозований обсяг вихідного мережного трафіку

3.2.7. Дослідження похибки навчання гібридної системи від її параметрів

Дослідження залежності похибки навчання гібридної системи від кількості її входів. Виконано дослідження середньої похибки навчання створеної гібридної системи при різній кількості входів: 2, 3, 4. У всіх експериментах довжина навчальної вибірки складала 50 прикладів, кількість епох - 40, навчання нейронечної мережі відбувалось за гібридним методом. Результати експериментів занесено до табл. 3.7.

Таблиця 3.7

Дослідження кількості входів гібридної системи

| Кількість входів | Середня похибка навчання для вхідного трафіку, 10^6 пакетів | Середня похибка навчання для вихідного трафіку, 10^6 пакетів |
|------------------|---|--|
| 2 | 0,75 | 0,57 |
| 3 | 0,45 | 0,37 |
| 4 | $0,27 \cdot 10^{-3}$ | $0,19 \cdot 10^{-2}$ |

За отриманими даними побудовано графіки залежності середньої похибки гібридної системи від кількості її входів для вхідного (вихідного) трафіків Дніпропетровськ – Київ, які наведено на рис. 3.30.

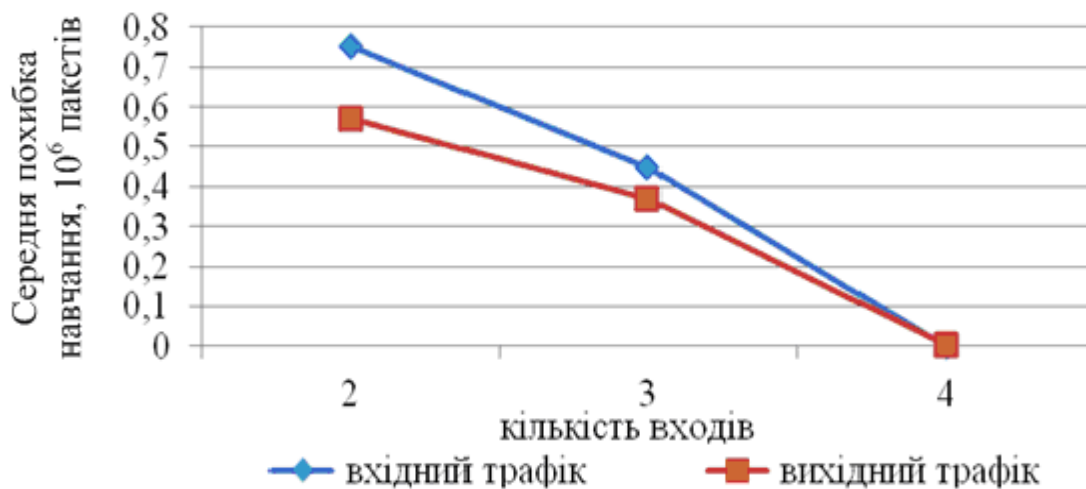


Рис. 3.30. Залежність похибки гібридної системи від кількості її входів

Із рисунка видно, що найменше значення похибки навчання гібридної системи: $0,27 \cdot 10^{-3} \cdot 10^6 = 270$ пакетів для вхідного трафіка; $0,19 \cdot 10^{-2} \cdot 10^6 = 19 \cdot 10^2$ пакетів для вихідного трафіка надає 4-вхідна гібридна система при довжині навчальної вибірки із 50 прикладів.

Дослідження залежності похибки навчання гібридної системи від кількості термів її вхідної змінної. Дослідження виконувалися на створеній гібридній

системі, що має 3 вхідні змінні; у всіх експериментах довжина навчальної вибірки складалась із 50 прикладів. Проаналізуємо значення середньої похибки навчання гібридної системи від кількості термів її вхідної змінної: 2, 3, 5. Результати експериментів зведені до табл. 3.8.

Таблиця 3.8

Дослідження кількості термів вхідної змінної

| Кількість термів | Середня похибка навчання, 10^6 пакетів | |
|------------------|--|----------------------------|
| | Гібридний метод | Метод зворотного поширення |
| 2 | 0,69 | 1,36 |
| 3 | 0,27 | 0,49 |
| 5 | $0,45 \cdot 10^{-5}$ | 0,83 |

На основі отриманих значень побудовано графіки залежності середньої похибки навчання гібридної системи від кількості термів її вхідної змінної за різними методами навчання, які наведено на рис. 3.31.

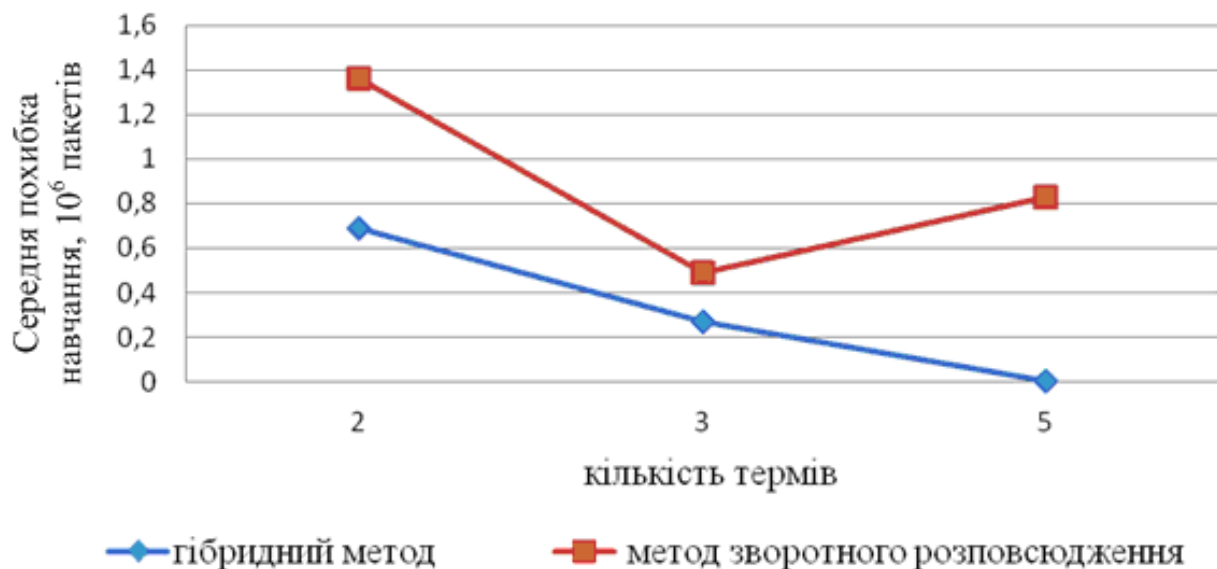


Рис. 3.31. Залежність похибки навчання гібридної системи від кількості термів

Із рисунка видно, що при збільшенні кількості термів (з 2 до 5) середня похибка навчання гібридної системи зменшується: з $0,69 \cdot 10^6$ до $0,45 \cdot 10^{-5} \cdot 10^6 = 4,5$ пакетів для гібридного методу; з $1,36 \cdot 10^6$ до $0,83 \cdot 10^6$ пакетів для методу зворотного поширення. Таким чином, навчання тривхідної гібридної системи (5 термів для кожної вхідної змінної) відбувається більш точно (похибка 4,5) за гібридним методом ніж за методом зворотного поширення.

Дослідження залежності похибки навчання гібридної системи від потужності навчальної вибірки. Для дослідження взято навчальну вибірку різної довжини: 20, 50, 100. Дослідження виконувалося на гібридній системі, що має три вхідні змінні, цикл навчання склав 100 епох. Результати дослідження середньої

похибки навчання гібридної системи від її потужності за різними методами навчання зведені до табл. 3.9.

Таблиця 3.9

Дослідження потужності навчальної вибірки

| Довжина вибірки | Середня похибка навчання, 10^6 пакетів | |
|-----------------|--|----------------------------|
| | Гібридний метод | Метод зворотного поширення |
| 20 | 0,723 | 2,283 |
| 50 | 0,656 | 1,388 |
| 100 | 0,414 | 1,065 |

За результатами експериментів побудовано графіки залежності середньої похибки навчання гібридної системи від потужності навчальної вибірки за різними алгоритмами навчання, які наведено на рис. 3.32.

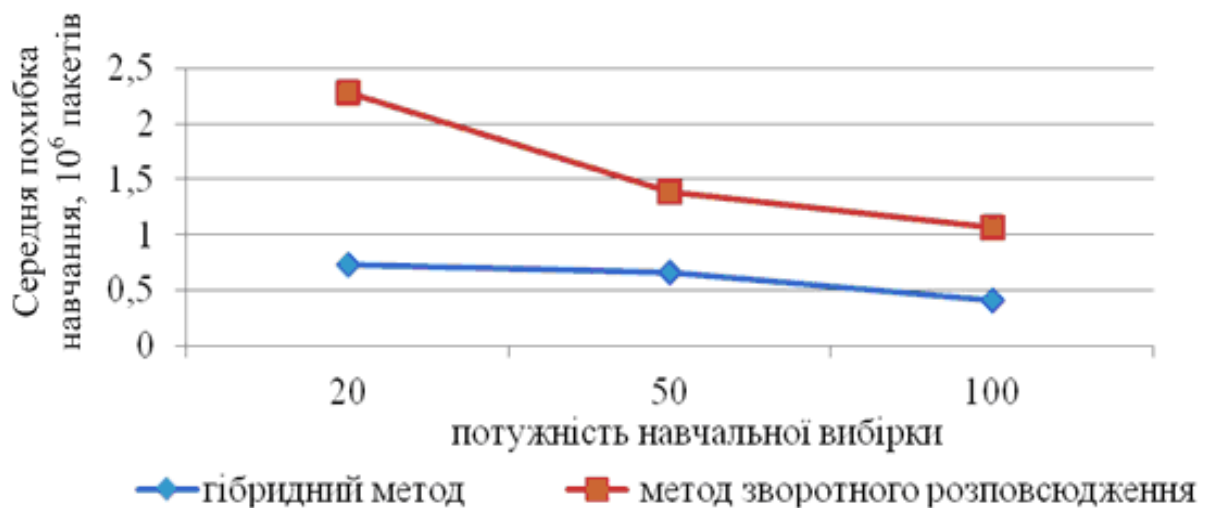


Рис. 3.32. Залежність похибки навчання гібридної системи від потужності навчальної вибірки

Із рисунка видно, що при збільшенні потужності навчальної вибірки (від 20 до 100 прикладів) на 3-вхідну гібридну систему її середня похибка навчання зменшується: з $0,72 \cdot 10^6$ до $0,41 \cdot 10^6$ пакетів для гібридного методу; з $2,28 \cdot 10^6$ до $1,07 \cdot 10^6$ пакетів для методу зворотного поширення. Таким чином, більш точно здійснюється навчання за гібридним методом при потужності навчальної вибірки із 100 прикладів.

6.4. Інтелектуальна підсистема сортувальної гірки

6.4.1. Постановка задачі

Сортувальна станція значною мірою визначає пропускну здатність залізничного транспорту й ефективність його роботи. Автоматизація сортувальної станції виконується на двох рівнях: організаційного управління й управління технологічним процесом. У даний час на сортувальних станціях України впроваджується єдина автоматизована система керування вантажними перевезеннями Укрзалізниці (АСК ВП УЗ-Є), основними інтегруючими підсистемами якої є комп'ютерні мережі [64]. Крім того, для організації взаємодії підсистем введений мережний сервер і локальні мережі АРМ, що забезпечують доступ різних користувачів до ресурсів вищих рівнів. При переробці вагонопотоків на сортувальній станції запропоновано формувати документи на підставі інформаційних потоків, що надходять з наземного обладнання, яке використовується в системах залізничної автоматики: світлофори, стрілочні переводи, датчики, рейкові ланцюги, регулятори швидкості та інші.

У різних державах на залізничному транспорті використовуються мережі технологій ряду Ethernet, але традиційним недоліком використання Ethernet в системах управління вважається імовірнісний характер доступу пристроїв до мережі, що не дозволяє гарантувати передачу інформації в задані інтервали часу. Проте існують інші технології, які вільні від даного недоліку, зокрема технологія Token Ring, в основі якої маркерний метод доступу до кільця.

У якості прикладу використання такої мережі розглянемо одну з перспективних підсистем сортувальної станції, підключеної до АСК ВП УЗ-Є, що призначена для управління роботою на сортувальній гірці [26, 28]. Дана підсистема передбачає повний контроль кожного вагона, який перебуває на території сортувальної гірки. Перспективним напрямком структури такої підсистеми є мережна структура. На об'єкті автоматизації доцільно виділити п'ять ділянок, інформація з яких буде оброблятися закріпленим за ним контролером, відповідно за територіальною ознакою. Як станції локальної мережі (ЛОМ) в подальшому буде матися на увазі спеціалізовані мікроконтролери, що мають комунікаційні можливості. Як наземне обладнання для зняття даних розглядаються датчики, розташовані біля кожного стрілочного переведення, причому передбачається впровадження двоканальних датчиків з обох сторін кожної стрілки. Таке рішення дозволить виявити не тільки факт проходження вагона над датчиком, але і напрямок його руху. Розміщення станцій локальної мережі (повне/часткове) може проводитися як на самій сортувальній гірці, так і в релейному приміщенні.

Варіант 1: станції ЛОМ розташовані безпосередньо на технологічному об'єкті (рис. 6.19); фізична та логічна топології такої мережі кільце, цей варіант має в рівній мірі свої переваги та недоліки.

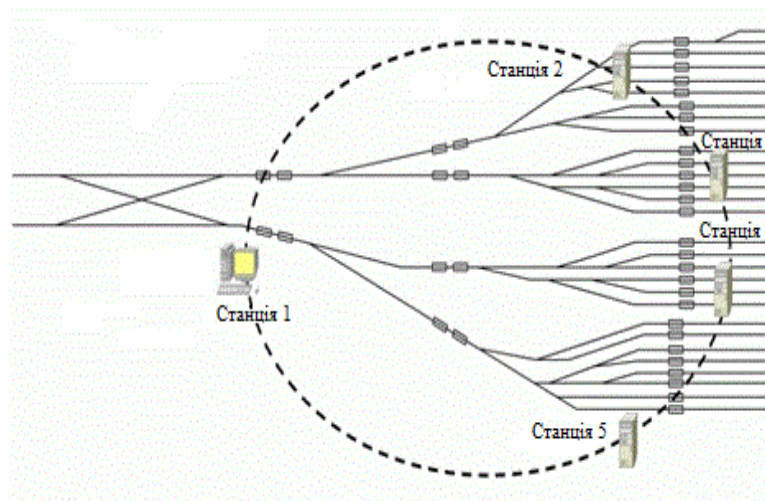


Рис. 6.19. Розташування станцій мережі Token Ring на технологічному об'єкті

Варіант 2: у релейному приміщенні розміщений концентратор MSAU, сигнали від наземного обладнання до нього йдуть безпосередньо через спеціалізовані мікроконтролери, що знаходяться на сортувальній гірці; фізична топологія такої мережі зіркове кільцева (рис. 6.20), це дозволяє зробити мережу більш надійною.

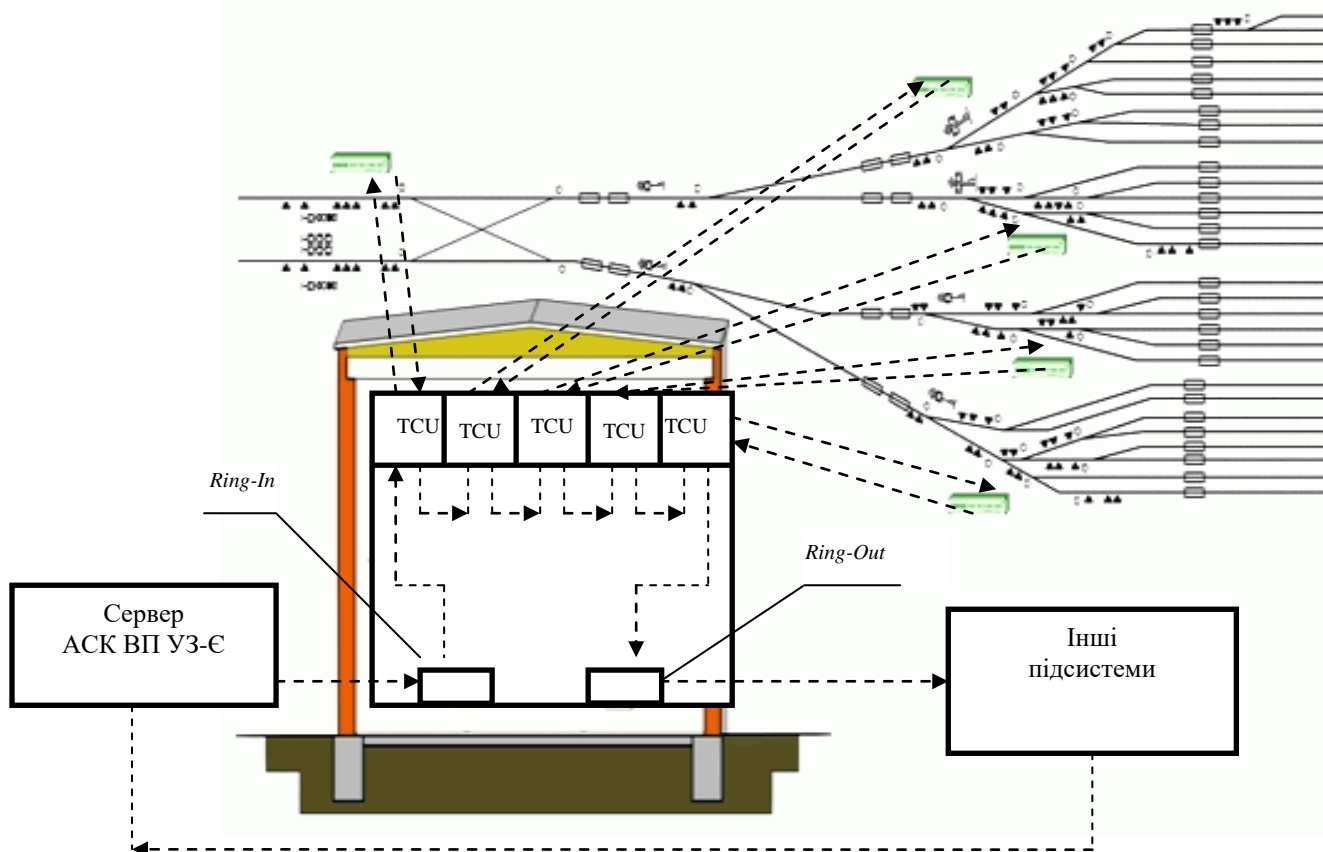


Рис. 6.20. Конфігурація кільця Token Ring

Станції, що підключені до кільця через концентратор, єднаються з ним відгалуженим кабелем (lobe cable). Інші станції мережі з'єднані в кільце безпосередніми зв'язками, які зветься магістральними (trunk cable). Порти концентратора, що призначені для такого з'єднання, зветься портами Ring-In і Ring-Out. Крім то-

го, розміщення концентраторів в одному приміщенні дозволяє спростити процес обслуговування мережі, особливо у випадках виходу з ладу однієї зі станцій і необхідності термінової заміни. Для запобігання впливу станції ЛОМ, що відмовила, на роботу кільця станції підключаються до магістралі кільця через спеціальні обладнання, які звуться приладами підключення до магістралі TCU (Trunk Coupling Unit), у функції яких входить утворення обхідного шляху, що виключає захід магістралі в MAC-вузол станції при її відмові. У представленому прикладі (для спрощення моделі) не розглядається зв'язок цієї мережі з сервером реального часу та АСУ верхнього рівня.

6.4.2. Формальна модель станції мережі

Розроблено діаграму станів каналного рівня станції ЛОМ за маркерним методом доступу до кільця при швидкості передачі даних 4 Мбіт/с, яку представлено на рис. 6.21.

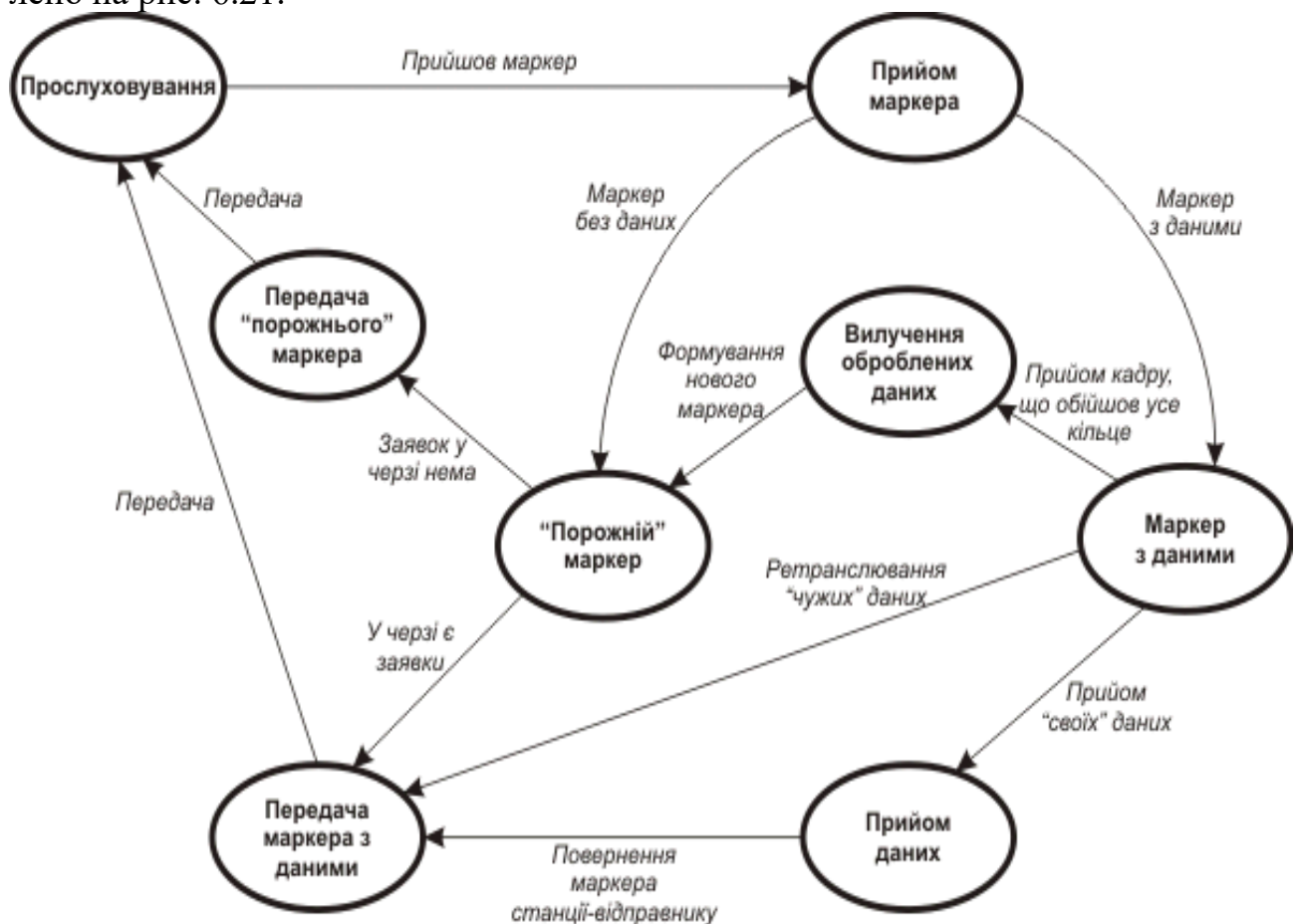


Рис. 6.21. Діаграма станів каналного рівня станції Token Ring при 4 Мбіт/с

Діаграма відображає повний процес руху маркера від станції до станції ЛОМ та містить наступні вісім станів. Прослуховування – основний стан станції, при якому вона чекає прийому маркера від сусідньої станції. Оскільки логічна топологія мережі є кільцем, то маркер може бути отриманий тільки від попередньої станції. Прийом маркера – стан, при якому станція мережі отримує очікуваний

маркер від попередньої станції і проводить його подальшу обробку залежно від того, кому адресований маркер. «Порожній» маркер – при порожньому маркері станція мережі Token Ring перевіряє наявність заявок в черзі. Якщо заявок немає, то станція передає маркер наступній станції. У разі, коли на станції є заявки на передачу даних, вона «заповнює» маркер даними, тобто прикріплює до маркера дані певної довжини, змінюючи статус маркера на «Маркер з даними». Маркер з даними – стан, при якому станція мережі, отримавши маркер, визначає, чи їй він адресований. У позитивному випадку стан «Маркер з даними» переходить в стан «Прийом даних». Далі станція передає маркер на наступну станцію мережі. У випадку, якщо маркер з даними був відправлений самою станцією (обійшов повністю все кільце), то даний маркер переноситься в стан «Вилучення оброблених даних». Вилучення оброблених даних – після того, як отриманий маркер видаляється, станція мережі формує новий маркер та переходить в стан «Порожній маркер», а далі у стан «Передача порожнього маркера». Передача порожнього маркера – передача маркера, який не має блоку даних, на наступну станцію. Передача маркера з даними – стан, в якому здійснюється передача маркера з блоком даних в кільце.

Робота мережі Token Ring з кожною станцією можливо представити як систему масового обслуговування (СМО) M/D/1 (рис. 6.22).

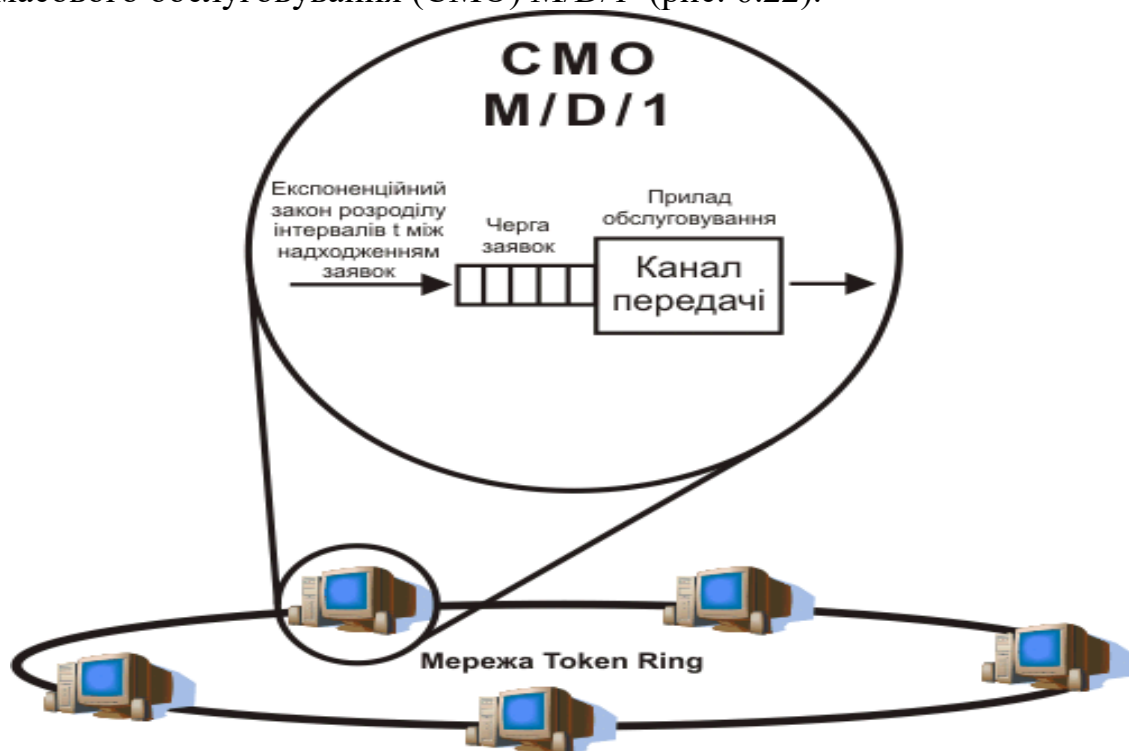


Рис. 6.22. Формальна модель мережі Token Ring з кожною станцією

Припустимо, що за однаковим часом обслуговування заявки в мережі Token Ring при 4 Мбіт/с (дорівнює часу обертання маркеру по кільці) інтенсивність надходження заявок з наземного обладнання на станцію буде пропорціональним інтенсивності прибуття заявок від станції мережі в кільце.

6.4.3. Імітаційна модель «Token Ring-4»

Для створення імітаційної моделі локальної мережі за маркерним методом доступу до кільця при швидкості передачі даних 4 Мбіт/с використана мова GPSS (General Purpose Simulation System), що володіє деякими перевагами перед іншими поширеними мовами імітаційного моделювання.

Обмеження, прийняті в імітаційній моделі «Token Ring-4»: фізична швидкість передачі 4 Мбіт/с; відсутні керуючі процеси (розглядається стійка фаза); моделювання виконується на каналному рівні мережі; безпріоритетне обслуговування маркера; максимальне число робочих станцій 7 (у зв'язку з обмеженнями версії GPSS, яка використовувалася); не враховується час розповсюдження сигналу в кабелі; нехтуються помилки при передачі.

Початкові параметри імітаційної моделі «Token Ring-4»: швидкість передачі даних; кількість робочих станцій локальної мережі; розподіл часу надходження заявок від станції; інтенсивність надходженням заявок; довжина кадру. Результуючі характеристики, що формуються імітаційною моделлю «Token Ring-4»: статистика черг кожної станції мережі (середня та максимальна кількість заявок в черзі, середній та максимальний час знаходження заявок в черзі); коефіцієнт використання станцій мережі; коефіцієнт використання каналу передачі даних; загальна кількість оброблених заявок.

Система GPSS дозволяє спостерігати показники роботи модельованого об'єкту (в даному випадку локальної мережі за маркерним методом доступу до кільця) впродовж всього процесу моделювання. Система надає можливість проглядати стан черг, пристроїв, логічних перемикачів. Інформація, що відображаються у вікні під час моделювання, представлена на рис. 6.23.

По закінченню процесу моделювання виведено стандартний звіт, який відображає дані про робочі станції локальної мережі Token Ring, канал передачі даних та інформацію про черги заявок від станцій мережі.

За допомогою системи GPSS можна під час моделювання будувати графіки, що відображають певні характеристики основних об'єктів мови GPSS. Так наприклад, графік максимальної довжини черги заявок від робочої станції № 3 в мережу Token Ring представлений на рис. 6.24.

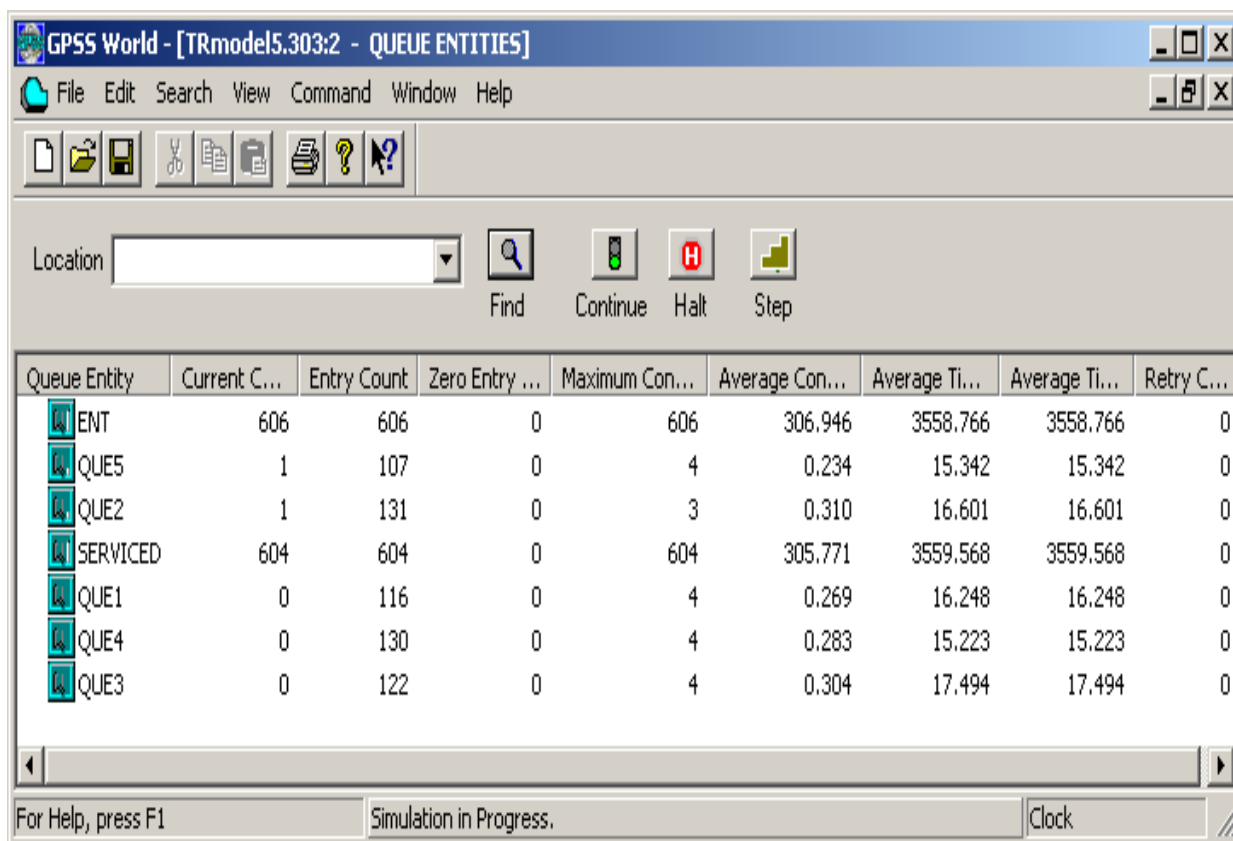


Рис. 6.23. Статистика черг на станціях мережі Token Ring

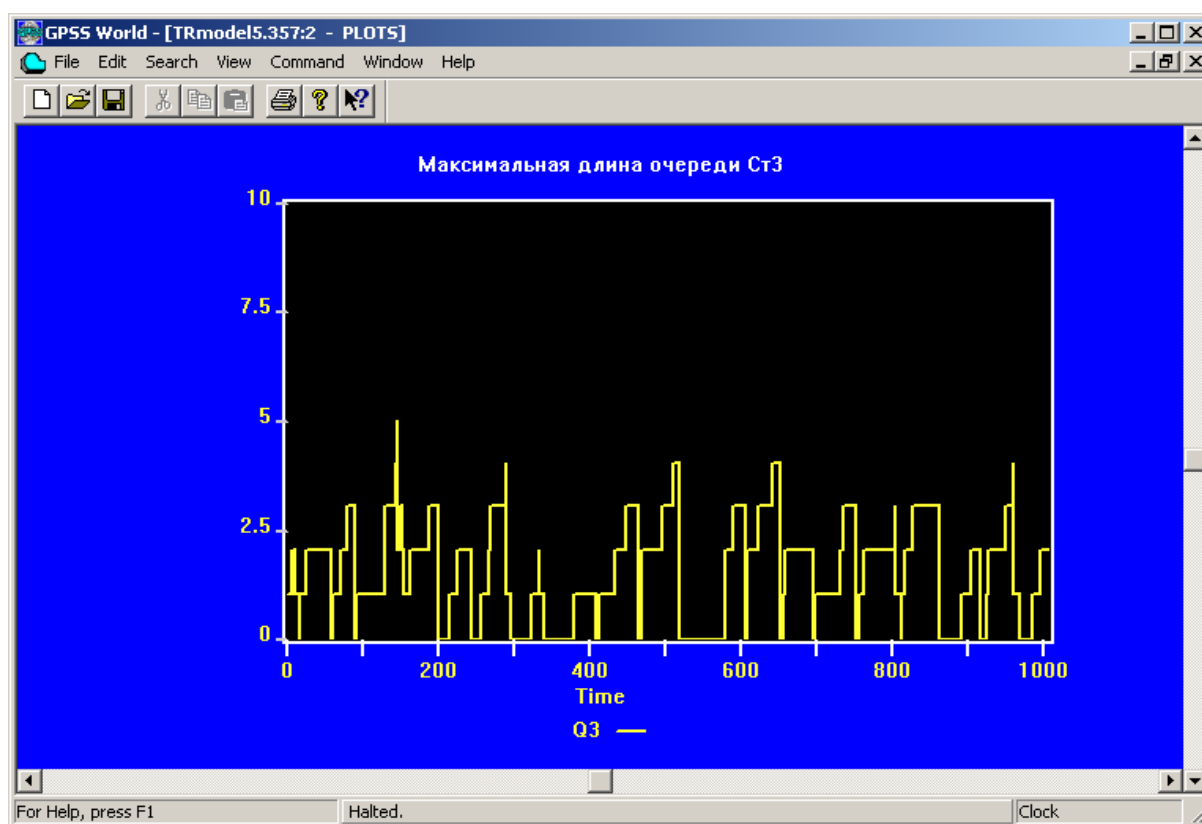


Рис. 6.24. Максимальна довжина черги заявок від станції № 3 в мережу Token Ring

6.4.4. Перевірка створеної імітаційної моделі на адекватність

Як вхідні фактори взято наступні параметри: кількість станцій ЛОМ (N); інтенсивність надходження заявок від станції (λ); довжина кадру даних (L). Розподіл часу надходження заявок від станції експоненціальний. Поставлений ПФЕ2³; вибір основного рівня та інтервалу варіювання факторів, а також кодування факторів наведено в табл. 6.5.

Таблиця 6.5

Вибір основного рівня та інтервалу варіювання факторів

| | Фактор | | |
|-----------------|--------|-----------|-------|
| | N | λ | L |
| Основний рівень | 5 | 40 | 2265 |
| Варіювання | 2 | 25 | 2250 |
| Нижній рівень | 3 | 15 | 15 |
| Верхній рівень | 7 | 65 | 4515 |
| Позначення | x_1 | x_2 | x_3 |

Складено рівняння регресії, що відповідає ПФЕ2³:

$$\mathcal{E} = b_0 x_0 + b_1 x_1 + b_2 x_2 + b_3 x_3 + b_{12} x_1 x_2 + b_{13} x_1 x_3 + b_{23} x_2 x_3 + b_{123} x_1 x_2 x_3, \quad (6.1)$$

де x_i – кодоване значення i -го фактора; b_i – коефіцієнт при i -му факторі; b_{ij} – коефіцієнт при парному впливі i -го та j -го факторів; b_{ijk} – коефіцієнт при трійному впливі i -го, j -го та k -го факторів; \mathcal{E} – відгук, в якості якого взято максимальна довжина черги заявок станції в мережу Token Ring.

Перевірка однорідності статистичного матеріалу виконана за критерієм Кохрена. Значення $G_{кр}$ є табличною величиною і для експерименту при рівні достовірності в $\alpha=0,05$, числі степенів свободи $f_{\Sigma} = 8$ та числі степенів свободи дисперсії $f_u = 1$ складає 0,68. На підставі розрахунків $G_p = 0,672$, тому статистичний матеріал вважається однорідним за критерієм Кохрена.

Розраховані значення b -коефіцієнтів приведені в табл. 6.6.

Таблиця 6.6

Значення b -коефіцієнтів

| b_0 | b_1 | b_2 | b_3 | b_{12} | b_{13} | b_{23} | b_{123} |
|-------|-------|-------|-------|----------|----------|----------|-----------|
| 11,34 | 4,78 | 5,22 | 6,84 | 2,66 | 4,66 | 3,97 | 2,53 |

Розраховане значення $b_{кр} = 0,605$ при $t_{табл} = 2,31$. Слідуючи умові $|b_i| \leq b_{кр}$, всі b -коефіцієнти визнаються статистично значущими за критерієм Ст'юдента. Отримане рівняння регресії має вигляд:

$$\hat{y} = 11 + 5x_1 + 5x_2 + 7x_3 + 3x_1 x_2 + 5x_1 x_3 + 4x_2 x_3 + 3x_1 x_2 x_3. \quad (6.2)$$

Оскільки число степенів свободи $f_{ad} = 0$ (число статистично значущих b -коефіцієнтів дорівнює числу експериментальних точок), то перевірку моделі на адекватність проведено за t -критерієм ($t_{кр} = 12,71$). Для цього проведено чотири експерименти в центрі плану. Отримані розрахунки зведені в табл. 6.7.

Таблиця 6.7

Перевірка емпіричної моделі на адекватність

| $y_{1_{yn}}$ | $y_{2_{yn}}$ | $y_{3_{yn}}$ | $y_{4_{yn}}$ | \bar{y}_{yn} | s_{yn}^2 | ε_{yn} | s_ε | $t_{роз}$ |
|--------------|--------------|--------------|--------------|----------------|------------|--------------------|-----------------|-----------|
| 10 | 8 | 8 | 8 | 8,5 | 1 | 2,844 | 0,250 | 5,688 |

Оскільки $t_{роз} < t_{кр}$ можна стверджувати, що одержана емпірична модель є адекватною за t -критерієм.

6.4.5. Дослідження впливу довжини кадру на роботу мережі

На рис. 6.25 показано залежність максимальної довжини черги заявок станції мережі Token Ring від довжини кадру.

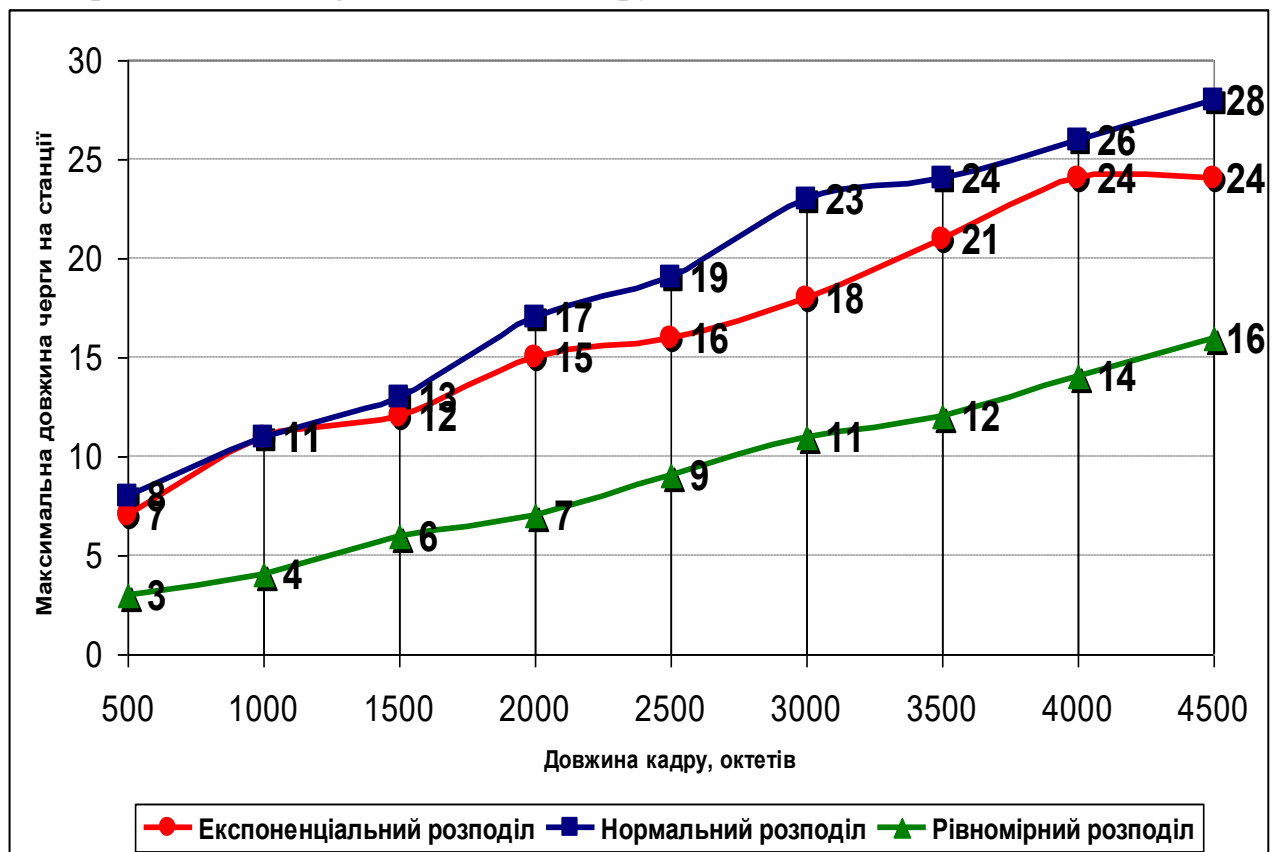


Рис. 6.25. Залежність максимальної довжини черги заявок станції мережі Token Ring від довжини кадру при інтенсивності надходження заявок від станції 60 заявок/с

Дослідження проводилися на імітаційній моделі мережі Token Ring, що містить п'ять станцій в системі автоматизації сортувальним процесом на гірці. Зафіксований такий фактор як інтенсивність надходження заявок від станції (60 заявок/с); той фактор, що залишився (довжина кадру), варіювався. За досліджувану характеристику мережі взято максимальну кількість заявок у черзі (наприклад, на станції № 3); час моделювання складав 20 с. Виходячи з отриманих даних можна зробити висновок щодо розподілу часу надходження заявок від станції: найбільш «екстремальним» для мережі за маркерним методом доступу до кільця виявився нормальний розподіл, найменш – рівномірний. З рисунку видно, що при збільшенні довжини кадру відповідно зростає і довжина черги заявок. Крім того, якщо наприклад, кільцем циркулюють кадри довжиною 3000 октетів, то в системі автоматизації сортувальним процесом на гірці максимальна довжина черги при рівномірному розподілу часу надходження заявок від станції в мережу становитиме 11 заявок, при експоненціальному розподілі – 18 заявок, а при нормальному розподілі – 23 заявки.

6.4.6. Дослідження впливу інтенсивності надходження заявок та довжини кадру на максимальну довжину черги заявок станції

На рис. 6.26 показано залежність максимальної довжини черги заявок від інтенсивності надходження заявок від станції в мережу Token Ring.

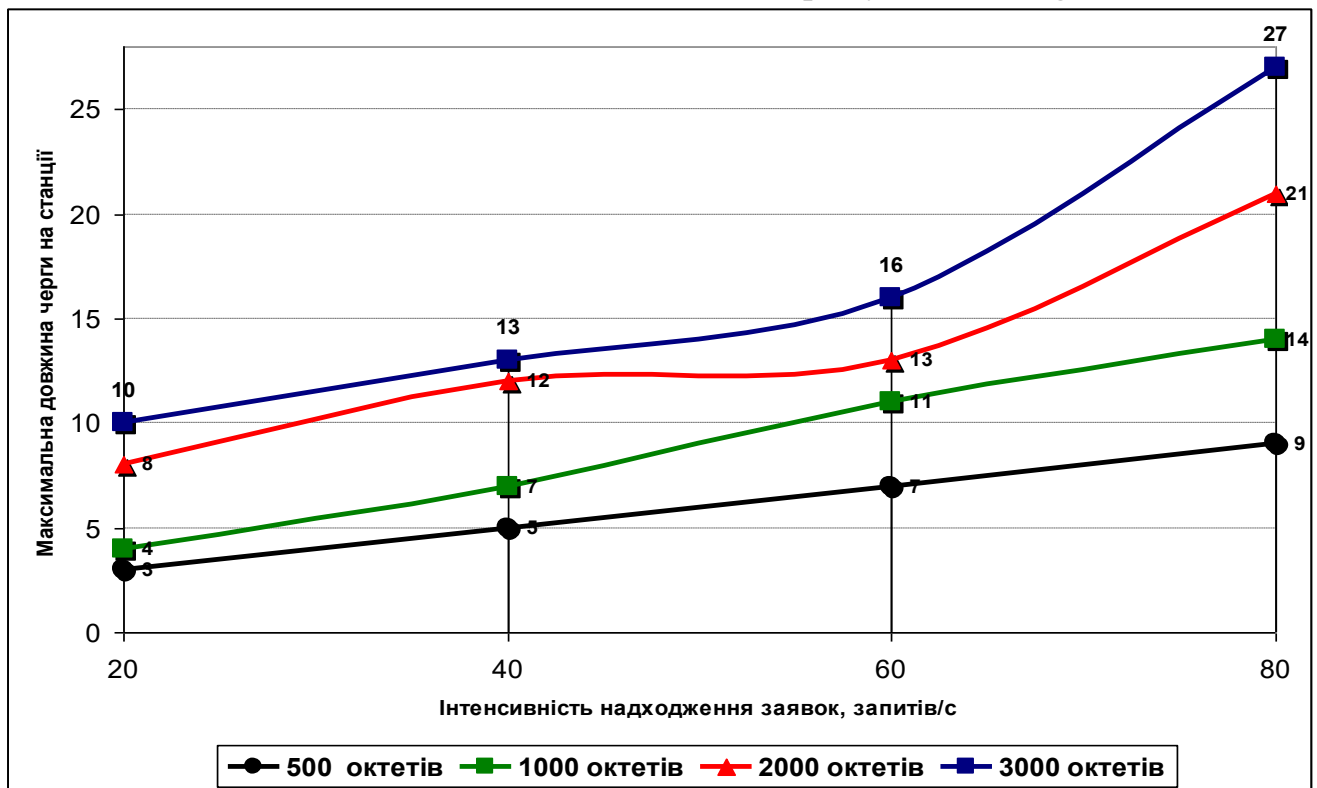


Рис. 6.26. Дослідження впливу інтенсивності надходження заявок від станції в мережу Token Ring та довжини кадру на максимальну довжину черги заявок

У цьому дослідженні зафіксований такий фактор як довжина кадру. На імітаційній моделі проведено дослідження при експоненціальному розподілі часу надходження заявок від станції в мережу Token Ring, що містить п'ять робочих станцій в системі автоматизації сортувальним процесом на гірці. Фактор, що залишився (інтенсивність надходження заявок від станції в мережу) варіювався; час моделювання складав 20 с. З рисунку видно: якщо, наприклад, інтенсивність надходження заявок від станції в мережу складає 60 заявок/с, а довжина кадру 1000 октетів, то максимальна довжина черги заявок станції в системі автоматизації сортувальним процесом на гірці складе 11 заявок.

6.4.7. Визначення параметрів мережі Token Ring, що будуть задовольняти поставленому обмеженню

Для систем, що працюють у реальному часі, критичний час реакції, основною складовою якого є час чекання заявки в черзі. Між часом чекання та довжиною черги заявок на станції мережі існує наступна залежність:

$$T_w = \frac{w}{\lambda}, \quad (6.3)$$

де T_w - середній час очікування заявки в черзі; w - довжина черги заявок станції мережі; λ - інтенсивність надходженнями заявок від станції в мережу.

Наприклад, якщо довжина черги буде дорівнювати 15 заявкам, то при інтенсивності надходження заявок від станції в мережу Token Ring 60 заявок/с середній час очікування заявки в черзі складе 0,25 с.

Метою цієї частини дослідження є визначення параметрів мережі Token Ring в системі автоматизації сортувальним процесом на гірці, при яких середній час очікування заявки в черзі не перевищує T_w^{don} . Відповідно до T_w^{don} максимальна довжина черги заявок станції Token Ring складе w_{max} , тоді одержане рівняння регресії (6.2) прийме наступний вигляд:

$$11 + 5x_1 + 5x_2 + 7x_3 + 3x_1x_2 + 5x_1x_3 + 4x_2x_3 + 3x_1x_2x_3 \leq w_{max}, \quad (6.4)$$

Розв'яжемо отриману нерівність відносно x_1 :

$$x_1 \leq \frac{w_{max} - 11 - 5x_2 - 7x_3 - 4x_2x_3}{5 + 3x_2 + 5x_3 + 3x_2x_3}.$$

Для зручності аналізу зроблено зворотній перехід від кодованих значень факторів до натуральних:

$$N \leq \frac{(w_{max} - 11 - 5 \cdot \frac{\lambda - \lambda^0}{h_\lambda} - 7 \cdot \frac{L - L^0}{h_L} - 4 \cdot \frac{\lambda - \lambda^0}{h_\lambda} \cdot \frac{L - L^0}{h_L}) \cdot h_N}{5 + 3 \cdot \frac{\lambda - \lambda^0}{h_\lambda} + 5 \cdot \frac{L - L^0}{h_L} + 3 \cdot \frac{\lambda - \lambda^0}{h_\lambda} \cdot \frac{L - L^0}{h_L}} + N^0, \quad (6.5)$$

де N , L , λ - число станцій мережі, довжина кадру та інтенсивність надходження заявок від станції відповідно; N^0 , L^0 , λ^0 – основні рівні числа станцій мережі, довжини кадру, інтенсивності надходження заявок від станції відповідно; h_N , h_L , h_λ - інтервали варіювання числа станцій мережі, довжини кадру, інтенсивності надходження заявок від станції відповідно.

Підставивши чисельні значення відомих величин з табл. 6.5 перейдемо до графічного зображення отриманих залежностей. На рис. 6.27 показано область припустимих значень параметрів мережі Token Ring (кількість станцій, інтенсивність надходження заявок від станції) при прийнятому обмеженні на середній час очікування заявки в черзі $T_w^{don} = 0,25$ с. Цю область обмежено функцією $N=f(\lambda, L)$ при $L=3000$ октетів, віссю абсцис ($\lambda=0$) та віссю ординат ($N=0$).

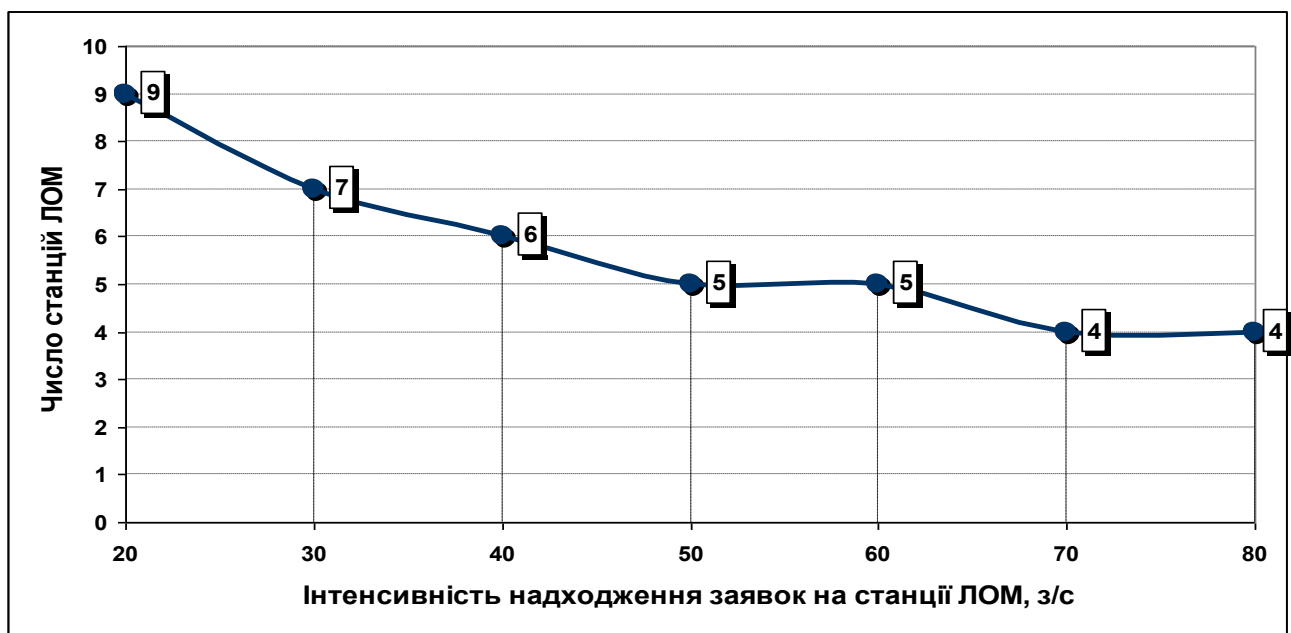


Рис. 6.27. Функція $N=f(\lambda, L)$ для мережі Token Ring, що забезпечує обмеження на середній час очікування заявки в черзі 0,25 с при довжині кадру 3000 октетів

З рисунку видно, що наприклад, при $\lambda=60$ заявок/с число станцій мережі Token Ring в системі автоматизації сортувальним процесом на гірці не повинно перевищувати п'яти.

На рис. 6.28 показано область припустимих значень параметрів мережі Token Ring (кількість станцій, довжина кадру) при прийнятому обмеженні на середній час очікування заявки в черзі 0,25 с. Цю область обмежено функцією $N=f(\lambda, L)$ при $\lambda=60$ заявок/с, віссю абсцис ($L=0$) та віссю ординат ($N=0$). З рисунку видно, що наприклад, при $L=3000$ октетів число станцій мережі не повинно перевищувати п'яти.

На рис. 6.29 показано область припустимих значень параметрів мережі Token Ring (число станцій мережі, інтенсивність надходження заявок від станції, довжина кадру) при прийнятому обмеженні на середній час очікування заявки в черзі 0,25 с.

Цю область обмежено площинами $N=0$, $\lambda=0$, $L=0$ та поверхнею $N=f(\lambda, L)$. З рисунку видно, що наприклад, при $\lambda=60$ заявок/с та $L=3000$ октетів число станцій мережі не повинно перевищувати п'яти.



Рис. 6.28. Функція $N=f(\lambda, L)$ для мережі Token Ring, що забезпечує виконання обмеження на середній час очікування заявки в черзі

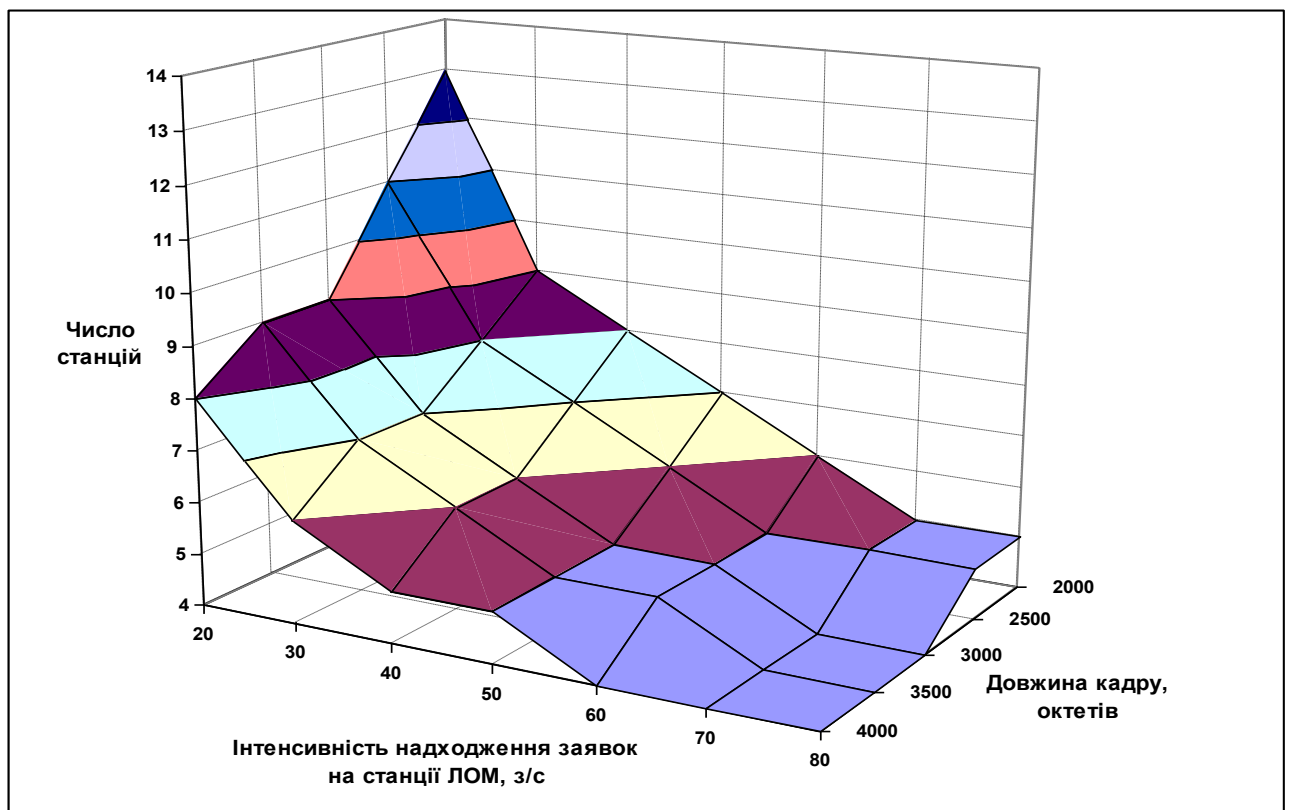


Рис. 6.29. Поверхня $N=f(\lambda, L)$ для мережі Token Ring, що забезпечує виконання обмеження на середній час очікування заявки в черзі 0,25 с

ЗАКІНЧЕННЯ

На залізничному транспорті України впроваджено інформаційно-телекомунікаційна система (ІТС). Однією з найважливіших її складових є система АСК ВП УЗ-Є, яка об'єднує функції всіх діючих систем керування. З метою підвищення якості вантажних перевезень необхідна розробка нових та покращення існуючих підсистем АСК ВП УЗ-Є, що забезпечується розв'язанням задач оперативного планування та маршрутизації, оперативного прогнозування та керування з використанням інтелектуальних технологій.

Робота залізничного транспорту України – це взаємодія шести залізниць: Східної, Львівської, Придніпровської, Харківської, Одеської, Донецької, на кожній з яких існує відповідна ІТС. У якості прикладу виконано дослідження за часом реакції мережі Управління залізниці й ДН-1 Придніпровської залізниці на розроблених імітаційних моделях у Cisco Packet Tracer існуючої структури, а також за умови заміни концентраторів комутаторами; введення маршрутизатора; організації віртуальних локальних мереж на комутаторах; об'єднання віртуальних мереж маршрутизаторами. Найкращий результат показує останній варіант: використання комутації всередині VLAN забезпечує високошвидкісний зв'язок між станціями та серверами, а маршрутизація між VLAN дозволяє розподілити ресурси та скоротити широкомовний трафік.

На сьогодні основним напрямком розвитку мереж ІТС залізниць залишається впровадження технологій ряду Ethernet (Ethernet, Fast Ethernet, Gigabit Ethernet) на основі використання відповідних комутаторів. Але для того щоб комутатор коректно працював у комп'ютерній мережі ІТС необхідно виконати аналіз його продуктивності. З цією метою розроблено програмну модель «SPA» (Switch Production Analysis). Для дослідження методів керування потоком кадрів (агресивного захоплення середовища та зворотного тиску на станцію мережі) створено програмну модель «Fast Ethernet». Розробку програмних моделей підтверджують відповідні авторські свідоцтва № 66295 та № 66294 від 24.06.2016.

Визначення оптимального маршруту розглянутого фрагмента ІТС Придніпровської залізниці здійснено на програмній моделі «Route», яка працює у двох режимах: за мурашиним алгоритмом елітної стратегії та канонічним генетичним алгоритмом. У програмній моделі «Route» передбачено визначення довжини оптимального маршруту та часу, витраченого на моделювання. Дослідження часу роботи програмних моделей за різної кількості маршрутизаторів (від 15 до 25) комп'ютерної мережі ІТС Придніпровської залізниці показало, що в середньому визначення оптимального маршруту на базі мурашиного алгоритму відбувається швидше в 2 рази ніж за алгоритмом Крускала та приблизно в 100 разів ніж за генетичним алгоритмом. Оцінено, що залежність часу виконання програмної моде-

лі «Route» за мурашиним та генетичним алгоритмах від кількості маршрутизаторів в комп'ютерній мережі Придніпровської залізниці має поліноміальний характер, тоді як за алгоритмом Крускала на основі існуючої моделі «KruskalMST» – експоненціальний. Результат роботи НМ конфігурації 31-1-50-31 збігається з результатами, одержаними за іншими алгоритмами, його досягнуто за 7 епох; середньоквадратична похибка навчання, перевірки та тестування НМ склала 0,05; 0,11 і 0,12 відповідно.

Виконано аналіз обсягу мережного трафіку в ІТС Придніпровської залізниці (Дніпро – Київ) на основі реальних даних системи ORION. Для одержання прогнозу (на добу вперед) обсягу мережного трафіку обрано інтервал з 08:00 до 17:00 годин, коли відбуваються значні коливання, але за той період тижня (понеділок, вівторок, четвер, п'ятниця), коли характер трафіку приблизно однаковий. Підготовлені навчальна, тестова та контрольна вибірки на основі фактичних даних за період з 21.03.2016 по 26.03.2016. Прогноз обсягу мережного трафіку в ІТС Придніпровської залізниці (Дніпро – Київ) здійснено з використанням нейронечіткої мережі (гібридної системи). На вхід якої подається обсяг мережного трафіку за попередні три доби; прогнозування обсягу мережного трафіку виконувалося з 08:00 до 17:00 (загальна кількість годин $N=10$); значення MAPE складає: 6,9 % для вхідного мережного трафіку; 7,7 % для вихідного мережного трафіку. Досліджено залежності середньої похибки навчання гібридної системи від її вхідних параметрів за різними методами навчання.

Відомо, що на сучасному етапі технологія АТМ є єдиною технологією, яка дозволяє передавати інтегральний трафік (голос, відео, дані), одночасно задовольняючи несумісні вимоги до умов передачі та жорсткі умови в плані завантаженості каналів зв'язку. Для дослідження розглянутого фрагмента ІТС Придніпровської залізниці розроблені імітаційні моделі: ATMFast-DK; ATM-DK; GigaFast-DK, на яких досліджений середній час відповіді. Для оцінки адекватності розроблених імітаційних моделей використано реальні дані системи ORION: трафік Дніпро – Київ з 14:08 до 16:07 за 01.04.2016. На розроблених імітаційних моделях виконано дослідження залежності часу доставки повідомлення від: кількості станцій мережі, що передають повідомлення; розміру повідомлення; збільшення кількості звертань до мережі. Оскільки середній час доставки повідомлення в мережі приблизно однаковий на моделях ATMFast-DK і GigaFast-DK, але на моделі GigaFast-DK найбільша кількість напрямків відмов при збільшенні кількості звертань до мережі, то в ІТС Придніпровської залізниці доцільним є використання технології АТМ порівняно з технологією Gigabit Ethernet, але лише на ділянці Дніпро – Київ.

Якщо в комп'ютерних мережах, що застосовані в ІТС залізничного транспорту, будуть надалі використовуватися різні мережні технології, це приведе до необхідності впровадження технології MPLS, яка базується на застосуванні міток. Можливості керування трафіком у мережі MPLS реалізуються за допомогою технології інжинірингу трафіка, основний механізм якого – використання односпрямованих тунелів (MPLS TE tunnel). Для розглянутого фрагмента ІТС залізничного транспорту на програмній моделі «TraffEng» відображена залежність якості

розв'язування задачі інжинірингу трафіку від черговості вибору тунелів у мережі MPLS; значення максимального коефіцієнта завантаження тунелів за найкращим варіантом не перевищує 0,5. Розроблена імітаційна модель розглянутого фрагмента ІТС Придніпровської залізниці, що підтверджує ефективність використання протоколу MPLS при передачі збільшеного нечутливого UDP трафіку й чутливого до перевантаження TCP трафіку.

Виявлення загроз у комп'ютерних мережах ІТС залізниць можливо здійснити на основі аналізу та обробки даних про параметри мережних з'єднань, що використовують стек протоколів TCP/IP. Для дослідження у якості початкових даних використовувалася відкрита база даних KDDCup99 про з'єднання, на основі якої сформовано такі вибірки: навчальна (430 прикладів); тестова (200 прикладів); контрольна (25 прикладів). Здійснено опрацювання вибірок для визначення атак (Back, Buffer_overflow, Quess_passwd, Ipsweep, Neptune) в комп'ютерній мережі з використанням НМ конфігурації 19-1-25-5, на вхід якої подаються параметри мережного трафіку (тип пакету, тип служби, прапор, кількість скомпрометованих умов, успішний вхід та інші). Виконано навчання, тестування (похибка 0,1) та оцінка отриманих результатів (похибка 0,3) на відповідних вибірках. Зокрема, перший нейрон, який відповідає за розпізнавання атаки Back, розпізнав чотири із п'яти загроз. Проведені дослідження залежності часу навчання (кількість епох) від кількості нейронів у прихованому шарі (від 10 до 55), кількості прихованих шарів (від 1 до 4) за різними алгоритмами навчання НМ. У загальному доцільно здійснити спочатку визначення категорії класу атаки DoS, U2R, R2L, Probe в комп'ютерній мережі на НМ конфігурації 41-1-132-5, а потім провести виявлення типу атаки із класів DoS (Back, Land, Neptune, Pod, Smurf, Teardrop), U2R (Buffer_overflow, Loadmodule, Perl, Rootkit), R2L (Ftp_write, Quess_passwd, Imap, Multi-hop, Phf, Spy, Warezclient, Warezmaster), Probe (Ipsweep, Hmap, Portsweep, Satan) на нейронних мережах конфігурацій 41-1-160-7, 41-1-8-5, 41-1-111-9, 41-1-107-5 відповідно.

Досліджено деякі інтелектуальні підсистеми АСК ВП УЗ-Є. Так наприклад, з використанням інтелектуальної підсистеми «NLogicPlan» на основі спроектованих нейронечітких мереж ANFIS-1 та ANFIS-2 здійснення попереднього та остаточного прогнозу (на одну годину вперед) кількості вантажних та порожніх вагонів. Дослідження показало, що для ANFIS-1 доцільно використовувати 6 входів, кожен з яких має два терми з трикутною функцією належності; для ANFIS-2 необхідно 4 входи, кожен з яких має по чотири терми з трикутною функцією належності; прогнозування виконано на основі алгоритму Takagi-Sugeno-Kang. Тестування підсистеми «NLogicPlan» здійснено на базі реальних даних за березень 2014 р. станції Синельникове-1. Значення MAPE склало 16,52 % та 14,99 % для прогнозування кількості навантажених та порожніх вагонів на станції Синельникове-1. Також здійснено прогнозування часу простою прибуваючих поїздів на основі нейронечіткої мережі. Оцінено, що для станції «П'ятихатки» значення такого прогнозу відрізняється від реального не більше як на 8 %. У рамках системи АСК ВП УЗ-Є може бути корисним формування маршруту вантажних потягів на основі мурашиного методу в інтелектуальній підсистемі «RouteTrain». Досліджено, що довжина маршруту за маятникової системи приблизно на 30 % менша, ніж за

кільцевою. У загалі для управління сортувальною гіркою рекомендовано використання мережі Token Ring, параметри якої визначено на відповідній імітаційній моделі.

Дослідження ІТС залізничного транспорту проводилось за допомогою імітаційних моделей, що створювалися студентами в період дипломного проектування під моїм науковим керівництвом.

Основні результати досліджень, що наведені в монографії, доповідалися на національних та міжнародних науково-практичних конференціях, серед яких: III міжнародна науково-практична конференція і V координаційне спілкування по проекту CITISET «Сучасні проблеми розвитку інтелектуальних систем транспорту» (Дніпропетровськ, ДНУЖТ, 2014); XI міжнародна конференція з проблем розвитку впровадження інформаційних технологій в наукову та інноваційну сферу освіти (Дніпропетровськ, Національний гірничий університет, 2014); VII міжнародна науково-практична конференція «Сучасні проблеми і досягнення в галузі радіотехніки, телекомунікацій та інформаційних технологій» (Запоріжжя, Національний технічний університет, 2014); международная научно-практическая конференция «Технологии, экономика и право: актуальные проблемы и инновации» (Беларусь, Барановичи, 2014); заключительная конференция «Интеллектуальные транспортные системы: коммуникационные и информационные технологии в управлении» по проекту CITISET программы TEMPUS (Москва, МИИТ, 2014); 27-ма та 28-ма міжнародні науково-практичні конференції «Перспективні комп'ютерні, керуючі та телекомунікаційні системи для залізниць України» (Харків, 2014-2015); IX–XI міжнародні науково-практичні конференції «Сучасні інформаційні та комунікаційні технології на транспорті, в промисловості та освіти» (Дніпро, ДНУЖТ, 2015 – 2017); 29-та міжнародна науково-практична конференція «Перспективні комп'ютерні, керуючі та телекомунікаційні системи для залізниць України» (Одеса, 2016); Всеукраїнська науково-практична конференція «Прикладна геометрія та інформаційні технології в моделюванні об'єктів, явищ і процесів» (Миколаїв, 2016); Vth International Scientific Conference «Physical and technological problems of transmission, processing and storage of information in infocommunication systems» (Ukraine: Chernivtsi; 2016); наукова секція «Сучасні проблеми керування та моделювання складних систем» Придніпровського Наукового Центру НАН України (Дніпро, 2016).

З повагою автор

Наукове видання

Пахомова Вікторія Миколаївна

**ДОСЛІДЖЕННЯ ІНФОРМАЦІЙНО-ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНОЇ
СИСТЕМИ ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ
З ВИКОРИСТАННЯМ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ**

Видавництво ПФ «Стандарт - Сервіс»
Свідоцтво ДК № 3197 від 28.05.2008 р.
с.м.т. Ювілейне, вул. Радгоспна 68, кв. 65, Дніпропетровський район,
Дніпропетровська область, Україна

Надруковано:
Видавництво ПФ «Стандарт - Сервіс»
Здано до друку 11.11.2018 р. Формат 29,7х42 1/4. Папір офсетний.
Спосіб друку - різнограф. Умов. друк. арк. 12,90.
Тираж 300 прим. Заказ № 18 від 18.11.2018 р.

ISBN 978-617-7382-14-9