

УДК 656.212.5:681.3

ПАХОМОВА В.М., к.т.н, доцент (ДНУЗТ);
ПОВОД В.В., студент (ДНУЗТ).

Логічна структуризація інформаційних мереж залізничного транспорту на основі комутаторів ETHERNET

Постановка проблеми

Стратегія інформатизації залізничного транспорту України на сучасному етапі передбачає створення єдиного інформаційного простору при забезпеченні інтеграції автоматизованих систем управління залізничною галуззю [1]. Цілий ряд лінійних підприємств використовує технологію ETHERNET, тому цілком обґрунтованим є подальша масштабованість відповідних мереж. Загальна структура такої гіпотетичної ме-

режі представлена на рис. 1 і припускає поєднання використання двох базових структур - стягнуту в точку магістраль, перевагами якої є висока продуктивність магістралі, а також її протокольна незалежність, і розподілену магістраль, яка скорочує вартість кабельної системи і долає обмеження на відстані [2]. Для з'єднання рівня лінійних підприємств (рівень 1) з рівнем залізниці (рівень 2) використовується FAST ETHERNET, для з'єднання рівня залізниці з рівнем Укрзалізниці (рівень 3) - GIGABIT ETHERNET.

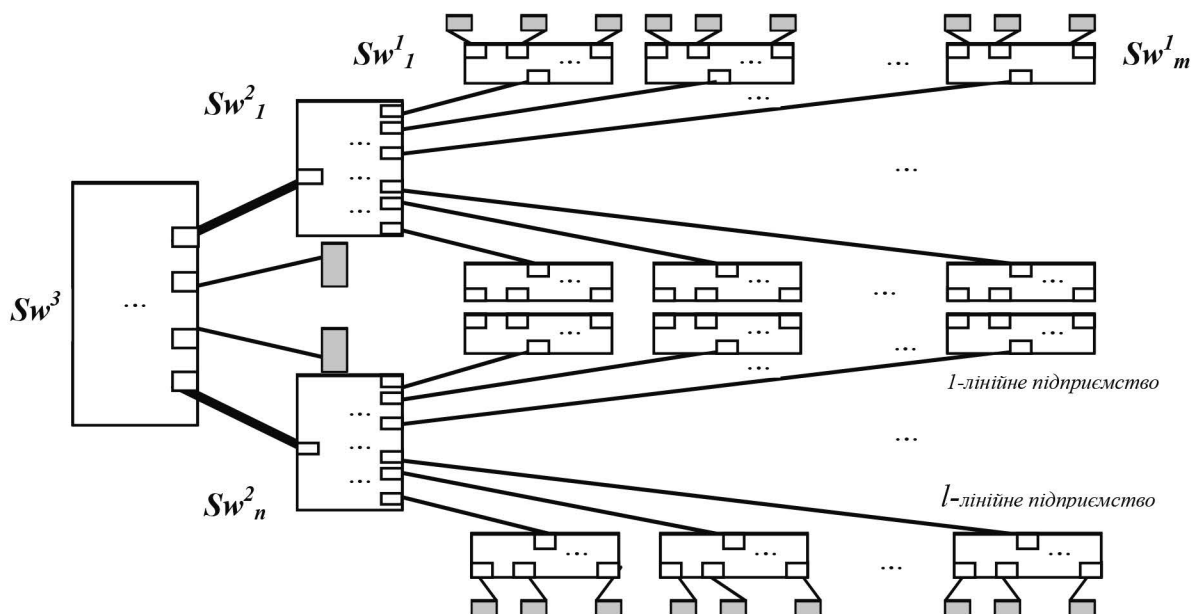


Рис. 1. Структура гіпотетичної мережі
ETHERNET/FAST ETHERNET/GIGABIT ETHERNET

Організація подібних зв'язків можлива завдяки використанню такого устаткування як комутатор (від англ. *switch*). Для підключення вже існуючих підприємств на залізничному транспорті можна організувати декілька підрівнів (наприклад, l -підрівнів), на кожному з яких встановлена певна кількість комутаторів (наприклад, m -комутаторів на першому рівні: $Sw^1_1, \dots, Sw^1_m$), кожен з яких має k -портів 10 Мб/с і один порт 100 Мб/с для зв'язку з рівнем залізниці. На рівні залізниці (рівень 2) потрібно n -комутаторів: $Sw^2_1, \dots, Sw^2_n$, кожен з яких має ml -портів 100 Мб/с і один порт 1000 Мб/с для зв'язку з рівнем Укрзалізниці. На верхньому рівні (рівень 3) можливе використання одного комутатора Sw^3 , у якого n -портів 1000 Мб/с і p -портів 100 Мб/с для підключення серверів (при необхідності).

Комутатор підвищує продуктивність і безпеку мережі, рятуючи інші сегменти мережі від необхідності обробляти дані, які їм не призначалися. Проте застосування комутаторів завжди породжує небезпеку втрати кадрів при передачі, тому одним з основних питань є питання управління потоком кадрів.

Аналіз публікацій

Відповідно до концепції інформатизації залізничного транспорту України [1] повинен бути здійснений перехід на трирівневу структуру керування зі створенням нової територіальної виробничої системи в схемі керування основною діяльністю залізничного транспорту. Необхідно зазначити, що інформаційну інфраструктуру залізничної галузі відрізняють неоднорідність, розподіленість на великій території й функціонування в реальному масштабі часу [1].

У мережах залізничного транспорту використовуються технології сімейства ETHERNET, в основі яких метод доступу до середовища передачі даних, званий методом колективного доступу з розпізнаванням несучої і виявленням колізій (Carrier Sense Multiply Access with Collision Detection, CSMA/CD) [3]. Метод CSMA/CD визначає основні тимчасові та логічні співвідношення, що гарантують коректну роботу всіх станцій у мережі. Формальна модель станції мережі при CSMA/CD розроблена та представлена в [4]. Крім того, розроблена відповідна імі-

таційна модель мережі ETHERNET (без використання комутаторів) [4]. Технологія FAST ETHERNET зберегла в недоторканості метод доступу CSMA/CD, залишивши в ній той же алгоритм і ті ж тимчасові параметри в бітових інтервалах (сам бітовий інтервал зменшився в 10 разів) [2].

Формулювання цілей статті

Так як втрати, навіть невеликої частки кадрів, звичайно набагато знижують корисну продуктивність мережі, то при перевантаженні 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 [2]. Ці прийоми засновані на тому, що кінцеві вузли строго дотримуються всіх параметрів алгоритму доступу до середовища, а порти комутатора - ні. Цілью даної статті є розробка формальних моделей роботи комутатора при використанні таких прийомів та відповідної імітаційної моделі FAST ETHERNET (з комутатором), за допомогою якої виконується аналіз характеристик мережі в повнодуплексному і напівдуплексному режимах.

Основний матеріал

1. Спосіб "гальмування" кінцевого вузла заснований на так званій агресивній поведінці порту комутатора при захопленні середовища після закінчення передачі чергового кадру або після колізії в напівдуплексному режимі роботи мережі [2], на підставі цього розроблена відповідна формальна модель роботи комутатора (рис. 2).

Діаграма, що представлена на рис. 2, є модифікацією діаграми із [3], в котру додані додаткові стани. Так наприклад, відбувається перехід у стан «Аналіз пере-

вантаження» для перевірки перевантаження мережі. Якщо воно є, то відбувається перехід у стан «Прискорена пауза», в якому установлюється тривалість паузи комутатора у 9,1 мкс (проти 9,6 мкс технологічної паузи станції) в технології ETHERNET, а також у 0,91 мкс (проти 0,96 мкс технологічної паузи станції) в технології FAST ETHERNET. Крім того, введений стан «Аналіз учасників колізії», якщо в конфлікт вовлечен комутатор MAC-підрівень переходить в стан «Зміна інтервала відстрочки», в якому для комутатора установлюється інтервал відстрочки в 50 мкс (проти інтервала відстрочки станції в 51,2 мкс) в технології ETHERNET, а також в 5 мкс (проти інтервала відстрочки станції в 5,12 мкс) в технології FAST ETHERNET, тим самим станції не вдається передати свій кадр.

2. Метод зворотного тиску (backpressure) використовується не для того, щоб розвантажити буфер процесора порту, безпосередньо пов'язаного з приданим вузлом, а розвантажити або загальний буфер комутатора (якщо використовується архітектура з роздільною загальною пам'яттю), або розвантажити буфер процесора іншого порту, в який передає свої кадри даний порт. Крім того, метод зворотного тиску може застосовуватися в тих випадках, коли процесор порту не розрахований на підтримку максимально можливого для протоколу трафіку [2].

Наприклад припустимо, в порт 1 постійно передаються дані з портів 2, 3 і 5. Якщо швидкості передачі по всіх портах однакові та рівні швидкості каналу, то після заповнення відповідних буферів кадри почнуть губитися - комутатор буде просто скидати знову приходячі кадри по портах 2, 3 і 5. Втрати кадрів означають, що за допомогою протоколу більш високого рівня, проводитиметься повторна передача кадрів. Для запобігання цього сучасні комутатори мають функціональну можливість контролю та керування потоками кадрів, що надходять у порти [2]. Для комутаторів ETHERNET/FAST ETHERNET

ця функція відома як зворотний тиск (BP, Back Pressure). Обмеженість вихідного каналу по порту 1 призводить до заповнення вхідних буферів на портах 2, 3 та 5. Вузол BP комутатора, виявляючи це, починає передачу порожніх кадрів в ті канали, від яких переповнюються вхідні буфери портів. Так, якщо переповнюється вхідний буфер по порту 2, то комутатор по-

силає пусті кадри, умисно створюючи колізії в цьому сегменті, в результаті яких зменшується потік кадрів від передавального пристрою в цьому сегменті. На підставі цього була розроблена формальна модель комутатора в напівдуплексному режимі при його зворотному тиску, яка представлена на рис. 3.

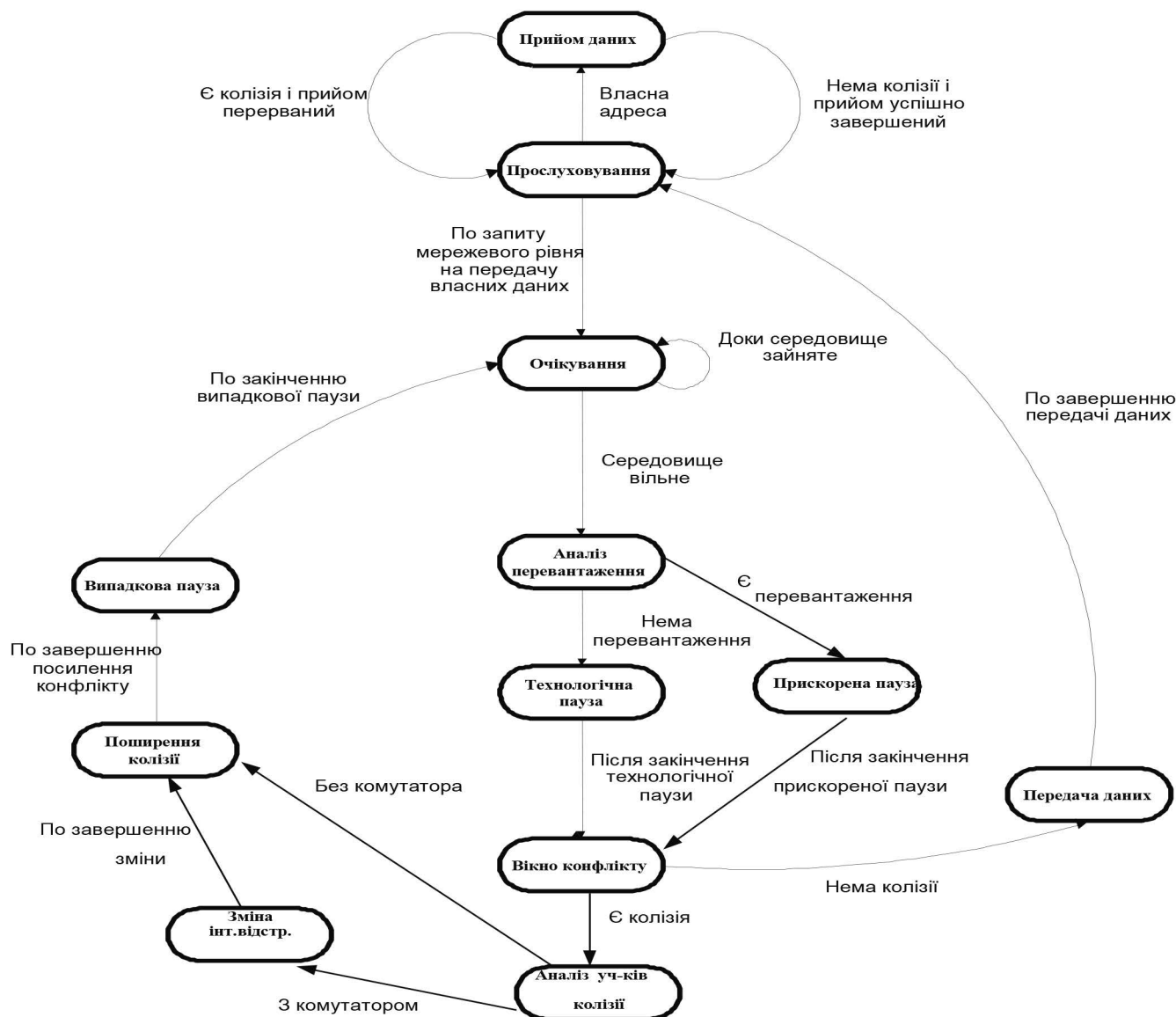


Рис. 2. Діаграма станів порта комутатора при агресивному захопленні середовища

Діаграма, що представлена на рис. 3, є модифікацією діаграми із [3], в котру додані додаткові стани. Так наприклад, відбувається перехід у стан «Аналіз перевантаження» для перевірки переванта-

ження комутатора і в залежності від цього вибираються наступні дії: якщо нема перевантаження, то перехід в стан «Технологічна пауза», а якщо є – до стану «Генерація порожніх кадрів». В цьому стані ко-

мутатор посилає порожні кадри у сегмент, від якого приходить дуже великий потік кадрів умисно створюючи штучні колізії, що гальмують його роботу (стан «Штучні

колізії»). Після пригальмування активності вузла повернення в стан «Технологічна пауза», щоб вичекати потрібний час для наступної передачі.

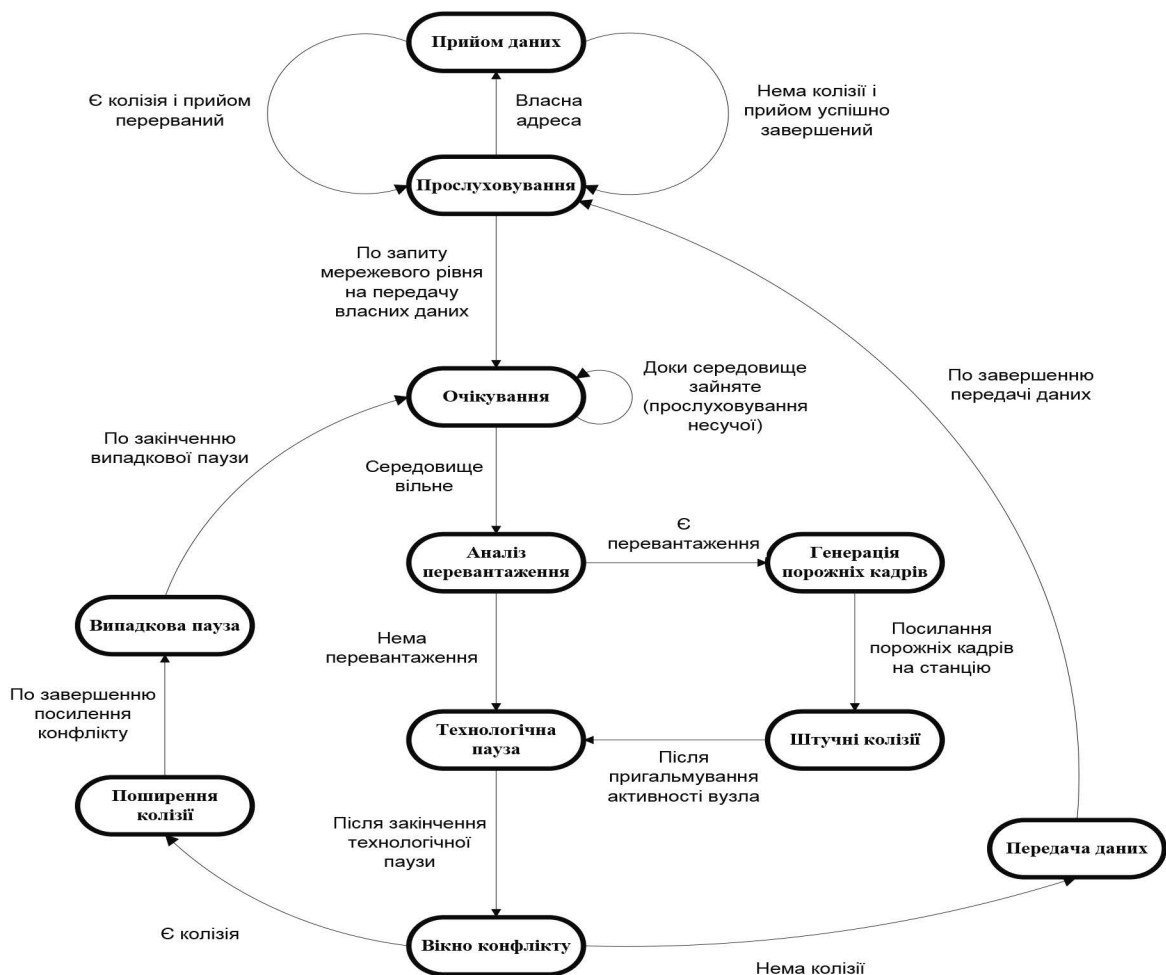


Рис. 3. Діаграма станів порта комутатора при його зворотньому тиску на станцію

3. При роботі в повнодуплексному режимі MAC-вузол не використовує метод доступу до середовища CSMA/CD. Відмова від алгоритму доступу до розподіленого середовища, веде до підвищення вірогідності втрат кадрів комутаторами. Для контролю за потоками кадрів, що направляються кінцевими вузлами в повнодуплексних версіях протоколів, використовуються дві команди - "Припинити передачу" і "Відновити передачу". Порт комутатора, що отримав команду "Припинити передачу", повинний

припинити передавати кадри до отримання команди "Відновити передачу" [2].

4. Структура імітаційної моделі (з комутатором). Для прикладу наведена структура програмної імітаційної моделі Fast Ethernet, яка представлена на рис. 4. Початкові параметри моделі: кількість станцій; інтенсивність надходження запитів; розмір кадру; режими роботи мережі (напівдуплексний, повнодуплексний); управління потоком кадрів при напівдуплексному режимі (метод агресивного захвату, метод зворотного тиску). Вхідна форма програмної моделі пред-

ставлена на рис. 5. Результуючі характеристики імітаційної моделі: гістограма динаміки перебування запитів в черзі;

максимальний час очікування запиту в черзі; середній час очікування запиту в черзі; час реакції мережі.

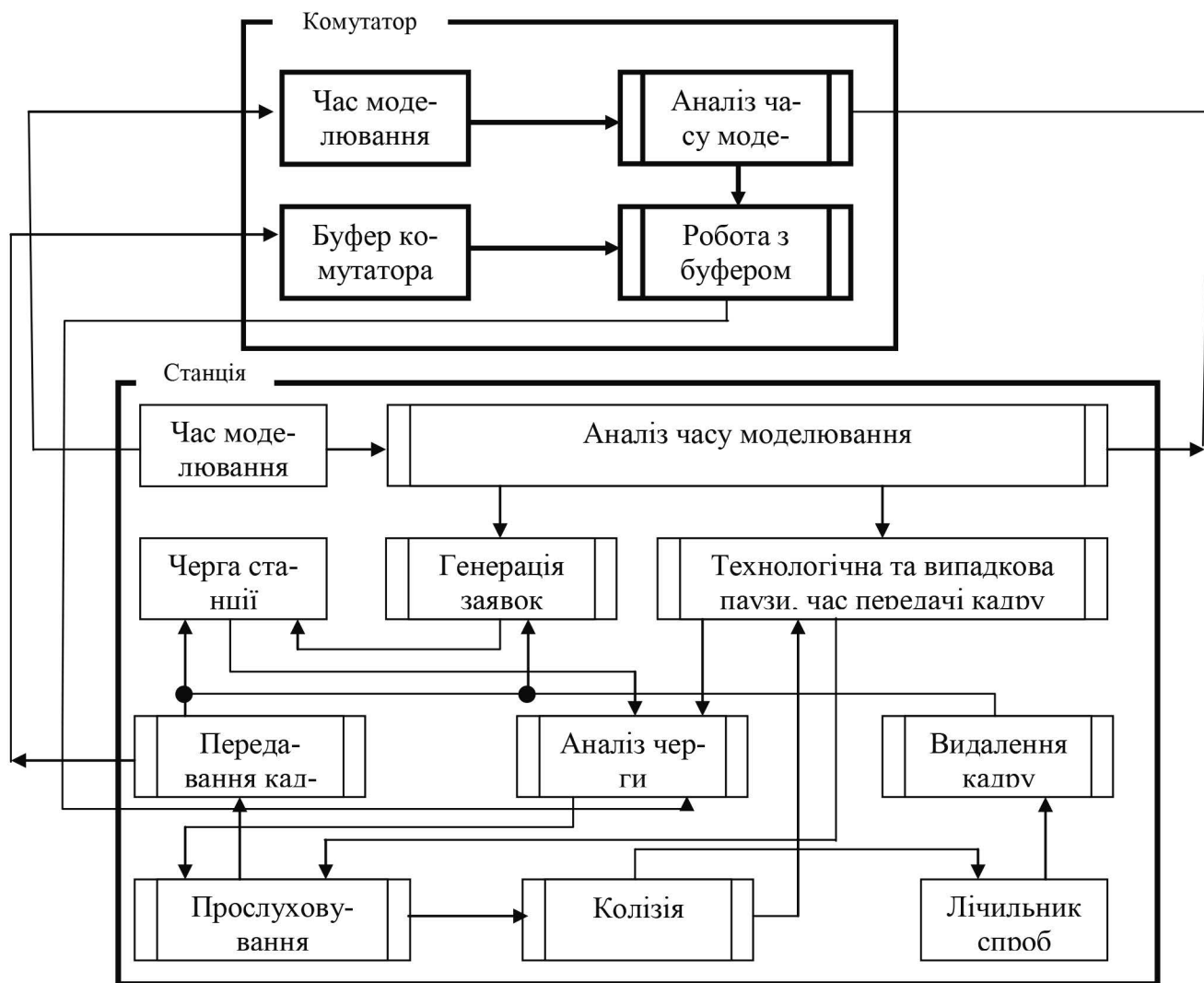


Рис. 4. Структура програмної імітаційної моделі *Fast Ethernet*

Для ознайомлення з процесом та результатами моделювання можна натиснути кнопку «Результати». Після натискання на цю кнопку у вікні моделі з'являться її вихідні характеристики (рис. 6). В режимі реального часу можна спостерігати за динамікою змін черг на станціях мережі, а якщо був вибраний один із методів керування потоком кадрів, то і за динамікою зміни черги у буфері комутатора. Після закінчення часу моде-

лювання виводяться всі результуючі характеристики.

Висновки і перспективи подальшого розвитку

У зв'язку із стратегією інформатизації залізничного транспорту України представлений один із можливих варіантів масштабування мереж технологій сімейства Ethernet з використанням відповідних комутаторів на рівнях лінійних підприємств, залізниці та Укрзалізниці. При

використанні комутатора однієї з основних його проблем є управління потоком кадрів як в повнодуплексному, так і в напівдуплексному режимах. У зв'язку з чим розроблені діаграми станів порту комутатора при напівдуплексному режимі за методами: агресивне захоплення середовища комутатором і зворотний тиск комута-

тора на кінцевий вузол, які покладені в основу програмної імітаційної моделі. Пропонована імітаційна модель надалі може бути використана для визначення параметрів/характеристик відповідних мереж в існуючих інформаційних системах залізничного транспорту.

The screenshot shows the 'Fast Ethernet' application window. It contains several configuration sections:

- Intensity of request arrival:** A dropdown menu set to '10000'.
- Simulation time (octet intervals):** A dropdown menu set to '50000'.
- Work mode:** Radio buttons for 'Полудуплексный' (selected) and 'Полнодуплексный'.
- Equipment:** Radio buttons for 'С коммутатором' (selected) and 'Без коммутатора'.
- Frame management:** Radio buttons for 'Агрессивный захват среды' and 'Метод обратного давления' (selected).
- Frame length (without header):** Radio buttons for 'Случайная' (selected), 'Минимальная', and 'Максимальная'.
- Current simulation time (octet intervals):** A text box displaying '50000'.
- Log window:** A scrollable area showing simulation events:
 - Станция 4 передает заявку в 701 октет станции 1. Её длина очереди: 205, она передала: 42 заявок.
 - Станция 2 передает заявку в 1363 октет станции 5. Её длина очереди: 29, она передала: 20 заявок.
 - Количество станций из домена 2 в коллизии: 2.
 - Станция 4 передает заявку в 792 октет станции 5. Её длина очереди: 204, она передала: 43 заявок.
 - Станция 4 передает заявку в 1391 октет станции 2.
- Buttons:** 'Запуск', 'Результаты', 'LOG', and 'Выход'.

Рис. 5 .Вхідна форма програмної моделі *Fast Ethernet*

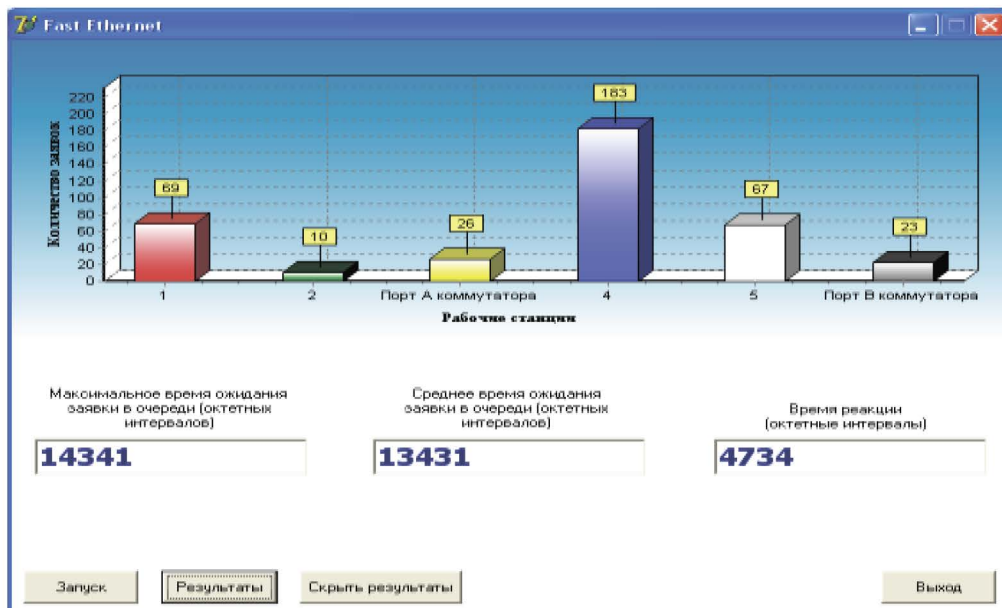


Рис. 6. Вихідна форма програмної моделі *Fast Ethernet*

Список літератури

1. *Проект* концепції програми інформатизації залізничного транспорту України.
2. *Олифер, В.Г.* Компьютерные сети. Принципы, технологии, протоколы [Текст] / В.Г. Олифер, Н.А. Олифер. – СПб: Питер, 2001. – 672 с.
3. *Гост 34.913.3-91.* Локальные вычислительные сети. Метод случайного доступа к шине и спецификация физического уровня. – М.: Изд-во стандартов, 1992. – 303 с.
4. *Пахомова, В.Н.* Модифицированная имитационная модель ЛВС при коллективном доступе с опознаванием несущей и обнаружением коллизий [Текст] / В.Н. Пахомова, К. Рэу // Информ.-керуючі системи на залізничн. транспорті. – 2001. – № 4. – С. 87–92.

Анотації:

Представлений один із можливих варіантів масштабованості мереж технологій сімейства ETHERNET з використанням відповідних комутаторів на рівнях лінійних підприємств, залізниці та Укрзалізниці. Розроблена імітаційна модель мережі з комутатором, в основу якої покладені діаграми станів порту комутатора при напівдуплексному

режимі за методами: агресивне захоплення середовища комутатором і зворотний тиск комутатора на кінцевий вузол, для визначення характеристик мереж в напівдуплексному та повнодуплексному режимах.

Ключові слова: логічна структуризація, комутатор, агресивне захоплення, зворотний тиск

Представлен один из возможных вариантов масштабируемости сетей технологий семейства ETHERNET с использованием соответствующих коммутаторов на уровнях линейных предприятий, железной дороги и Укрзализныци. Разработана имитационная модель сети с коммутатором, в основу которой положены диаграммы состояний порта коммутатора при полудуплексном режиме по методам: агрессивный захват среды коммутатором и обратное давление коммутатора на конечный узел, для определения характеристик сетей в полудуплексном и полнодуплексном режимах.

Ключевые слова: логическая структуризация, коммутатор, агрессивный захват, обратное давление

One of possible variants of scalability of networks of technologies of family of ETHERNET is presented with the use of corresponding switches on the levels of linear enterprises, railway and UkrRailroad. The simulation model of network is worked out with a switch, in basis of which bubble of port of switch diagrams are fixed at the halfduplex mode after methods: aggressive capture of environment by a switch and reverse pressure of switch on an eventual site, for determination of descriptions of networks in halfduplex and fullduplex modes.

Keyword: logical structuring, switch, aggressive capture, reverse pressures