

І.В. Жуковицький, В.М. Пахомова, О.С. Литвинов  
**НЕОБХІДНІСТЬ УЗГОДЖЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ АТМ З  
ТЕХНОЛОГІЯМИ ЛОКАЛЬНИХ МЕРЕЖ В  
ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМАХ НА ЗАЛІЗНИЧНОМУ  
ТРАНСПОРТІ**

*Анотація.* Складена формальна модель рівня адаптації AAL за алгоритмом RED. Розроблена імітаційна модель АТМ з використанням складеної діаграми станів. Проведені відповідні дослідження на імітаційній моделі.

*Ключові слова:* чарунка АТМ, рівень адаптації AAL, алгоритм RED

**Постановка проблеми**

У зв'язку з інформатизацією на залізничному транспорті України необхідно забезпечити вихід існуючих локальних мереж до глобальних відповідно до концепції програми. Технологія АТМ (Asynchronous Transfer Mode) може бути використана основою для побудови як локальних, так і глобальних мереж, вона практично не має звичних для локальних мереж обмежень, забезпечує передачу даних між робочими станціями однієї мережі та через глобальну мережу без зміни формату кадру, має гарну здатність до масштабування, виникнення нових видів послуг, змін вимог користувача щодо якості обслуговування [1]. У порівнянні з повною заміною існуючої локальної мережі новою мережею АТМ доцільніше «поступове» упровадження технології АТМ в існуючі мережі. При такому підході фрагменти мережі, що працюють за технологією АТМ, могли б співіснувати з іншими частинами мережі, які побудовані на основі традиційних технологій, таких як Ethernet або FDDI, поліпшуючи характеристики мережі, там де це потрібно, і залишаючи мережі робочих груп у колишньому виді. Таким чином, виникла необхідність способу узгодження технології АТМ з технологіями локальних мереж.

**Аналіз публікацій по темі дослідження**

Мережа АТМ має класичну ієрархічну структуру великої територіальної мережі: кінцеві станції з'єднуються індивідуальними ліні-

ями зв'язку з комутаторами нижнього рівня, які, у свою чергу, з'єднуються з комутаторами більш високих рівнів. Для мереж АТМ визначений протокол маршрутизації PNNI (Private Network Node Interface), за допомогою якого комутатори можуть будувати таблиці маршрутизації автоматично. Адреси АТМ мають ієрархічну структуру, що забезпечує масштабованість мереж АТМ до будь-якого рівня [8].

В технологіях локальних мереж спільне середовище між абонентами використовується постійно, а технологія АТМ є орієнтованою на з'єднання. Окрім цього, користувач може сам встановити основні параметри якості обслуговування, які необхідні йому для передачі певного виду трафіку. Гарантування високої ефективності роботи мережі навіть у тому випадку, коли багато користувачів зажадають для себе максимальних ресурсів, відбувається за рахунок процедури встановлення трафік-контракту, яка передує будь-якій передачі. Якщо в мережі немає необхідних ресурсів, які б забезпечили вимоги користувача, то віртуальне з'єднання не встановлюється. Якщо під час трафік-контракту користувач не вказує ті чи інші параметри, йому виділяються ресурси, встановленні по замовчанню адміністратором мережі [2].

Стандарт АТМ не вводить свої специфікації на реалізацію фізичного рівня. Початкова швидкість доступу користувача до мережі - 155 Мбіт/с. Магістральне устаткування АТМ працює й на більш високих швидкостях - 622 Мбіт/с і 2,5 Гбіт/с.

Для обслуговування різного виду трафіка в технології АТМ передбачено використання чотирьох класів обслуговування, що надає можливість підбирати оптимальні параметри роботи мережі відповідно до типу даних, що передаються [1, 3, 4]. Характеристики всіх класів, позначення відповідних типів рівня адаптації й приклади їхнього використання наведені у табл. 1.

Таблиця 1

Характеристики класів обслуговування АТМ

Клас обслуговування	А	В	С	Д
Параметр				
Тип протоколу рівня адаптації	AAL1	AAL2	AAL3	AAL4

			AAL5 (SEAL)
Синхронізація	Потрібна		Не потрібна
Швидкість передачі даних	Постійна	Змінна	
Режим послуг	З встановленням з'єднання		Без встановлення з'єднання
Приклади використання	Емуляція речового каналу	Відео	Передача комп'ютерних даних

Кадр АТМ має довжину 53 байта, невеликий і фіксований розмір кадру АТМ дав йому спеціальну назву - чарунка [1, 2, 8]. Рівень адаптації ААL (ATM Adaptation Layer) являє собою набір протоколів ААL1–ААL5, які перетворюють повідомлення протоколів верхніх рівнів мережі АТМ в чарунки формату АТМ. Функції цих рівнів досить умовно відповідають функціям транспортного рівня моделі OSI.

Кожен протокол рівня ААL обробляє трафік певного класу. Протоколи ААL для виконання своєї роботи використовують службову інформацію, розташовану в заголовках рівня ААL. Після прийому чарунок, що прийшли по віртуальному каналу, протокол ААL збирає послане по мережі вихідне повідомлення за допомогою заголовків ААL, які для комутаторів АТМ є прозорими [1, 9].

Протокол АТМ виконує комутацію чарунки по номеру віртуального каналу та по номеру віртуального шляху. Крім рішення цього основного завдання, протокол АТМ виконує ряд функцій по дотриманню трафік-контракту з боку користувача мережі, маркуванню «чарунок-порушників», їх киданню при перевантаженні мережі, а також керуванню потоком чарунок для підвищення продуктивності мережі [9]. Формат чарунки АТМ рівня представлений на рис. 1.



Рисунок 1 – Формат чарунки АТМ

*Умовні позначення:* GFC (Generic Flow Control) - поле узагальненого керування потоком; VPI (Virtual Path Identifier) - поле ідентифікатора віртуального шляху; VCI (Virtual Channel Identifier) - поле ідентифікатора віртуального каналу; PTI (Payload Type Identifier) - поле ідентифікатора типу даних; CLP (Cell Loss Priority) - поле пріоритету втрати кадру (чарунка з полем CLP=0 - високопріоритетна, чарунка з CLP=1 - низькопріоритетна); HEC (Header Error Control) - поле керування помилками (містить контрольну суму, обчислену для заголовка чарунки; контрольна сума обчислюється за допомогою техніки коригувальних кодів Хеммінга, тому вона дозволяє не тільки виявляти помилки, але й виправляти всі одиночні помилки, а також деякі подвійні).

#### Формулювання цілей статті

Вивчити алгоритм RED та скласти відповідну формальну модель рівня адаптації AAL. Розробити імітаційну модель ATM з використанням діаграми станів рівня адаптації AAL за алгоритмом RED та провести дослідження.

#### Основна частина

1. *Алгоритм RED* в мережах ATM використовує прихований зворотній зв'язок для повідомлення про перевантаження шляхом вибіркового знищення чарунок користувача. Замість того, щоб чекати перевантаження і переповнення буферу, наслідком чого стане знищення всіх даних, що надходять, RED знищує частину чарунок. Їх кількість і частота знищення визначаються параметром, що має назву ймовірність знищення. Цей параметр розраховується кожен раз у відповідності до поточного стану ресурсів комутатора ATM, тобто фактично визначається довжиною черги на обслуговування трафіка в мережі ATM [10]. Середня довжина черги визначається наступним чином

$$\bar{d} = \left(1 - \frac{1}{2^n}\right) \cdot d_{i-1} + \frac{1}{2^n} \cdot d_i, \quad (1)$$

де  $\bar{d}$  – середня довжина черги,  $d_{i-1}$  – довжина черги на попередньому підрахунку;  $d_i$  – поточна довжина черги;  $n$  – ваговий коефіцієнт ( $n \geq 1$ ), який визначає адміністратор мережі.

Якщо  $\bar{d} < d_{\min}$ , то чарунка, яка надходить, буде обслуговуватися АТМ-комутатором. Якщо  $d_{\min} < \bar{d} < d_{\max}$ , то потрібно знищувати деяку частину чарунок. Доля чарунок, що будуть знищуватись, визначається значенням ймовірності знищення, яке розраховується у відповідності з станом ресурсів комутатора. Перерахування ймовірності знищення та сам процес знищення чарунок буде відбуватися до тих пір, поки  $\bar{d} < d_{\min}$  [5, 10]. Ймовірність знищення чарунок підраховується за формулою

$$p = \frac{P_{\max}}{1 + k \cdot \left( P_{\max} \cdot \frac{\bar{d} - d_{\min}}{l} \right) \cdot \frac{l}{d_{\max} \cdot l_{\max}}}, \quad (2)$$

де  $p$  – ймовірність знищення чарунок;  $P_{\max}$  – максимальна ймовірність знищення чарунок;  $k$  – кількість чарунок, що є в черзі на момент останнього знищення;  $l$  – довжина пакету протоколу, інкапсульованого в АТМ;  $l_{\max}$  – максимальна довжина пакету, інкапсульованого в АТМ;  $d_{\max}$  – максимально припустиме значення довжини черги;  $d_{\min}$  – мінімально припустиме значення довжини черги.

Якщо  $\bar{d} \geq d_{\max}$ , то чарунка, яка надійшла на вхід комутатора, обов'язково буде знищена. Як видно з формул, ймовірність знищення чарунок залежить від довжини інкапсульованих пакетів. Відповідно, великі пакети (наприклад, при перекачуванні файлів по FTP) будуть знищуватись частіше, ніж маленькі (наприклад, ті, що передаються по Telnet). В мережах АТМ використовуються дві модифікації алгоритму RED: С-RED (Cell RED) працює з кожною чарункою; Р-RED (Packet RED) – з групою чарунок [5].

Серед недоліків алгоритму RED при роботі в мережі АТМ слід відзначити наступний. RED відкидає лише одну або декілька чарунок з тих, які утворюють вихідний пакет. Передача по мережі інших чарунок (неповного пакету) продовжується, вони будуть знищені лише в приймачі на рівні адаптації. Цю проблему дозволяє вирішити алгоритм PPD (Partial Packet Discard), який забезпечує видалення неповних пакетів. В алгоритмі RED ймовірність знищення пакету є функцією від його довжини. Розміри пакетів, які передаються, визнача-

ються динамічно в процесі передачі через АТМ-комутатор. Оскільки визначити розмір ще не прийнятого пакету неможна, то його вважають рівним розміру останнього пакету, що був прийнятий по даному віртуальному каналу. Таким чином, можна використовувати залежність знищення чарунки від кількості чарунок [10].

У випадку широкого діапазону коливання навантаження алгоритм RED може не відреагувати на переповнення буферу, тому він звичайно застосовується з алгоритмом попередження перевантажень EPD (Early Packet Discard). Алгоритм EPD здійснює не вибіркоче знищення однієї чарунки, а відкидає цілий пакет, що дозволяє різко знизити навантаження на АТМ-комутатор.

При появі першої чарунки АТМ-комутатор аналізує (використовуючи поле РТІ заголовку), чи є вона першою чарункою пакету. Якщо чарунка є початком пакету, АТМ-комутатор перераховує середню довжину черги  $\bar{d}$  (перерахування здійснюється лише для першої чарунки пакету). Якщо  $\bar{d} \leq d_{\min}$ , то ця і всі наступні чарунки, що належать цьому пакету, будуть по мірі надходження обслуговуватися АТМ-комутатором. Якщо  $d_{\min} < \bar{d} < d_{\max}$ , то підраховується ймовірність знищення чарунок, система переходить до стану знищення чарунок з частотою, визначеною ймовірністю знищення.

Основним плюсом алгоритму RED є можливість підрахування для кожного віртуального з'єднання ймовірності знищення чарунок в залежності від розміру пакету, що передається по даному віртуальному з'єднанню. Чим більше пакети, тим вища ймовірність їх знищення. Це дозволяє справедливо розподілити смугу пропуску між потоками даних різних користувачів, що не можна зробити, використовуючи алгоритми EPD/PPD самостійно. Нарешті, якщо  $\bar{d} > d_{\max}$ , то в роботу відразу включається алгоритм EPD, який дозволяє швидко й ефективно зняти перевантаження шляхом одночасного знищення великої кількості чарунок.

2. *Діаграма станів рівня адаптації AAL технології АТМ* створена на основі аналізу стандарту [5 – 7] і представлена на рис. 2.



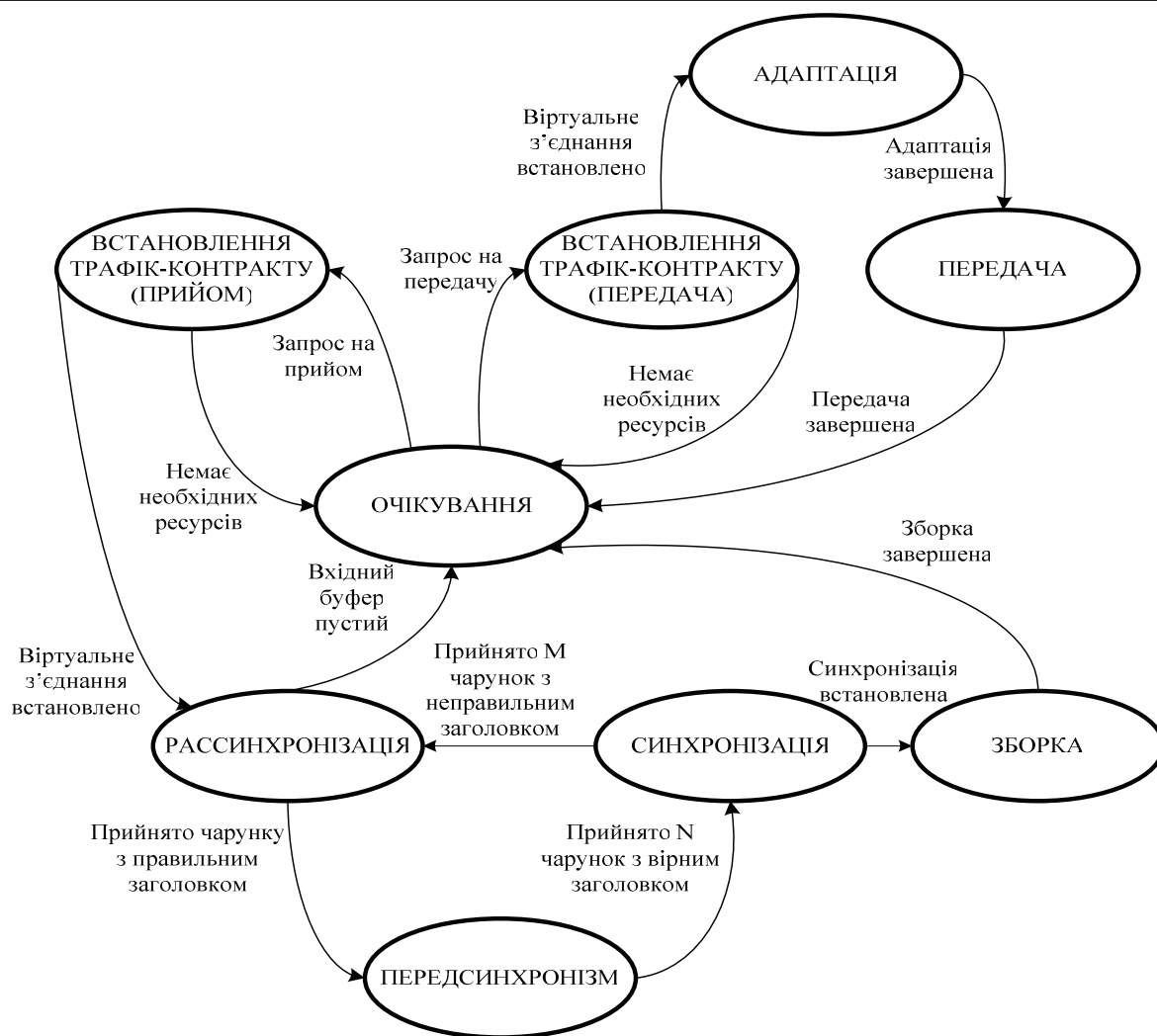


Рисунок 2 – Діаграма станів рівня адаптації AAL

Більшу частину свого часу рівень адаптації проводить у стані «Очікування». Цей стан характеризується відсутністю вимог на передачу або прийом інформації. З цього стану можливими є два переходи – для передачі або для прийому даних. Причому прийом і передача даних можуть відбуватися одночасно.

Так як технологія ATM є орієнтованою на з'єднання, то будь якій взаємодії між абонентами передуює процедура встановлення віртуального з'єднання, або заключення трафік-контракту. Якщо поступила вимога на передачу інформації, відбувається перехід з стану «Очікування» до стану «Встановлення трафік-контракту (передача)». Основною метою перебування в цьому стані, є встановлення віртуального з'єднання, через яке буде відбуватися взаємодія. Встановлення віртуального з'єднання відбувається шляхом обміну між абонентами спеціальними керуючими чарунками, у яких ініціатор посилає необ-

хідні йому параметри якості обслуговування, одержувач перевіряє, чи може в даний момент забезпечити заявлений рівень вимог, якщо на даний момент часу вільних ресурсів немає, віртуальне з'єднання не встановлюється і рівень адаптації повертається до стану «Очікування». Якщо віртуальне з'єднання успішно встановлюється, відбувається перехід у стан «Адаптація». Основною метою перебування в цьому стані є розбиття інформації на АТМ-чарунки, формування та додавання до них АТМ-заголовку. Після того, як інформація розбита на АТМ-чарунки, відбувається перехід до стану «Передача». Після завершення передачі рівень адаптації повертається до стану «Очікування».

Коли з'являється вимога на прийом даних, відбувається перехід зі стану «Очікування» до стану «Встановлення трафік-контракту (прийом)». Як і для передачі, в цьому стані встановлюється віртуальне з'єднання. Якщо вільних ресурсів у мережі на даний час немає, то рівень адаптації повертається до стану «Очікування». Якщо ж з'єднання успішно встановлене, то відбувається перехід до стану «Рассинхронізація». Під час перебування в цьому стані, мережа виконує побітовий прийом і порівняння прийнятих даних із перевіроючим байтом (п'ятий байт заголовку чарунки використовується для перевірки коректності заголовку і для виправлення одинарних помилок). Якщо виконується відповідальність прийнятої інформації та перевіроючого байта, то система переходить до стану «Передсинхронізм». У цьому стані відбувається прийом і перевірка чарунок до тих пір, доки кількість правильно прийнятих послідовно чарунок не досягне рівня входження у стан «Синхронізація» (рівень входження у синхронізм визначається адміністратором мережі), у якому відбувається прийом інформації, передача даних на «Зборку» та формування з АТМ-чарунок вихідного повідомлення. При послідовному прийнятті деякої кількості чарунок, у яких заголовок неправильний, відбувається перехід у стан «Рассинхронізація». Коли у вхідному буфері закінчуються дані, відбувається повернення у стан «Очікування».

*3. Імітаційна модель АТМ.* Структура програмної імітаційної моделі АТМ представлена на рис. 3, її основу складають наступні підсистеми: «Центральний комутатор», «Транзитний комутатор», «Робочі станції» (їх чотири). Основна функція підсистеми «Робочі станції» - це генерація потоку заявок із заданою інтенсивністю та довжиною.



Кожна з робочих станцій підключена до свого транзитного комутатора (тобто кількість портів транзитного комутатора дорівнює кількості станції в групі). Основною задачею підсистеми «Транзитний комутатор» є моделювання адаптації інформації від протоколів верхнього рівня (розбиття інформації на АТМ-чарунки) при передачі та зборка вихідного повідомлення з АТМ чарунок при прийомі. Усі транзитні комутатори підключені до центрального комутатора. Основною функцією підсистеми «Центральний комутатор» є передача потоку АТМ-чарунок з вхідного до вихідного буферів, на вході та виході цієї підсистеми інформація представляє собою потік АТМ-чарунок.

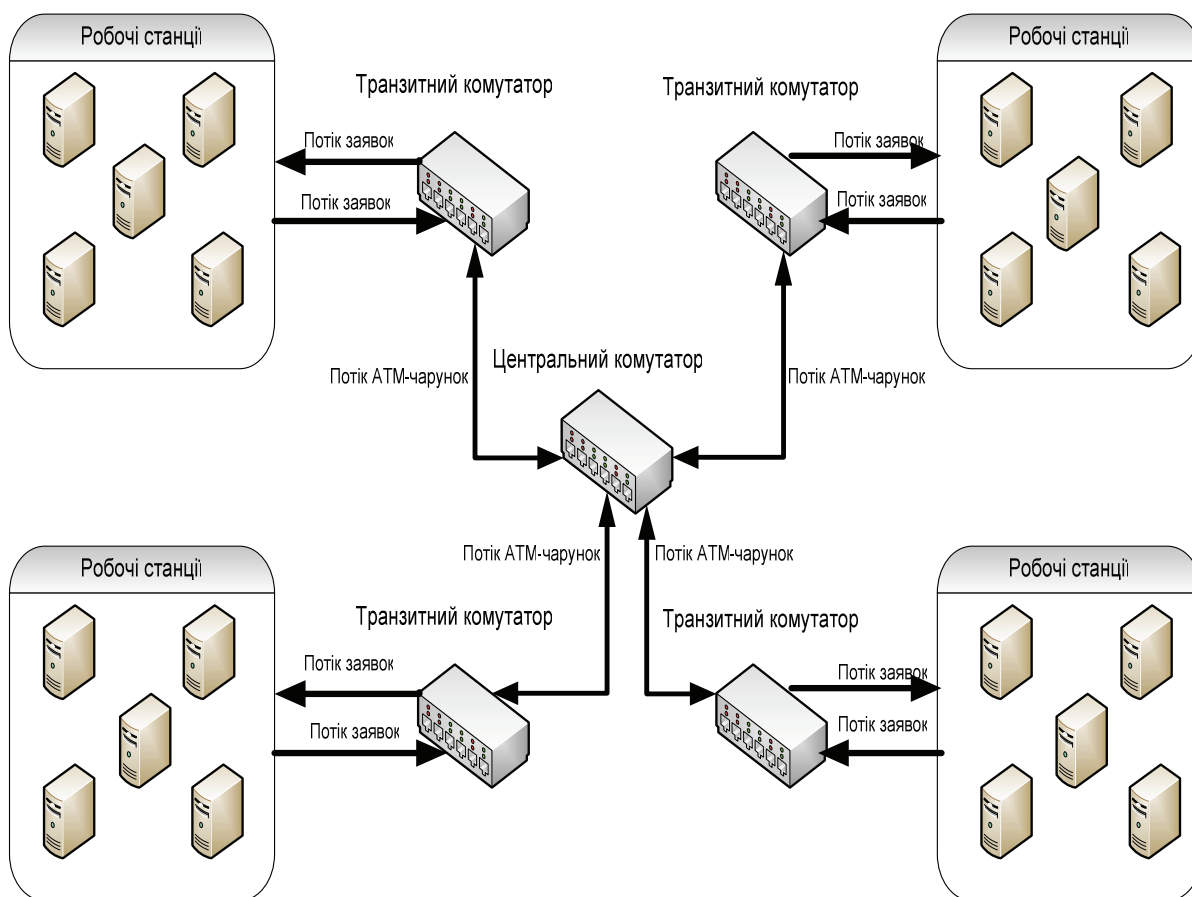


Рисунок 3 – Структура програмної імітаційної моделі АТМ

Усі класи, що використовуються у програмній імітаційній моделі АТМ, та зв'язки між ними представлені на рис. 4.

Клас `test` реалізує безкінечний буфер, організований за принципом FIFO; методи класу: додавання елемента в буфер, вибір елемента з буферу, засоби синхронізації, які не дозволяють декільком потокам одночасно записувати дані в буфер; отримання елемента з максимальним і мінімальним часом очікування у черзі. Клас `test2` реалі-

зує елемент буфера і має такі атрибути: поле даних, довжина, ідентифікатори комутатора та порту комутатора одержувача, ідентифікатор групи, що використовується при адаптації та зборці вихідного повідомлення. Клас *fop* реалізує робочу станцію та містить такі атрибути: інтенсивність надходження заявки, їх довжина; методи класу: генерація заявок та номера абонента одержувача. Клас *tk* реалізує транзитний комутатор, основними його полями являються вхідні та вихідні буфери, кількість яких дорівнює кількості портів транзитного комутатора, та системний час. Методи класу: адаптація інформації та передача її до центрального комутатора, зборка та передача інформації до робочих станцій при прийомі. Клас *ск* реалізує центральний комутатор, основними його полями являються масив буферних елементів, кількість яких дорівнює кількості транзитних комутаторів, та системний час. Основним методом класу центрального комутатора є комутація потоку АТМ-чарунок з вхідного буфера у вихідний, передача його до транзитного комутатора.

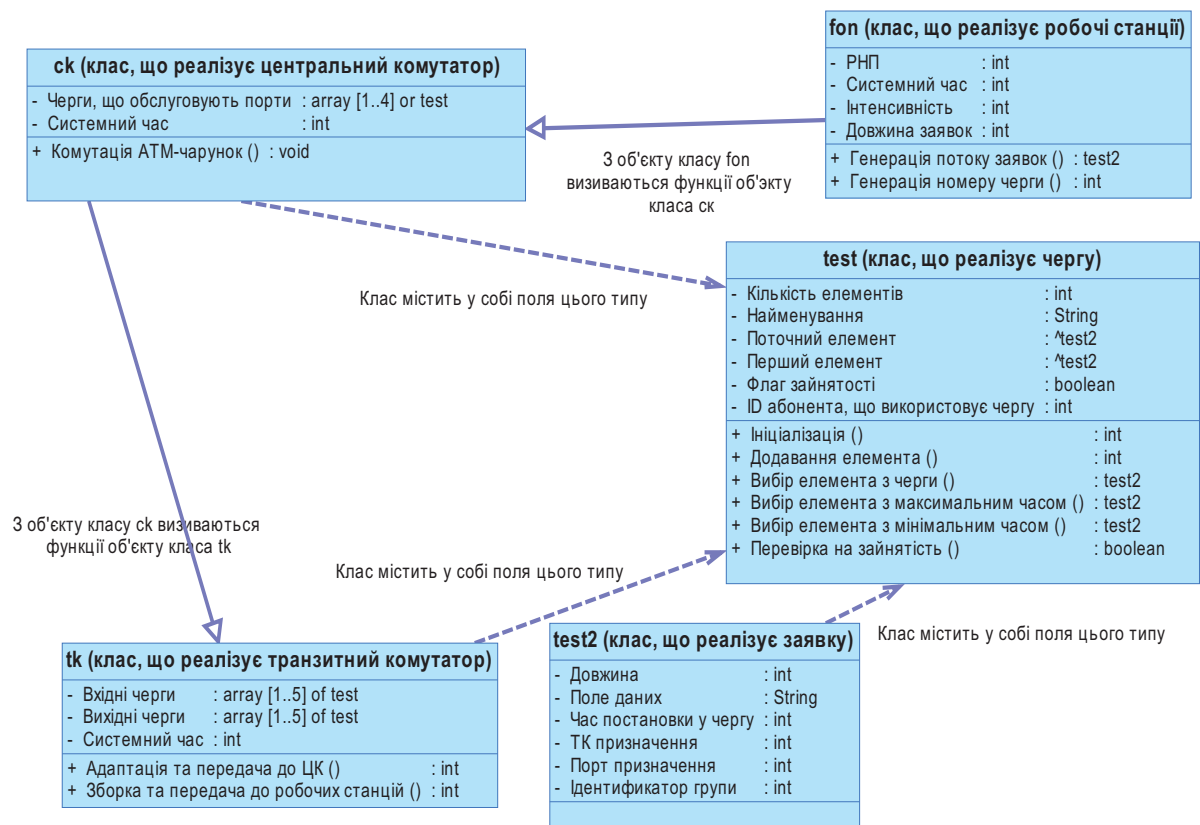


Рисунок 4 – Взаємодія класів програмної імітаційної моделі АТМ

Обмеження на програмну імітаційну модель АТМ: кількість робочих станцій в групі (5 шт.); інтенсивність надходження заявок

від робочих станцій (1000 – 2000 запит/с); довжина заявок (72 – 500 байт); максимальний час опитування черг у центральному комутаторі (700 – 800 мкс).

Вхідні параметри моделі АТМ поділяються на три групи. Перша група (параметри груп робочих станцій): інтенсивність та закон надходження заявки, їх довжина. Друга група (параметри транзитних комутаторів): кількість портів транзитного комутатора, рівень реакції на постановку. Третя група (параметри центрального комутатора): максимальний час опитування черг центрального комутатора.

Під час моделювання ведеться побудова графіку довжини черги вихідного буферу транзитного комутатора від часу (у режимі реального часу). Зупинивши моделювання, видаються наступні результати: середня довжина вихідного буферу транзитного комутатора (елементів), середній час передачі повідомлення (мкс), середній час затримки повідомлення у вхідному буфері транзитного комутатора (мкс). Змінюючи комбінації вхідних параметрів, можна досліджувати їх вплив на вихідні характеристики.

Результати моделювання представлені у вигляді графіка та розраховані значення середньої довжини вихідного буферу транзитного комутатора, середнього часу передачі повідомлення та середнього часу затримки повідомлення у черзі транзитного комутатора (графічний режим, рис. 5). Отримання інформації про роботу мережі у текстовому вигляді, де вказані усі події, що відбувалися, та час їх настання; з виконанням пошуку по часу та по строковому шаблону (текстовий режим, рис. 6).

Проведені дослідження на імітаційній моделі АТМ. Визначено, що при збільшенні інтенсивності на 100 % (при постійній довжині заявки) незначно збільшується середня довжина черги вихідного буферу транзитного комутатора (від 3.12 до 5.22), але практично не змінився середній час передачі повідомлення (від 7728 до 7754 мкс) та середній час затримки повідомлення у вхідному буфері транзитного комутатора (від 6973 до 6990 мкс). Крім того, проведені дослідження в режимах мінімальної і максимальної довжини заявки (при незмінній інтенсивності надходження заявок від робочих станцій). Визначено, що при збільшенні довжини заявки (від 72 до 500 байт) збільшуються: середня довжина вихідного буфера транзитного комутатора (від 3.12 до 11.75 елементів); середній час затримки повідом-

лення в вихідному буфері транзитного комутатора (від 6970 до 11100 мкс); середній час передачі повідомлення (від 7730 до 11536 мкс).

### Висновки й перспективи подальших досліджень

Результатом тенденції злиття локальних і глобальних мереж стала поява технології ATM, що увібрала в себе їх сильні сторони: орієнтацію на з'єднання, використання кадрів невеликого розміру фіксованої довжини, що дозволяє забезпечувати нетривалу затримку навіть в моменти високого навантаження на мережу, можливість на-строювати параметри мережі для передачі того чи іншого типу трафіку, наявності декількох класів якості обслуговування.

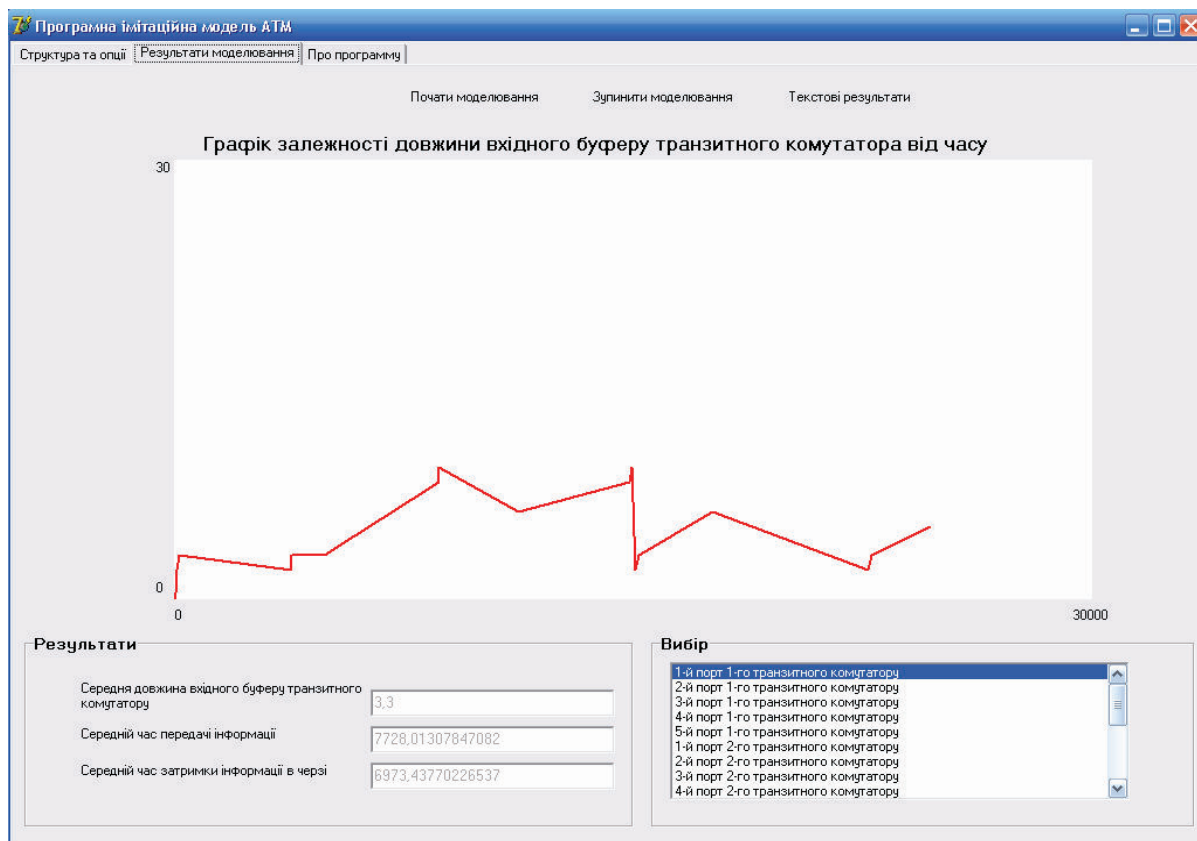


Рисунок 5 – Результати роботи імітаційної моделі ATM (графічний режим)

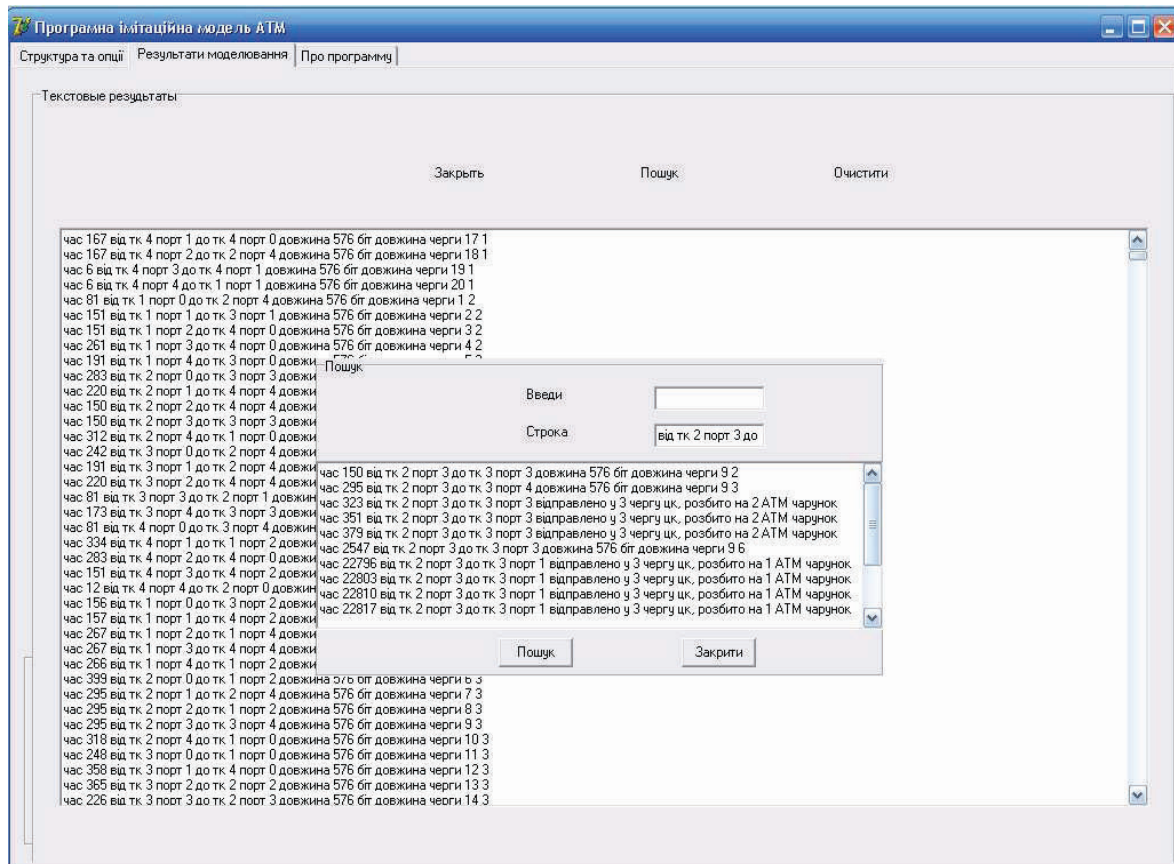


Рисунок 6 – Результати роботи імітаційної моделі АТМ  
(текстовий режим)

В АТМ передбачені алгоритми, які допомагають забезпечити високу полосу пропускання, і вберегти мережу від перевантажень. Одним з них є алгоритм RED, який у випадку перевантаження, знищую чарунки (одну або групу) з низьким пріоритетом. Існує дві модифікації алгоритму RED: C-RED працює з кожною чарункою окремо, P-RED працює з групою чарунок.

Складена діаграма станів рівня адаптації технології АТМ, яка покладена в основу розробленої імітаційної моделі АТМ. Вхідні параметри моделі: інтенсивність прибуття заявок, довжина заявок, рівень реакції на постановку транзитного комутатора, час циклу опиту черг центрального комутатора. Вихідні характеристики моделі: середня довжина вихідного буфера транзитного комутатора, середній час передачі повідомлення, середній час затримки повідомлення в черзі вихідного буфера транзитного комутатора.

4. Проведені дослідження на імітаційній моделі АТМ. Визначено, що збільшення інтенсивності на 100 % майже не впливає на зміну вихідних параметрів. При збільшенні довжини заявок з 27 до

500 байт, збільшилися наступні параметри: середня довжина вихідного буфера в 4 рази; середній час передачі повідомлення у 1.5 рази; середній час затримки повідомлення в вихідному буфері транзитного комутатора у 1.6 рази.

### ЛІТЕРАТУРА

1. Олифер, В. Г. Комп'ютерні мережі. Принципи, технології, протоколи: підручник для вчз. [Текст] / В. Г. Олифер, Н.А. Олифер. – СПб: Пітер, 2010. – 944 с.
2. Галкін, В. А.. Телекомунікації і мережі [Текст] / В. А. Галкін. – М.: МГТУ ім. Н. Е. Баумана, 2003.
3. Microsoft Certified System Engineer [Електронний ресурс] / сайт інтернет-стандартів <http://network.xsp.ru/index>
4. Сервер систем зв'язку PBxlib [Електронний ресурс] / сайт компанії PBxlib <http://www.pbxlib.com.ua>
5. ATM Forum [Електронний ресурс] / сайт організації ATM Forum <http://atmforum.com>
6. Network management & security [Електронний ресурс] / сай компанії JAVVIN
7. CISCO.com [Електронний ресурс] / сайт компанії-виробника ATM-обладнання та ATM-специфікацій CISCO [www.cisco.com/warp/public/121/signalling\\_output.html](http://www.cisco.com/warp/public/121/signalling_output.html)
8. CIT Forum [Електронний ресурс] / учбовий центр CIT Forum [http://citforum.univ.kiev.ua/nets/articles/atm\\_base.shtml](http://citforum.univ.kiev.ua/nets/articles/atm_base.shtml)
9. Архів матеріалів ДНТУ [Електронний ресурс] / архів матеріалів Донецького національного технічного університету <http://masters.donntu.edu.ua/2004/kita/tkachov/diss/index.htm>
10. IPRIP.ru [Електронний ресурс] / сайт компанії IPRIP <http://iprip.ru/pnni/12-pnni-i-atm-forum.html>