

Богдан Волочій<sup>1</sup>, Олександр Матічин<sup>2</sup>, Леонід Озірковський<sup>1</sup>,  
Сергій Стецюк<sup>3</sup>, Денис Улибін<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Національний університет “Львівська політехніка”,  
кафедра теоретичної радіотехніки і радіовимірювань,

<sup>2</sup>“Український львівський інститут бізнесу та інформатики”,

<sup>3</sup>Науково-виробничий центр “Автоматизовані мікропроцесорні системи”

## МОДЕЛЬ ЦИФРОВОЇ СИСТЕМИ КОМУТАЦІЇ ВУЗЛА ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНОЇ МЕРЕЖІ

© Волочій Богдан, Матічин Олександр, Озірковський Леонід,  
Стецюк Сергій, Улибін Денис, 2004

Охарактеризовано процес розробки математичної моделі цифрової системи комутації ЄС-11 з протоколом міжстанційної сигналізації DSS-1 у вигляді марковського випадкового процесу. Розробляючи модель, використано оригінальну технологію моделювання, яка передбачає формування структурно-автоматної моделі як формалізоване подання об'єкта дослідження і автоматизацію побудови графа станів і переходів. Сформована структурно-автоматна модель і розроблений програмний модуль забезпечують отримання показників ефективності цифрової системи комутації. Наведено результати ілюстративного дослідження.

This article presents the process of development of the mathematical model of the digital commutation system ES-11 with the interoffice signaling protocol DSS-1 in the form of Markovian random process. For development of the model an original modeling technology was used providing for forming of the structural-automatic model as formalized representation of the object, and automation of building of the state and transition graph. The formed structural-automatic model and the developed program module ensure receiving of efficiency indices of the interoffice signaling system. The results of the demonstrative investigation are also presented.

### Реалізація протоколу LAPD в протоколі міжстанційної сигналізації DSS-1

Протоколи міжстанційної сигналізації призначені для забезпечення взаємодії різних цифрових систем комутації (ЦСК).

Для роботи за протоколом DSS-1 використовуються процедури протоколу LAPD, які забезпечують прийом кадрів, збереження їх правильної послідовності, підтвердження прийнятих кадрів і запит на повторну передачу. Усі прийняті кадри проходять обробку на трьох рівнях, кожний з яких представлений відповідним буфером. Обробку проводять процедури обслуговування відповідних буферів. Модель процесу обробки кадрів показана на рис. 1. За необхідності (як правило, через невідповідність інформації) кадр може бути вилучений з будь-якого буфера і тоді він не потрапляє на обслуговування на наступному рівні. Кадри вибираються з апаратного буфера відповідного HDLC-контролера.

Для забезпечення нормальної роботи контролера HDLC необхідно вчасно зчитувати дані з його пам'яті. Тому перевірка стану контролера відбувається в кожному такті обслуговування (8 мс). Водночас під час обслуговування дані з буфера прийому контролера переписуються в програмно реалізований буфер I рівня (буфер FIFO). За один такт зчитується весь вміст буфера прийому контролера HDLC.

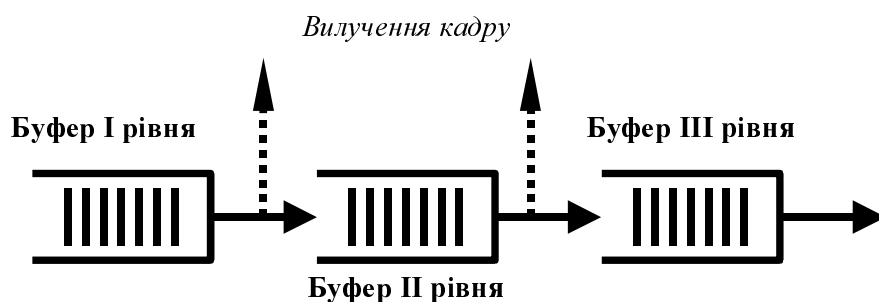


Рис. 1. Модель процесу обробки кадрів

Далі проводиться аналіз кадру на цілісність: розірвані кадри і кадри, в яких порушено цілісність даних, вилучаються. Решта кадрів потрапляють у буфер II рівня (буфер FIFO). При його обслуговуванні перевіряється адресна інформація та інформація заголовка: це порядковий циклічний номер кадру, номер кадру, на який приходить підтвердження, вимоги до носія інформації, а також може бути керуюча інформація II-го рівня (згідно з семирівневою моделлю телекомунікаційної мережі). На II рівні вилучаються кадри: в яких порушена послідовність або інформація II рівня не відповідає можливостям комутаційної системи, а також керуючі кадри.

Після обробки з буфера II рівня кадри потрапляють у буфер III рівня, де проводиться синтаксичний розбір інформації, потрібної для встановлення з'єднання. Після цього кадр вилучається або як неправильний, або як такий, що вже виконав свою функцію.

Керування буферами I, II і III рівнів передається по черзі. Після виконання потрібних операцій з буфером I рівня керування передається обслуговуючому пристрою буфера II рівня, який, виконавши свою частину роботи, передає керування обслуговуючому пристрою буфера III рівня. Після обслуговування буфера III рівня керування віддається операційній системі, яка в наступному такті передасть керування обслуговуючому пристрою буфера I рівня. Узагальнений алгоритм передачі керування процедурами обслуговування буферів поданий графом на рис. 2.

За один такт обслуговування буфера I рівня у ньому опрацьовуються усі наявні кадри. Їх максимальна кількість визначається значенням  $N1_{max}$ . Після обробки вони або вилучаються (при виявленні помилки), або переписуються у буфер II рівня вже без заголовка і контрольної суми. За відсутності місця для нового кадру обслуговуваний кадр записується на місце кадру з найбільшим часом перебування в буфері.

За один такт обслуговування буфера II рівня може бути обслужено максимум  $N2_{max}$  кадрів. За відсутності вільного місця в буфері III рівня кадр (кадри) записується на місце кадру (кадрів) з найбільшим часом перебування в цьому буфері.

За один такт обслуговування буфера III рівня може бути обслужено максимум  $N3_{max}$  кадрів.

Обслуговування кожного кадру в буфері займає певну частину часового ресурсу в системі. Для описаних вище буферів часовий ресурс можна подати середнім часом розбирання кадру, відповідно,  $t_1$ ,  $t_2$  і  $t_3$ . Крім того, операційна система бере певну частину часового ресурсу ( $t_{oc}$ ) для себе і для обслуговування інших драйверів.

### Вибір показників ефективності цифрової системи комутації і встановлення вимог до моделі об'єкта дослідження

Показники ефективності цифрової системи комутації з протоколом міжстанційної сигналізації DSS-1 повинні відображати особливості реалізації процедур протоколу LAPD. Тому, як показники ефективності, вибрані:

- ймовірності втрати кадрів в окремих буферах і сумарна ймовірність втрат;
- середнє значення часу затримки кадрів в буферах;
- ймовірність зайнятості центрального керуючого пристрою (його завантаженість);
- середні значення довжин черг кадрів в буферах.

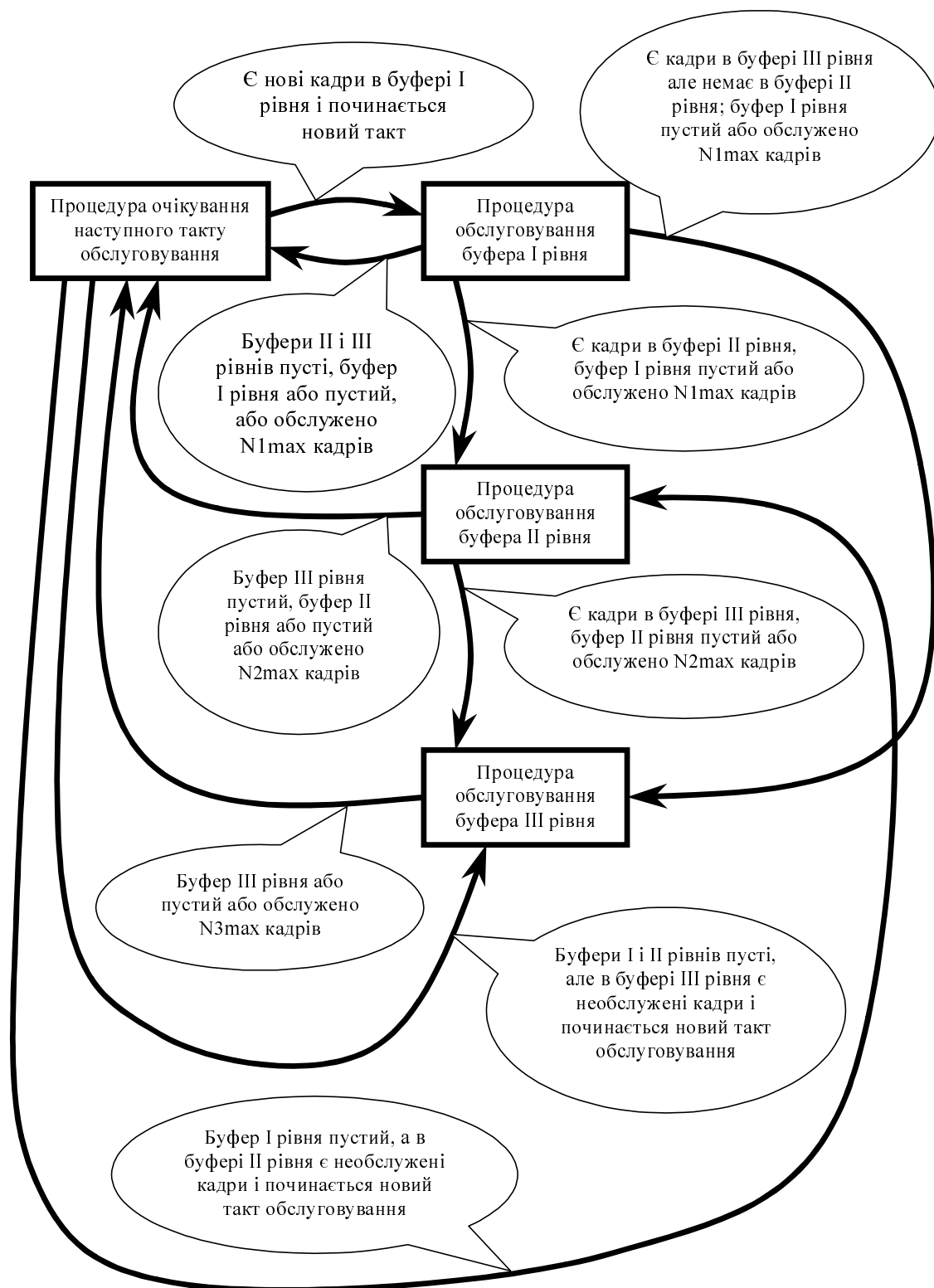


Рис. 2. Граф передачі керування процедурами обслуговування буферів

Для проведення досліджень ефективності ЦСК при визначених варіантах реалізації процедур протоколу LAPD, її математична модель повинна забезпечувати отримання таких залежностей:

- 1) залежність ймовірності втрати кадрів від об'єму буфера I (II, III) рівня за різних значень інтенсивності вхідного потоку викликів;
- 2) залежність середнього значення часу затримки кадрів в ЦСК від інтенсивності вхідного потоку викликів;

3) залежність ймовірності зайнятості центрального керуючого пристрою від кількості обслуговуваних за один такт кадрів (в кожному з буферів) за різних значень інтенсивності вхідного потоку викликів;

4) залежність середнього значення довжини черги кадрів в буферах від інтенсивності вхідного потоку викликів.

Завданням цієї роботи є розробка математичної моделі, яка б дала змогу оцінити можливості цифрової системи комутації при роботі з загальноканалною системою сигналізації з протоколом DSS-1, яка використовується в ISDN [1]. Модель об'єкта дослідження повинна враховувати те, що вхідний потік кадрів створюється телефонними викликами. Основні процедури передачі кадрів відображені в [2–5]. Моделювання стосується лише приймальної частини протоколу взаємодії, який працює в асинхронному збалансованому режимі [6]. Модель повинна враховувати передачу кадрів інформаційного і супервізорного форматів, враховувати можливі помилки в каналі, які визначаються за допомогою циклічного коду з надлишковістю. Пропадання кадрів і повторна передача в моделі відображатися не повинні, оскільки більшість кадрів за нормальної роботи системи передається без помилок нумерації і повторів. Модель не повинна відображати фазу встановлення з'єднання, оскільки це дуже рідкісне явище, що спостерігається лише при запуску системи і критичних помилках. Модель повинна враховувати особливості цифрової системи комутації [7], а саме: такт обслуговування 8 мс, особливості взаємодії з контролером пакетної передачі інформації (швидкість D-каналу дорівнює 64 кбіт/с, а ємність його приймального буфера становить 128 байт). Ця обставина накладає обмеження на значення інтенсивності вхідного потоку кадрів. Особливості передачі керування досліджуваним процесом, які повинні відтворювати модель, описані вище. Модель повинна забезпечувати можливість визначення описаних вище показників ефективності ЦСК. Решта особливостей цифрової системи комутації вважаються неістотними при побудові моделі.

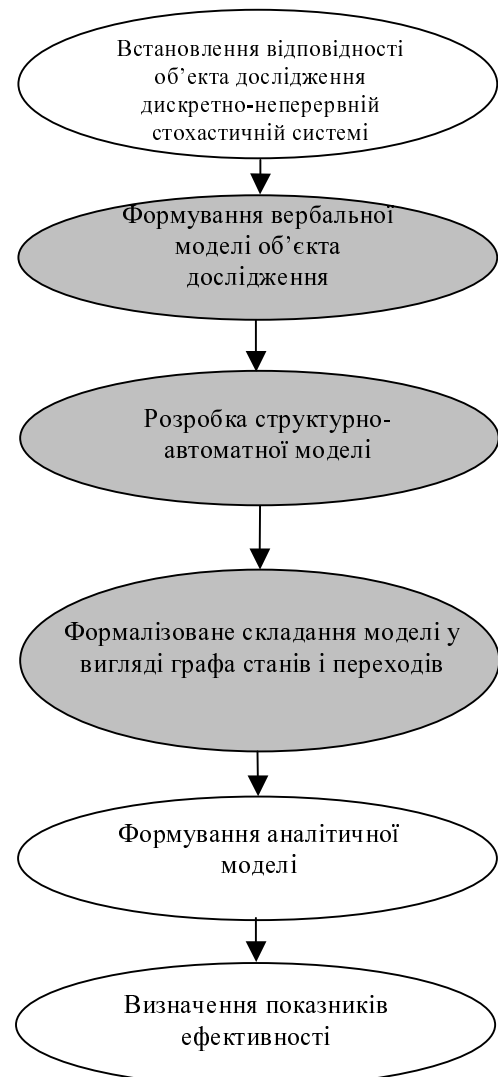


Рис. 3. Етапи технології моделювання

### Технологія моделювання об'єкта дослідження

Запропонована в [8] технологія моделювання передбачає вдосконалення традиційної технології розробки марковських моделей, саме в частині формалізації процесу розробки графа станів і переходів (рис. 3).

Технологія моделювання передбачає подання об'єкта дослідження алгоритмом поведінки. Вона доповнює традиційну технологію трьома новими засобами: проблемно-орієнтована вербальна модель, структурно-автоматна модель, алгоритм формалізованої побудови графа станів і переходів [8, 9].

Вдосконалена технологія моделювання дає змогу автоматизувати процес формування графа станів і переходів. З використанням вдосконаленої технології можна здійснити розробку проблемно-орієнтованого програмного модуля для розв'язання задач системного аналізу конкретного типу складної системи, що і виконано у цій роботі.

### Вербальна модель об'єкта дослідження

Формування вербальної моделі передбачає: виявлення всіх можливих подій в об'єкті дослідження і визначення базових подій; для кожної базової події визначення умов та обставин, за яких ці події відбуваються. У цьому разі множину базових подій становлять перелічені нижче події з номерами 1.0, 2.0, 3.0, 4.0, 5.0. Решта подій мають статус супутніх.

- 1.0 Прихід нового кадру в буфер I рівня.**
- 2.0 Закінчення обслуговування кадру з буфера I рівня.**
  - 2.1 Постановка кадру в чергу буфера II рівня.
  - 2.2 Вилучення кадру з буфера I рівня.
- 3.0 Закінчення обслуговування кадру з буфера II рівня.**
  - 3.1 Постановка кадру в чергу буфера III рівня.
  - 3.2 Вилучення кадру з буфера II рівня.
- 4.0 Закінчення обслуговування кадру з буфера III рівня.**
  - 4.1 Вилучення кадру з буфера III рівня.
- 5.0 Початок наступного такту обслуговування.**
  - 5.1 Початок обслуговування кадру з буфера I рівня.
  - 5.2 Початок обслуговування кадру з буфера II рівня.
  - 5.3 Початок обслуговування кадру з буфера III рівня.

Умови та обставини для кожної базової події описані нижче, разом з поданням їх логічних виразів.

### Структурно-автоматна модель об'єкта дослідження

Розробка структурно-автоматної моделі починається з формування структури вектора станів. Від вибору компонент вектора станів залежить ступінь деталізації подання і прозорість визначення станів для подальшого обчислення показників ефективності. Насамперед компонентами вектора станів варто визначити стани тих частин об'єкта дослідження, моніторингом яких слід було б займатися при експериментальному визначенні параметрів якості обслуговування. У нашому випадку – це стани черг буферів I, II і III рівнів. Стани черг буферів відображаються числом, що відповідає кількості кадрів, які знаходяться у відповідному буфері.

Разом з цими компонентами необхідно мати компоненту, яка характеризує глобальний стан системи, поданий узагальненим графом передачі керування процедурам обслуговування буферів. Як таку компоненту, у цьому разі вибрано поточну фазу обслуговування. Вона визначає одну з процедур обслуговування буферів, якій передано керування.

І нарешті, визначено допоміжні компоненти вектора станів, які дають змогу відобразити особливості роботи системи. Основною особливістю є те, що за один такт обслуговування однією процедурою не може бути обслужено більше ніж  $Nx_{\max}$  кадрів, де  $x$  – номер відповідного буфера. Тому в кожному такті обслуговування після передачі керування іншій процедурі обслуговування необхідно підраховувати кількість обслужених нею кадрів. Ця компонента по суті відображає змінну, яка відповідає за кількість обслужених кадрів, у програмній реалізації. Тобто можна сказати, що це моніторинг вказаної змінної. Моніторинг цієї змінної дає змогу відобразити логіку роботи системи за допомогою введення відповідних умов.

Отже, компонентами вектора станів вибрано:  $Q1$  – стан черги буфера I рівня;  $Q2$  – стан черги буфера II рівня;  $Q3$  – стан черги буфера III рівня;  $P_h$  – поточна фаза обслуговування;  $N$  – кількість кадрів, обслужених за поточний такт відповідною процедурою обслуговування.

Кожна з цих компонент має межі значень, які є формальними параметрами об'єкта дослідження. Межі значень компонент вектора станів визначають конфігурацію досліджуваного об'єкта. В нашому випадку межі значень для компонент будуть визначатися такими формальними параметрами:  $Q1_{\max}$ ,  $Q2_{\max}$ ,  $Q3_{\max}$  – максимальна кількість місць в черзі буфера I, II і III рівня, відповідно. Компонента  $P_h$  може приймати значення: 0 – стан очікування наступного такту обслуговування; 1 – стан обслуговування буфера I рівня; 2 – стан обслуговування буфера II рівня;

3 – стан обслуговування буфера III рівня. Компонента N може приймати значення, які залежать від поточної фази обслуговування Ph: за Ph=0, N матиме одне значення [0]; за Ph=1, N буде в межах [1...N1max]; за Ph=2, N буде в межах [1...N2max]; за Ph=3, N буде в межах [1...N3max].

Визначаємо умови і обставини для кожної базової події. Подія 1.0 **"Прихід нового кадру в буфер I рівня"** може відбутися за таких обставин:

- в черзі буфера I рівня є місце для новоприбулого кадру, тобто ( $Q1 < Q1max$ ). В цьому разі кадр потрапляє до буфера I рівня;

- в черзі буфера I рівня немає місця для новоприбулого кадру. В цьому разі кадр не потрапляє у буфер I рівня, а втрачається.

- Для події 5.0 **"Початок наступного такту обслуговування"** умовою є те, що поточна фаза, в якій перебуває система, відповідає станові очікування, тобто ( $Ph=0$ ). За такої умови ця подія може статися за таких обставин:

- в буфері I рівня є необслужені кадри, тобто ( $Q1 > 0$ ). В цьому разі керування передається процедурі обслуговування буфера I рівня, з буфера I рівня вибирається кадр на обслуговування і лічильник обслужених кадрів встановлюється в початковий стан;

- в буфері I рівня немає необслужених кадрів, але у буфері II рівня є необслужені кадри, тобто ( $(Q1=0) \text{ AND } (Q2 > 0)$ ). В цьому разі керування передається процедурі обслуговування буфера II рівня, з буфера II рівня вибирається кадр на обслуговування і лічильник обслужених кадрів встановлюється в початковий стан;

- в буферах I і II рівнів немає необслужених кадрів, але є необслужені кадри у буфері III рівня, тобто ( $(Q1=0) \text{ AND } (Q2=0) \text{ AND } (Q3 > 0)$ ). В цьому разі керування відразу передається процедурі обслуговування буфера III рівня, з буфера III рівня вибирається кадр на обслуговування і лічильник обслужених кадрів встановлюється в початковий стан;

- в жодному з буферів (I, II і III рівнів) немає необслужених кадрів. У цьому разі ніяких дій не виконується – продовжується стан очікування наступного такту обслуговування.

Для події 2.0 **"Закінчення обслуговування кадру з буфера I рівня"** умовою є те, що поточна фаза, в якій перебуває система, відповідає станові обслуговування буфера I рівня, тобто ( $Ph=1$ ). Крім того, ця подія може статися за таких обставин:

- в буфері I рівня є необслужені кадри, а кількість обслужених кадрів за цей такт не досягла максимального значення, тобто ( $Q1 > 0$ ) AND ( $N < N1max$ ). У цьому разі керування залишається у процедури обслуговування буфера I рівня. З буфера вибирається наступний кадр на обслуговування;

- в буфері I рівня немає необслужених кадрів або кількість обслужених за цей такт кадрів досягла максимального значення і при цьому є необслужені кадри в буфері II рівня, тобто ( $(Q1=0) \text{ OR } (N > N1max)$ ) AND ( $Q2 > 0$ ). В цьому разі керування передається процедурі обслуговування буфера II рівня, показ лічильника обслужених кадрів встановлюється в початковий стан і з буфера II рівня вибирається наступний кадр на обслуговування;

- в буфері I рівня немає необслужених кадрів або кількість обслужених за цей такт кадрів досягла максимального значення, в буфері II рівня немає необслужених кадрів, а в буфері III рівня є необслужені кадри, тобто ( $(Q1=0) \text{ OR } (N > N1max)$ ) AND ( $Q2=0$ ) AND ( $Q3 > 0$ ). У цьому разі керування відразу передається процедурі обслуговування буфера III рівня, з нього вибирається кадр на обслуговування і лічильник обслужених за цей такт кадрів встановлюється в початковий стан;

- в буфері I рівня немає необслужених кадрів або кількість обслужених за цей такт кадрів досягла максимального значення, в буферах II і III рівнів немає необслужених кадрів, тобто ( $(Q1=0) \text{ OR } (N > N1max)$ ) AND ( $Q2=0$ ) AND ( $Q3 > 0$ ). У цьому разі починається очікування наступного такту обслуговування.

**Альтернативні варіанти закінчення обслуговування кадру з буфера I рівня:** а) кадр вилучається; б) кадр передається в буфер II рівня, якщо кількість кадрів у ньому менша від максимального значення, тобто ( $Q2 < Q2max$ ).

Аналогічно розглядаються і складаються логічні вирази умов та обставин для подій 3.0 і 4.0.

Для кожної комбінації базових подій, умов і обставин формуємо *правило модифікації вектора станів* (ПМВС). Наприклад, для події „Прихід нового кадру в буфер I рівня” і наявності вільного місця в буфері I рівня ПМВС буде таким:  $Q1:=Q1+1$ . Результати формування правил модифікації вектора станів для решти варіантів наведені в таблиці.

Маючи перелік базових подій, умови і обставини, за яких вони можуть відбуватися, і знаючи структуру вектора станів, можна сформувати дерево подій і правил модифікації вектора станів. Доповнюючи кожну комбінацію відповідними формулами розрахунку інтенсивності переходу і ймовірностей альтернативних переходів, отримаємо структурно-автоматну модель, наведену в таблиці.

### Структурно-автоматна модель цифрової системи комутації

Події	Умови і обставини	ФРІП	АП	ПМВС
Прихід нового кадру у буфер I рівня	$Q1 < Q1_{max}$	Inp	1	$Q1:=Q1+1$
Початок наступного такту обслуговування	$(Ph=0) \text{ AND } (Q1 > 0)$	Wait	1	$Ph:=1; N:=1$
	$(Ph=0) \text{ AND } (Q1=0) \text{ AND } (Q2 > 0)$	Wait	1	$Ph:=2; N:=1$
	$(Ph=0) \text{ AND } (Q1=0) \text{ AND } (Q2=0) \text{ AND } (Q3 > 0)$	Wait	1	$Ph:=3; N:=1$
Закінчення обслуговування кадру з буфера I рівня	$(Ph=1) \text{ AND } (Q1 > 1) \text{ AND } (N < N1_{max})$	Out1	$P_1$	$Q1:=Q1-1; N:=N+1$
	$(Ph=1) \text{ AND } (Q1 > 1) \text{ AND } (N < N1_{max}) \text{ AND } (Q2 < Q2_{max})$	Out1	$1-P_1$	$Q1:=Q1-1; N:=N+1; Q2:=Q2+1$
	$(Ph=1) \text{ AND } (Q1 > 1) \text{ AND } (N < N1_{max}) \text{ AND } (Q2=Q2_{max})$	Out1	$1-P_1$	$Q1:=Q1-1; N:=N+1$
	$(Ph=1) \text{ AND } ((Q1=1) \text{ OR } (N=N1_{max})) \text{ AND } (Q2 > 0)$	Out1	$P_1$	$Q1:=Q1-1; Ph:=2; N:=1$
	$(Ph=1) \text{ AND } ((Q1=1) \text{ OR } (N=N1_{max})) \text{ AND } (Q2 < Q2_{max})$	Out1	$1-P_1$	$Q1:=Q1-1; Ph:=2; N:=1; Q2:=Q2+1$
	$(Ph=1) \text{ AND } ((Q1=1) \text{ OR } (N=N1_{max})) \text{ AND } (Q2=Q2_{max})$	Out1	$1-P_1$	$Q1:=Q1-1; Ph:=2; N:=1$
	$(Ph=1) \text{ AND } ((Q1=1) \text{ OR } (N=N1_{max})) \text{ AND } (Q2=0) \text{ AND } (Q3 > 0)$	Out1	$P_1$	$Q1:=Q1-1; Ph:=3; N:=1$
Закінчення обслуговування кадру з буфера II рівня	$(Ph=2) \text{ AND } (Q2 > 1) \text{ AND } (N < N2_{max})$	Out2	$P_{II}$	$Q2:=Q2-1; N:=N+1$
	$(Ph=2) \text{ AND } (Q2 > 1) \text{ AND } (N < N2_{max}) \text{ AND } (Q3 < Q3_{max})$	Out2	$1-P_{II}$	$Q2:=Q2-1; N:=N+1; Q3:=Q3+1$
	$(Ph=2) \text{ AND } (Q2 > 1) \text{ AND } (N < N2_{max}) \text{ AND } (Q3=Q3_{max})$	Out2	$1-P_{II}$	$Q3:=Q3-1; Ph:=0; N:=0$
	$(Ph=2) \text{ AND } ((Q2=1) \text{ OR } (N=N2_{max})) \text{ AND } (Q3 > 0)$	Out2	$P_{II}$	$Q2:=Q2-1; Ph:=3; N:=1$
	$(Ph=2) \text{ AND } ((Q2=1) \text{ OR } (N=N2_{max})) \text{ AND } (Q3 < Q3_{max})$	Out2	$1-P_{II}$	$Q2:=Q2-1; Ph:=3; N:=1; Q3:=Q3+1$
	$(Ph=2) \text{ AND } ((Q2=1) \text{ OR } (N=N2_{max})) \text{ AND } (Q3=Q3_{max})$	Out2	$1-P_{II}$	$Q2:=Q2-1; Ph:=3; N:=1$
	$(Ph=2) \text{ AND } ((Q2=1) \text{ OR } (N=N2_{max})) \text{ AND } (Q3=0)$	Out2	$P_{II}$	$Q2:=Q2-1; Ph:=0; N:=0$
Закінчення обслуговування кадру з буфера III рівня	$(Ph=3) \text{ AND } (Q3 > 1) \text{ AND } (N < N3_{max})$	Out3	1	$Q3:=Q3-1; N:=N+1$
	$(Ph=3) \text{ AND } ((Q3=1) \text{ OR } (N=N3_{max}))$	Out3	1	$Q3:=Q3-1; Ph:=0; N:=0$

### Програмний модуль для побудови моделі і дослідження ефективності цифрової системи комутації ЄС-11 з протоколом міжстанційної сигналізації DSS-1

В рамках цього проекту розроблено програмний модуль, який автоматизує процес розробки та аналізу марковської моделі цифрової комутаційної системи ЄС-11 з протоколом міжстанційної сигналізації DSS-1 і протоколом LAPD. До складу програмного модуля входять:

- програмна реалізація вводу структурно-автоматної моделі об'єкта дослідження;
- програмна реалізація алгоритму побудови графа станів і переходів;
- програмні засоби розв'язання системи диференціальних рівнянь Колмогорова–Чепмена;
- програмні засоби визначення і подання показників ефективності об'єкта дослідження.

Програма забезпечує отримання таких результатів: середню довжину черги для буфера I [L(Q1)] (II [L(Q2)], III [L(Q3)]) рівнів; ймовірність втрати кадрів в результаті переповнення буфера I [Pv1] (II [Pv2], III [Pv3]) рівнів; сумарну ймовірність втрат [Psum=Pv1+Pv2+Pv3]; ймовірність зайнятості центрального процесора керуючого пристрою [Pzan].

### Ілюстрація можливостей програмного модуля в дослідженнях ефективності цифрової системи комутації ЄС-11 з протоколом міжстанційної сигналізації DSS-1

Розглядається задача визначення раціонального розподілу ресурсу пам'яті між буферами I, II і III рівнів, за якого втрата кадрів буде мінімальною. Вхідні дані для дослідження:

- середні значення часу обслуговування одного кадру процедурами I, II та III рівнів відповідно:  $Out1 = 5000 \text{ с}^{-1}$ ;  $Out2 = 2500 \text{ с}^{-1}$ ;  $Out3 = 1500 \text{ с}^{-1}$ ;
- середнє значення часу очікування нового такту обслуговування  $Wait = 10 \text{ с}^{-1}$ ;
- інтенсивність вхідного потоку кадрів  $Inp = 40 \text{ с}^{-1}$ ;
- ймовірність вилучення кадрів з буферів I і II рівнів, відповідно:  $P_I = 0.5$ ;  $P_{II} = 0.35$ .

З показаного на рис. 5 графіка і таблиці отримано висновок, що для кожного значення загального обсягу пам'яті і заданого вхідними даними вхідного навантаження існує раціональний розподіл цієї пам'яті між буферами. У розглянутому прикладі загальний обсяг пам'яті розрахований на зберігання від 3 до 16 кадрів. Відповідно неправильний розподіл обсягу пам'яті між буферами приведе до погіршення якості обслуговування потоку кадрів.

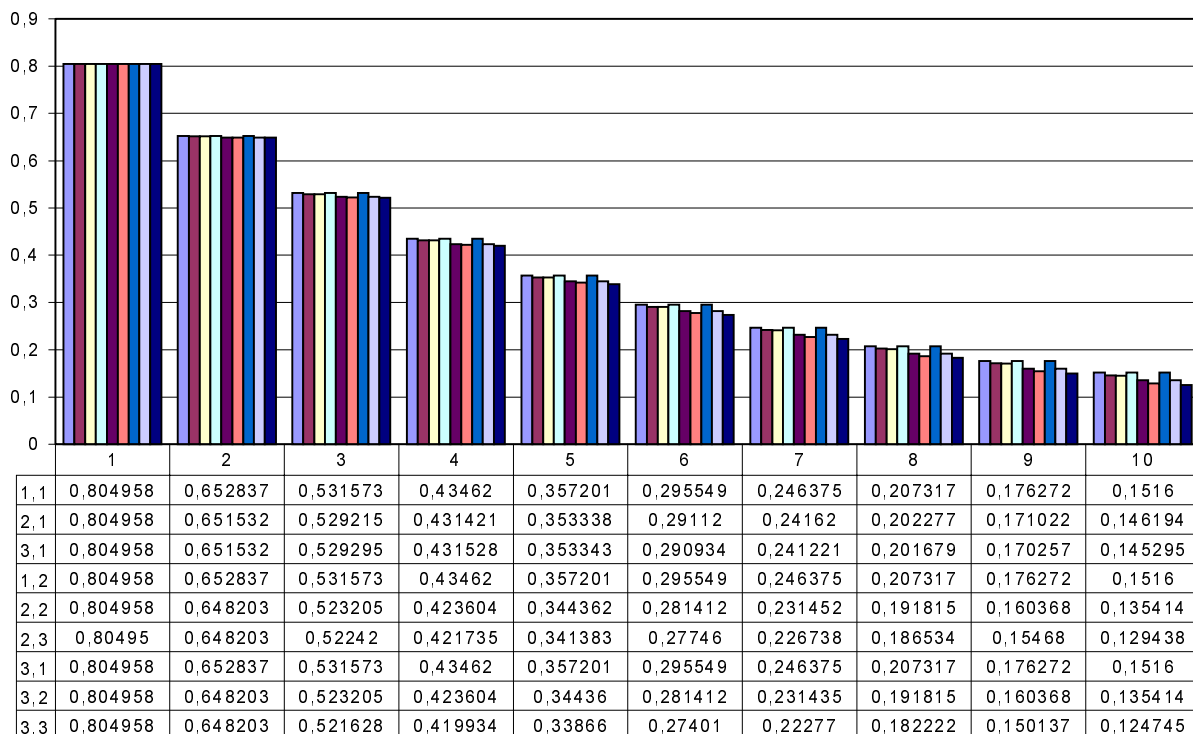


Рис. 5. Залежності сумарної ймовірності втрат від розподілу заданого обсягу пам'яті між буферами I, II і III рівнів: в назві рядка таблиці подано значення кількості місць в буферах I та II рівнів; номер стовпчика таблиці являє собою кількість місць в буфері III рівня; графік дає наглядне уявлення даних таблиці



## Висновки

Результат цієї роботи можна реально використовувати при розробці і удосконаленні програмного забезпечення цифрової системи комутації “СС-11”, яка використовується на українських телефонних мережах. Запропоновані засоби можна використовувати:

- для визначення оптимальних об’ємів буферів при обслуговуванні потоку кадрів, створених в результаті певного вхідного навантаження телефонного трафіка;
- для дослідження можливості використання цифрової комутаційної системи за різних навантажень;
- для оцінки завантаженості центрального керуючого процесора;
- для визначення питомої ваги втрачених кадрів;
- для визначення ймовірності перезапиту кадрів за різних значень вхідного навантаження.

Розроблена модель являє собою процес обробки вхідних кадрів цифрової системи комутації і не відображає її роботу у зворотному напрямку. Але результати цієї роботи можуть бути використані для побудови моделі всього процесу обробки кадрів в цифровій системі комутації.

1. Гольдштейн Б.С. *Протоколи сети доступа. Т. 2* – М., 1999. 2. *ITU-T Recommendation Q.920 (I.440) ISDN User-Network – Data Link Layer – General Aspects. Geneva, 1993.* 3. *ITU-T Recommendation Q.921 (I.441) ISDN User-Network – Data Link Layer Specification. Geneva, 1993.* 4. *ITU-T Recommendation Q.930 (I.450) ISDN User-Network Interface Layer 3 – General Aspects. Geneva, 1993.* 5. *ITU-T Recommendation Q.931 (I.451) ISDN User-Network Interface Layer 3 – Specifications for Basic Call Control. Geneva, 1993.* 6. Стеклов В.К., Беркман Л.Н. *Телекомунікаційні мережі*. – К., 2001. 7. *Настанова з експлуатації цифрової комутаційної станції “СС-11”, 2003.* – 325 с. 8. *Volochiy B., Ulybin D. Improvements in the technology of discrete uniterupted stochastic information systems modelling // Prace X konferencji “Sieci i Systemy Informatyczne”. – Lodz. – 2002.* – S. 317–326. 9. *Беляев В.П., Волочий Б.Ю., Мандзий Б.А. Автоматизация построения надежностных моделей отказоустойчивых РЭС // Автоматизация проектирования.* – М., 1994. – № 2–3. – С. 73–81. 10. *Volochiy B., Matichyn O., Ozirkovskyy L., Stetsuk., Ulybin D. Means of Analysis of the Efficiency of the Digital Commutation System ES-11 with the LAPD Protocol // Proceedings of the International Conference TSCET’2004.* – P. 587–591.

УДК 681.32.03

Михайло Климаш, Василь Романчук, Богдан Стрихалюк  
Національний університет “Львівська політехніка”,  
кафедра телекомунікацій

## ДОСЛІДЖЕННЯ ТА МОДЕЛЮВАННЯ РОБОТИ GIGABIT ETHERNET КОМУТАТОРА ТРАНСПОРТНИХ ОПТИЧНИХ МЕРЕЖ

© Климаш Михайло, Романчук Василь, Стрихалюк Богдан, 2004

Розроблено математичну модель комутатора Gigabit Ethernet – одного з основних вузлів сучасних телекомунікаційних систем. Створена модель враховує змінний розмір кадру і варіацію міжкадрового інтервалу. Показано адекватність моделі реальному комутатору Gigabit Ethernet.

In work the mathematical model of switch Gigabit Ethernet is developed – one of basic of communications device. The created model takes into different packet sizes and variation of inter-packet intervals at constant channel load. In work the adequacy of model is shown to the real switch Gigabit Ethernet.

### Вступ

До основних вимог, що пред’являються до широкосмугових цифрових мереж з інтеграцією послуг, відноситься гарантія певної якості обслуговування (Quality Service, QoS) кожного