

ПАХОМОВА В. М., к.т.н., доцент (Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна)

## Можливості модернізації комп'ютерної мережі інформаційно-телекомунікаційної системи Придніпровської залізниці

*Запропоновано варіанти модернізації комп'ютерної мережі Придніпровської залізниці: повна заміна концентраторів комутаторами; використання комутаторів і часткове введення маршрутизаторів; організація віртуальних локальних мереж на комутаторах; об'єднання віртуальних мереж маршрутизаторами. Побудовані відповідні імітаційні моделі в Cisco Packet Tracer, на яких виконано дослідження середнього часу реакції мережі. Найкраще значення надає варіант об'єднання віртуальних мереж маршрутизаторами: використання комутації всередині VLAN забезпечує високошвидкісний зв'язок між станціями та серверами, а маршрутизація між VLAN дозволяє розподілити ресурси та скоротити широкомовний трафік. Виконана на розробленій програмній моделі «SPA» оцінка залежності продуктивності комутатора від кількості його портів, технології роботи порту (Ethernet, Fast Ethernet) та матриці середніх значень інтенсивностей трафіків між портами. На розробленій імітаційній моделі «Fast Ethernet» проведено дослідження максимального та середнього часів очікування в черзі, часу реакції мережі за різними методами управління потоком кадрів у напівдуплексному режимі. Виявлено, що метод агресивного захоплення середовища є ефективнішим ніж метод зворотного тиску на станцію мережі.*

**Ключові слова:** інформаційно-телекомунікаційна система, комутатор, маршрутизатор, порт, інтенсивність трафіку, час реакції, імітаційна модель.

### Вступ і постановка проблеми

Інформаційно-телекомунікаційна система (ІТС) – це сукупність засобів обчислювальної техніки, приладів промислової автоматики, засобів зв'язку, програмного забезпечення, каналів зв'язку, а також користувачів, що працюють із ними (персоналу), призначених для ефективного вирішення задач автоматизації виробничої та господарчої діяльності підприємств залізничного транспорту. Найважливішою складовою ІТС є мережа передачі даних (МПД). Сьогодні МПД Укрзалізниці, отже і Придніпровської залізниці, будується на базі оптичної транспортної мережі, яка представляє собою ієрархічну структуру, що ділиться на два рівні (магістральний та дорожній). На кожному з об'єктів магістрального рівня надається канал зв'язку на сусідню та вузлову точку з інтерфейсом Ethernet, на кожному з об'єктів дорожнього рівня також надається канал на сусідній об'єкт з інтерфейсом Ethernet. Сама МПД представляє собою трьохрівневу ієрархічну структуру і має наступні рівні: магістральний, дорожній, лінійний. На шляху різко зростаючих інформаційних потоків стоять технологічні бар'єри між різними рівнями автоматизації, що виникли в результаті незалежного розвитку АСУ ТП на залізничному транспорті. При організації вузлів різних рівнів створюються мережі з використанням комутаторів ряду Ethernet, які здатні

надати будь-якому абоненту повну смугу пропускання мережі та повнодуплексні канали, що виключають характерні для технології Ethernet колізії за рахунок розділення ліній прийому та передачі даних абонентів. Крім того, реалізація вимог стандартів IEEE 802.1p і IEEE 802.1q надала можливість постачати різні потоки даних пріоритетами, обумовленими правилами управління мережею, і формувати віртуальні локальні мережі, розділяючи сумарний трафік і виділяючи домени, що підтримують режим реального часу. Проте комутатори можуть повністю використовувати свою високу внутрішню продуктивність тільки у випадку добре збалансованого трафіку, коли ймовірності передачі кадрів від одного порту іншим приблизно рівні. При «перекосу» трафіку, коли кілька портів посилають свій трафік переважно одному порту, комутатор може не впоратися з поставленим завданням.

### Аналіз публікацій по темі дослідження

Побудова єдиної інформаційної інфраструктури, яка забезпечує спільну роботу різних АСУ [6], в свою чергу, потребує вирішення задачі об'єднання вже існуючих мереж, що можливо виконати за різними способами. У [4 - 5] розглянута проблема вирішується застосуванням технології 100VG-anyLAN, кожен концентратор якої може бути налаштований на підтримку кадрів формату Ethernet або кадрів формату Token Ring. У силу спадковості технологій Ethernet, Fast Ethernet, Gigabit Ethernet в [7] запропоновано

варіант об'єднання на основі комутаторів ряду Ethernet. У [8 - 9] представлений варіант об'єднання мереж на основі організації віртуальних локальних мереж за різними механізмами: групуванням портів, групуванням MAC-адрес, використання стандарту IEEE 802.1q. У якості прикладу для мережі «Дніпрозалізничпроект» технології Ethernet [10] розглянуто два варіанта підвищення її продуктивності: перехід до Fast Ethernet; використання технології VLAN.

#### Формулювання цілей статті

Запропонувати варіанти модернізації існуючої структури комп'ютерній мережі Управління дороги і ДН-1 Придніпровської залізниці на основі комутаторів і маршрутизаторів, провести дослідження часу реакції різних варіантів мережі на відповідних моделях в Cisco Packet Tracer. Виконати оцінку продуктивності комутатора на створеній програмі та поставити експерименти на розробленій моделі «Fast Ethernet» для дослідження методів управління потоком кадрів в напівдуплексному режимі.

#### Основна частина

**Постановка задачі.** Основною задачею комп'ютерній мережі Придніпровської залізниці є забезпечення експлуатаційної роботи залізничного транспорту шляхом здійснення заходів по підвищенню ефективності АСУ на залізниці, обробки статистичної, економічної та фінансово-бухгалтерської інформації, нарахування і проведення платежів за перевезення і послуги Залізниці з застосуванням засобів обчислювальної техніки, мереж передачі даних. Мережа побудована з використанням різноманітного мережного устаткування; до її складу входять комутатори, концентратори, трансивери, dsl модеми, магістральні лінії 1 Гб/с та 100 Мб/с. В основі мережі використовуються комутатори Cisco Catalyst 2950T-24 і 3Com SuperStack II Switch 1000. Для обробки дуже великого потоку інформації та забезпечення безперебійного, надійного та швидкого обміну даними необхідно використовувати комп'ютерну мережу, яка повинна взаємодіяти як із серверами, що знаходяться в будівлі інформаційно-обчислювального центру (ІОЦ), так і з іншими локальними мережами. Також мережа повинна давати змогу великій кількості користувачів (близько 1000 працівників ІОЦ, а також працівники інших структур, що мають доступ до локальної мережі ІОЦ) ефективно працювати з нею.

Застосування комутаторів завжди породжує небезпеку втрати кадрів при передачі, що звичайно набагато знижує корисну продуктивність мережі, тому при переважанні комутатора раціонально було б сповільнити інтенсивність надходження кадрів від кінцевих вузлів в приймачі комутатора, щоб дати можливість передавачам розвантажити свої буфера з

більш високою швидкістю. Для реалізації такого алгоритму в розпорядженні комутатора повинні бути прийоми зниження інтенсивності трафіку підключених до його портів вузлів; ці прийоми засновані на тому, що кінцеві вузли строго дотримуються всіх параметрів алгоритму доступу до середовища, а порти комутатора - ні.

**Імітаційна модель комп'ютерної мережі існуючої структури.** Для побудови імітаційної моделі в Cisco Packet Tracer комп'ютерної мережі використовувалось стандартне мережне обладнання, яке доступне у програмі. У зв'язку з тим, що мережа охоплює декілька будівель та має велику кількість комутаційного обладнання, частина з них, для більш наглядного представлення, упорядкована в кластери. Передача даних між комутаторами здійснюється по 100 Мб/с лініям. Імітаційна модель в Cisco Packet Tracer комп'ютерної мережі Управління дороги і ДН-1 Придніпровської залізниці існуючої структури представлена на рис.1. У ході моделювання комп'ютерної мережі Управління дороги і ДН-1 Придніпровської залізниці отримано середній час реакції мережі, що складає 162 мс (при інтенсивностях потоків заявок, що визначені експериментальним шляхом).

**Комутатор як основний засіб логічної структуризації мережі.** На сьогодні комп'ютерна мережа Управління дороги і ДН-1 Придніпровської залізниці складається з комутаторів та концентраторів. Відомо, що через особливості розподілу трафіку концентратори мають пропускну здатність набагато нижче, ніж комутатори. Природно, рівень безпеки в мережі, організованої за допомогою концентратора, буде знижений. Для покращення роботи комп'ютерної мережі пропонується замінити усі концентратори на комутатори. Для заміни пропонується використати управляючий комутатор для локальних мереж – Cisco WS-2950-12, побудована відповідна імітаційна модель в Cisco Packet Tracer комп'ютерної мережі після такої заміни. У ході моделювання комп'ютерної мережі зі зміною концентраторів комутаторами отримано зменшення середнього часу реакції мережі до 151 мс.

**Оцінка продуктивності комутатора.** Для того щоб комутатор коректно працював в комп'ютерній мережі необхідне виконання декількох правил [1 - 2] (трафік і продуктивність комутатора вимірюються в бітах в секунду).

**Правило №1.** Загальна продуктивність комутатора повинна бути більше або дорівнювати загальній сумі середніх інтенсивностей трафіків між портами

$$B \geq \sum P_{ij}, \quad (1)$$

де  $B$  – загальна продуктивність комутатора,  $P_{ij}$  – середня інтенсивність трафіку між  $i$ -м та  $j$ -м портами комутатора.

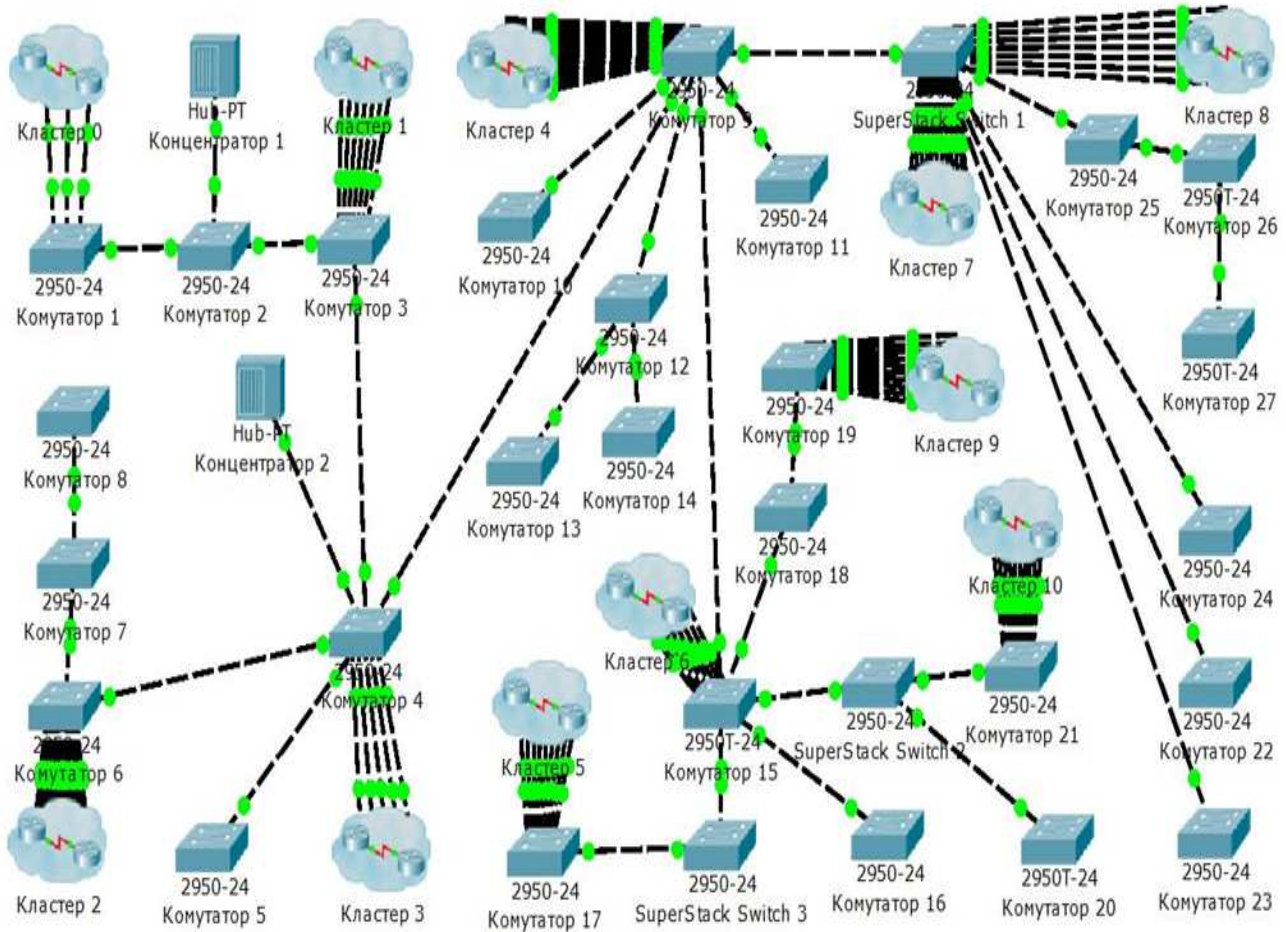


Рис. 1. Імітаційна модель існуючої структури комп'ютерної мережі Управління дороги і ДН-1 Придніпровської залізниці

*Правило №2.* Максимальна (номінальна) продуктивність протоколу кожного порту комутатора повинна бути не менше середньої інтенсивності сумарного трафіку, що проходить через порт

$$C_k \geq \sum_i P_{ik} + \sum_j P_{kj}, \quad (2)$$

де  $C_k$  – максимальна (номінальна) продуктивність протоколу  $k$ -го порту (наприклад, якщо  $k$ -й порт підтримує Ethernet, то  $C_k$  дорівнює 10 Мб/с; якщо  $k$ -й порт підтримує Fast Ethernet, то  $C_k$  дорівнює 100 Мб/с); ця формула вважає, що порт комутатора працює в напівдуплексному режимі; для повнодуплексного режиму величину  $C_k$  потрібно подвоїти.

Для перевірки умов правил №1 - 2 розроблена в середовищі Delphi програма «SPA», що буде наступні форми: «Загальна продуктивність комутатора»,

«Максимальна продуктивність портів». Форма «Загальна продуктивність комутатора» програмної моделі «SPA» представлена на рис. 2.

Користувач має можливість вводити кількість портів комутатора, вказати технологію (Ethernet, Fast Ethernet), яку підтримує кожен порт, та середні значення інтенсивностей трафіків (трафік, що передається між портами комутатора, заповнюється у  $Kb/c$ ). Після введення цих даних у формі відобразиться матриця розмірністю вказану у полі «Кількість портів». У результаті розрахунку отримуємо відношення загальної продуктивності комутатора до сумарної інтенсивності переданого трафіку. Якщо сумарна інтенсивність переданого трафіку перевищує загальну продуктивність комутатора, то комутатор свідомо не справляється з потоком кадрів, що надходять до нього, і вони будуть губитися через переповнення внутрішніх буферів.

Аналіз другої умови виконується у програмній формі «Номінальна максимальна продуктивність протоколу кожного порту», яка представлена на рис. 3;

введення даних аналогічне до першого правила. Програма «SPA» видає номінальну максимальну продуктивність протоколу кожного порту, яка повинна бути не менше середньої інтенсивності сумарного трафіку, що проходить через порт. Дослідження проводились на базі комутатора SuperStackSwitch1, кількість портів якого 12; усі порти підтримують технологію Fast Ethernet. У результаті розрахунку отримано, що максимальна продуктивність портів

комутатора не перевищує середньої інтенсивності сумарного трафіку, який проходить через ці порти (рис. 3). Номінальна продуктивність протоколу порту 100000 *Кб/с* перевищує всі значення сумарного трафіку для кожного порту комутатора: 4995, 6052, 5025, 3516, 4603, 3966, 3077, 4292, 3385, 4760, 4291, 4394 *Кб/с*. Таким чином, умови правил № 1-2 виконуються в повному обсязі.

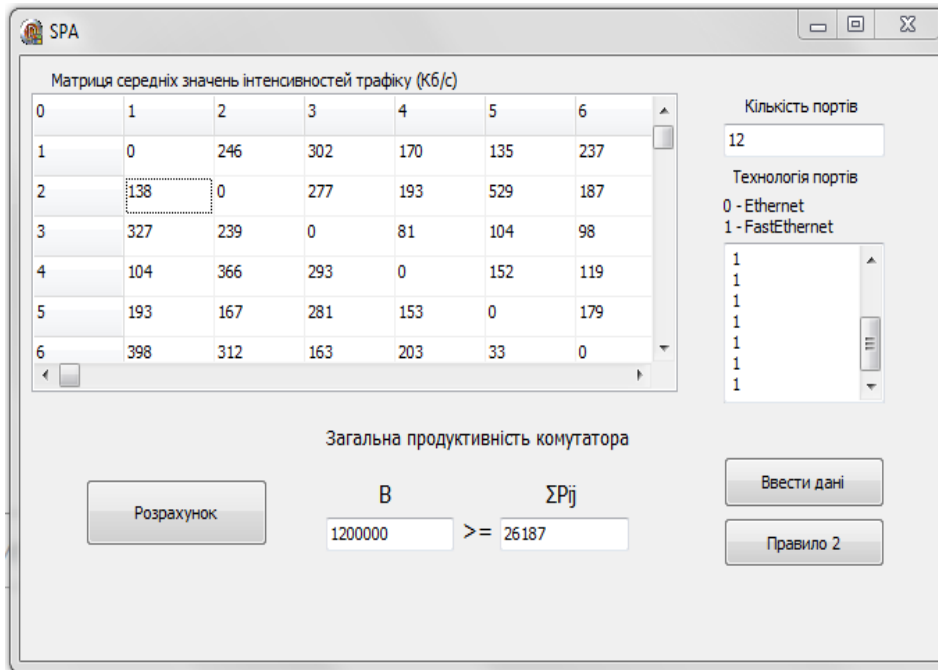


Рис. 2. Форма «Загальна продуктивність комутатора»

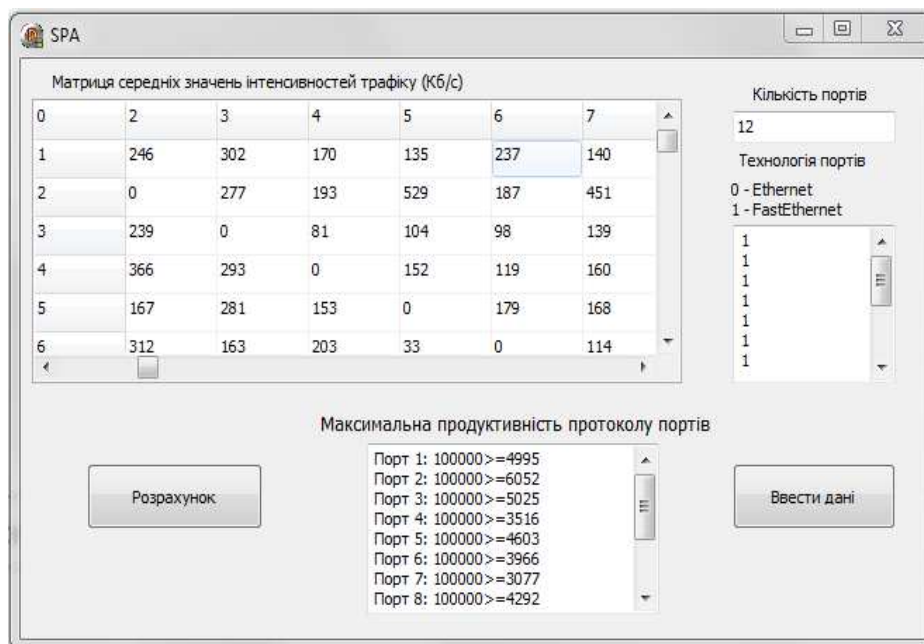


Рис. 3. Форма «Максимальна продуктивність порту»

**Дослідження методів управління потоком кадрів.** Дослідження проводяться на базі розробленої в середовищі Delphi імітаційної моделі «Fast Ethernet» [7]. Метою дослідження є порівняння двох методів управління потоком кадрів: агресивного захопту середовища та зворотного тиску на станцію мережі при однакових вхідних параметрах. Для моделювання роботи комутатора у напівдуплексному режимі на імітаційній моделі «Fast Ethernet» обираємо: обладнання – «з комутатором», метод (агресивне захоплення середовища або метод зворотного тиску) та задаємо необхідні параметри (інтенсивність надходження заявок, довжина кадру, час моделювання). Для дослідження обрано час моделювання 300000 октетних інтервалів. Моделювання проведено для інтенсивностей надходження заявок від 1000 до 500000 для максимальної та мінімальної довжини кадру за кожним методом управління потоком кадрів. У результаті дослідження маємо такі характеристики: максимальний (середній) час очікування в черзі, час реакції мережі, а також діаграму, що показує довжину черги на кожній станції мережі. Згідно з отриманими в ході моделювання результатами у середньому максимальний час очікування в черзі за методом зворотного тиску на 19 % менше ніж за методом агресивного захоплення середовища, у середньому час очікування заявки в черзі та час реакції мережі за методом зворотного тиску на 41 % перевищує відповідні значення за методом агресивного захоплення середовища.

**Маршрутизатор як альтернативний засіб логічної структуризації мережі.** Маршрутизатор – комунікаційний пристрій, що утворює логічні сегменти за допомогою явної адресації, оскільки використовує неплоскі апаратні, а складові числові адреси [1,3]. Крім локалізації трафіка, маршрутизатори працюють в мережі з замкнутими контурами, при цьому здійснюючи вибір найбільш раціонального маршруту з декількох можливих. Іншою дуже важливою функцією маршрутизаторів є їх спроможність зв'язувати в єдину мережу підмережі, побудовані з використанням різних мережних технологій. Маршрутизатори, подібно комутаторам, ізолюють трафік однієї частини мережі від іншої і, тим самим, підвищують пропускну здатність мережі в цілому. При цьому ступінь ізоляції мереж більш висока, ніж при використанні комутаторів, оскільки маршрутизатори не передають між мережами ширококомовний трафік і кадри з невідомими адресами призначення. Для покращення роботи комп'ютерної мережі Управління дороги і ДН-1 Придніпровської залізниці пропонується введення широкополосного маршрутизатора ASUS RX 3081; побудована відповідна імітаційна модель в Cisco Packet Tracer, на якій середній час реакції складає 149 мс. Як і у випадку застосування комутаторів, використання

маршрутизаторів може зменшити пропускну здатність, це відбувається в тому випадку, якщо продуктивність маршрутизатора виявиться менше середньої інтенсивності міжмережного трафіку. Зазвичай продуктивність маршрутизатора істотно менше продуктивності комутатора (середній маршрутизатор витрачає на обробку одного пакету в 5-10 разів більше часу, ніж середній комутатор), тому маршрутизатори доцільно застосовувати для з'єднання таких фрагментів мереж, що відокремлені та породжують не дуже інтенсивний міжмережний трафік.

**Організація віртуальних мереж на комутаторах.** Оцінивши розміщення та призначення служб зроблено висновок, що доцільно створити чотири віртуальних мережі: VLAN1 – виробничий відділ впровадження та експлуатації АСУ вантажних перевезень; VLAN2 – відділ ДН1; VLAN3 – нова будівля; VLAN4 – сектор захисту інформації та безпеки інформаційних систем. Побудована відповідна імітаційна модель в Cisco Packet Tracer, середній час реакції мережі складає 154 мс.

**Об'єднання віртуальних мереж на основі маршрутизаторів.** Для дослідження існуючої структури комп'ютерної мережі Управління дороги і ДН1 Придніпровської залізниці внесені зміни до її моделі: встановлені маршрутизатори між створеними віртуальними локальними мережами. Це зроблено з метою підвищення швидкості передачі користувальницьких даних, а також для зниження ширококомовних пакетів у середині мережі VLAN. Імітаційна модель в Cisco Packet Tracer відповідної структури мережі представлена на рис. 4; на моделі отримано зменшення середнього часу реакції мережі до 142 мс. Таким чином доведено, що у середині віртуальної локальної мережі краще використовувати комутатори, а між віртуальними мережами – маршрутизатори.

## Висновки

1. Розроблена в середовищі Delphi програмна модель «SPA», що дозволяє виконати перевірку умов основних правил коректної роботи комутатора. Модель «SPA» передбачає введення кількості портів комутатора, завдання технології роботи порту (Ethernet, Fast Ethernet) та матриці середніх значень інтенсивностей трафіків; у якості прикладу наведений аналіз роботи SuperStackSwitch1 в мережі Управління дороги і ДН1 Придніпровської залізниці.

2. Виконано дослідження максимального та середнього часів очікування в черзі, часу реакції мережі Fast Ethernet за різними методами управління потоком кадрів у напівдуплексному режимі на розробленій в середовищі Delphi відповідній імітаційній моделі. Встановлено, що метод агресивного захоплення середовища є ефективнішим ніж метод зворотного тиску на станцію мережі.

3. На розроблених імітаційних моделях в Cisco Packet Tracer виконано дослідження варіантів комп'ютерної мережі Управління дороги і ДН1 Придніпровської залізниці: існуючої структури; при заміні концентраторів комутаторами; при використанні комутаторів і частковому введенні маршрутизатора; при організації віртуальних локальних мереж на комутаторах; при об'єднанні віртуальних мереж маршрутизаторами. За критерієм

мінімального часу реакції найкраще значення надає варіант об'єднання віртуальних мереж маршрутизаторами: використання комутації всередині VLAN забезпечує високошвидкісний зв'язок між станціями та серверами, а маршрутизація між VLAN дозволяє розподілити ресурси та скоротити широкомовний трафік.

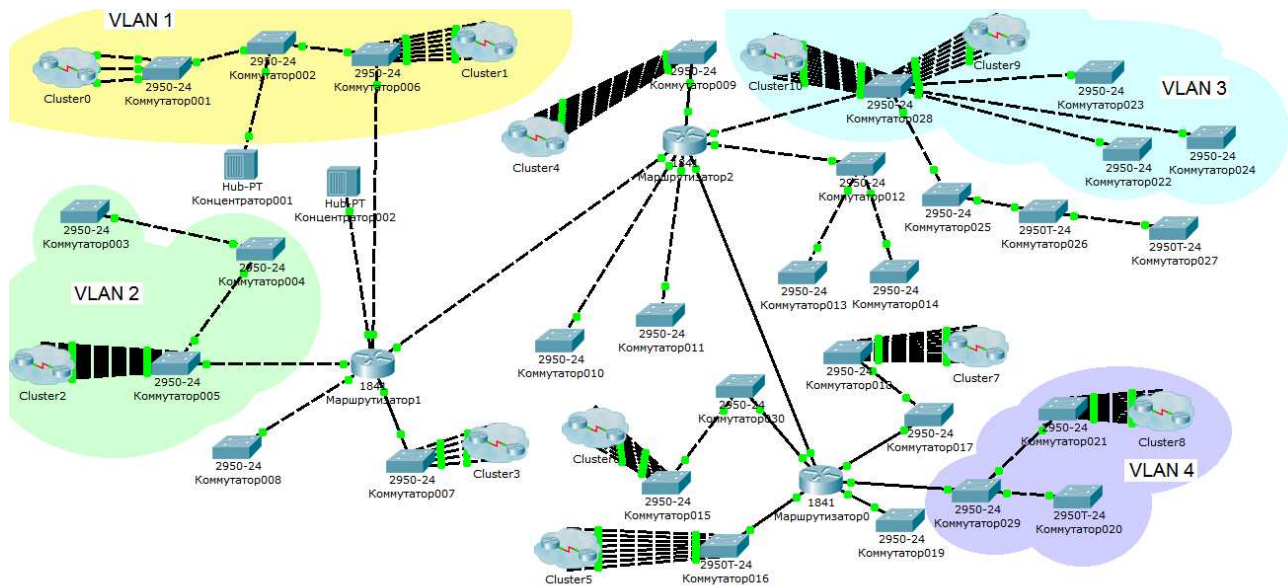


Рис. 4. Імітаційна модель комп'ютерної мережі Управління дороги і ДН-1 Придніпровської залізниці (об'єднання віртуальних мереж на основі маршрутизаторів)

### Література

- Олифер Н.А. Компьютерные сети: принципы, технологии, протоколы [Текст] / Н.А. Олифер, В.Г. Олифер. – СПб.: Питер, 2012. – 944 с.
- Олифер Н.А. Локальные сети на основе коммутаторов [Электронный ресурс] / Н.А. Олифер, В.Г. Олифер. – 1999. – Режим доступа до ресурсу: [http://citforum.ck.ua/nets/lsok/glava\\_8.shtml](http://citforum.ck.ua/nets/lsok/glava_8.shtml)
- Олифер Н.А. Роль коммуникационных протоколов и функциональное назначение основных типов оборудования корпоративных сетей [Электронный ресурс] / Н.А. Олифер, В.Г. Олифер. – 1999. – Режим доступа до ресурсу: [http://citforum.ck.ua/nets/protocols/1\\_03\\_06.shtml](http://citforum.ck.ua/nets/protocols/1_03_06.shtml)
- Пахомова В.Н. Имитационная модель локальной вычислительной сети 100VG-AnyLAN [Текст] / В.Н. Пахомова, В.В. Черный // Информ.-керуючі системи на залізничн. транспорті. – 2005. – № 6. – С. 67–73.
- Пахомова В.М. Возможность использования технологии 100VG-AnyLAN в информационных системах железнодорожного транспорта [Текст] / В.М. Пахомова, Т.І. Скабалланович, Д.А. Ляхов // Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна. – Випуск 2(41). – Дніпропетровськ, 2012. – С. 199–204.
- Пахомова В.Н. Модифицированная имитационная модель ЛВС при коллективном доступе с опознаванием несущей и обнаружением коллизий [Текст] / В.Н. Пахомова, К.М. Рзу // Информ.-керуючі системи на залізничн. транспорті. – 2001. – № 4. – С. 87–92.
- Пахомова В.М. Логічна структуризація інформаційних мереж залізничного транспорту на основі комутаторів Ethernet [Текст] / В.М. Пахомова, В.В. Повод // Збірник наукових праць Донецького інституту залізничного транспорту. – 2012. – Випуск 29. – С. 11–18.
- Пахомова В.М. Демонстрація організації віртуальних локальних мереж на програмній моделі [Текст] / В.М. Пахомова, В.В. Заханевич // Збірник наукових праць Донецького інституту

- залізничного транспорту. – 2012. – Випуск 31. – С. 85–94.
9. Пахомова В.М. Дослідження конфігурації комп'ютерної мережі на моделі за алгоритмом покривного дерева [Текст] / В.М. Пахомова // Залізничний транспорт України. – № 5/6 (102/103). – 2013. – С. 80–89.
10. Методика побудови раціональної структури мережі підприємства за допомогою імітаційних моделей [Текст] / В.М. Пахомова // Наука та прогрес транспорту. Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна. – Випуск 3 (45). – Дніпропетровськ, 2013. – С. 103–110.

**Пахомова В.Н. Возможности модернизации компьютерной сети информационно-телекоммуникационной системы Приднепровской железной дороги.** Предложены варианты модернизации компьютерной сети Приднепровской железной дороги: полная замена концентраторов коммутаторами; использование коммутаторов и частичное введение маршрутизаторов; организация виртуальных локальных сетей на коммутаторах; объединение виртуальных сетей маршрутизаторами. Разработаны соответствующие имитационные модели в Cisco Packet Tracer, на которых выполнено исследование среднего времени реакции. Лучшее значение дает вариант объединения виртуальных сетей маршрутизаторами: использование коммутации внутри VLAN обеспечивает высокоскоростную связь между станциями и серверами, а маршрутизация между VLAN позволяет распределить ресурсы и сократить широкополосный трафик. Выполнена на разработанной программной модели «SPA» оценка зависимости производительности коммутатора от количества его портов, технологии работы порта (Ethernet, Fast Ethernet) и матрицы средних значений интенсивностей трафиков между портами. На разработанной имитационной модели «Fast Ethernet» проведено исследование максимального и среднего времени ожидания в очереди, времени реакции разными методами управления потоком кадров в полудуплексном режиме. Выявлено, что метод агрессивного захвата среды является эффективнее, чем метод обратного давления на станцию сети.

**Ключевые слова:** информационно-телекоммуникационная система, коммутатор, маршрутизатор, порт, интенсивность трафика, время реакции, имитационная модель.

**Pakhomova V.N. The possibilities of upgrading the computer network of information-telecommunication system of Dnieper railway.** Modernization variants of the computer network of Dnieper railway, namely – the complete replacement of concentrators by commutators; the use of commutators and partial introduction of routers; the organization of VLANs on commutators; the integration of virtual networks by means of routers have been proposed. Appropriate simulation models, with the help of which the investigation of the average reaction time was carried out, have been developed in Cisco Packet Tracer. The best value gives the variant of the integration of virtual networks by routers: the utilization of switching within VLAN provides high-speed connection between workstations and servers, and routing between VLAN makes it possible to allocate resources and to reduce broadcast traffic. The evaluation of the dependency of commutator productive capacity on the quantity of its ports as well as the work technique of a port (Ethernet, Fast Ethernet) and a matrix of an average values of traffic intensity among the ports has been fulfilled with the help of the developed «SPA» model. The investigation of maximum and average time of waiting in a queue as well as the reaction time by means of different methods of frame flow control in a two-way alternative operation has been conducted with the help of the developed simulation model “Fast Ethernet”. It has been found out that the method of aggressive medium capture is more effective than the method of back pressure to the network station.

**Key words:** information-telecommunication system, switch, router, port, traffic intensity, reaction time, simulation model.

Рецензент д.т.н., професор Жуковицький І.В. (ДНУЗТ)

*Поступила 07.09.2015г.*

*Пахомова В.М., к.т.н., доцент кафедри ЕОМ, доцент, Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, Україна*

*Pakhomova V.N., candidate of techn. sciences, docent, Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Ukraine.*