

УДК 621.396

Н.В. РВАЧОВА

*Військовий інститут телекомунікацій та інформатизації  
НТУУ «КПІ», Полтава, Україна*

## МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ УПРАВЛІННЯ МІЖСЕГМЕНТНИМ ІНТЕРВАЛОМ В ІНФОРМАЦІЙНІЙ МЕРЕЖІ ЗГІДНО З МЕТОДОМ АДАПТИВНОЇ ШВИДКОСТІ

*В роботі пропонується математична модель управління міжсегментним інтервалом в інформаційній мережі згідно з методом адаптивної швидкості. Дана модель дозволяє якісно оцінити ефективність роботи інформаційної мережі в різних режимах, передбачених методом адаптивної швидкості. В результаті проведення імітаційних експериментів з використанням розробленої моделі встановлено суттєве зменшення ефективності функціонування мережі в режимах прискореного старту та відновлення.*

*Ключові слова:* інтенсивність відправки сегментів, міжсегментний інтервал, математична модель, інформаційна мережа.

### Обґрунтування актуальності досліджень та аналіз літератури

Основним транспортним протоколом, який забезпечує надійну та послідовну передачу даних інформаційною мережею є протокол TCP (Transmission Control Protocol, TCP).

Надійність передачі інформації у протоколі TCP обумовлена використанням методу ковзного вікна для управління потоками даних [1]. Цей метод передбачає регулювання кількості сегментів, що можуть бути відправлені в мережу без очікування квитанції про успішну доставку відповідних сегментів адресатові, ідентифікатором перевантаження служить втрата пакетів.

Протокол TCP, який використовує метод ковзного вікна має ряд недоліків [2]:

- 1) при втраті сегмента розмір вікна передачі різко зменшується до мінімального значення;
- 2) для визначення максимально можливого вікна передачі передбачено стрімке збільшення інтенсивності відправки сегментів, яке відбувається до втрати пакету.

Перший недолік вказує на низьку ефективність використання методу ковзного вікна в бездротових мережах, де імовірність втрати сегментів є високою. Другий недолік призводить до сплесків навантаження в інформаційній мережі, тобто до збільшення імовірності втрати сегментів.

Використання методу адаптивної швидкості дозволяє усунути зазначені недоліки протоколу TCP [3].

В рамках цього методу здійснюється управління інтенсивністю відправки сегментів шляхом зміни міжсегментного інтервалу. В науково-технічній лі-

тературі недостатньо висвітлені питання, присвячені дослідженню ефективності функціонування мережі при використанні даного методу. Тому аналіз процесу управління міжсегментним інтервалом згідно з методом адаптивної швидкості є актуальним науково-технічним завданням.

Для вирішення цього завдання доцільно провести математичне моделювання зазначеного вище процесу.

Найбільш прийнятним середовищем для побудови математичних моделей є система комп'ютерної математики MATLAB+Simulink. Її головними перевагами є відкритість, розширюваність та отримання результатів моделювання, максимально наближених до реальних умов [4,5].

**Метою наукового дослідження**, суть якого викладено в статті, є розробка математичної моделі управління міжсегментним інтервалом в інформаційній мережі згідно з методом адаптивної швидкості.

### Основний матеріал дослідження

Процес управління міжсегментним інтервалом згідно з методом адаптивної швидкості здійснюється виконанням наступним режимів [3]: прискорений старт, мультиплікативне скидання 1, відновлення, тонка настройка, мультиплікативне скидання 2.

*Режим прискореного старту* виконує швидке зростання інтенсивності відправки сегментів:

$$R_i = 2 \cdot R_{i-1}, \quad (1)$$

де  $R_i = \frac{L}{\tau_i}$  – інтенсивність передавання даних в мережу в момент відправлення  $i$ -го сегменту;

$\tau_i$  – інтервал часу між відправленням  $i$ -го сегменту та сегменту з номером  $(i-1)$ ;

$L$  – кількість інформації, що передається в сегменті;

$R_{i-1}$  – інтенсивність передавання даних в мережу в момент відправлення  $(i-1)$ -го сегменту.

Вихід із режиму прискореного старту виконується за умови:

$$R'_i < R_{i-1} \cdot k_1, \quad (2)$$

де  $R'_i = \frac{L}{\tau_i}$  – інтенсивність надходження даних до

приймача в момент одержання  $i$ -го сегменту;

$\tau_i$  – інтервал між моментами надходження до приймача сегментів з номерами  $i$  та  $(i-1)$ ;

$k_1$  – коефіцієнт, який визначає граничне збільшення інтенсивності відправки сегментів в порівнянні із попереднім значенням.

Виконання умови (2) свідчить про надлишкове збільшення інтенсивності відправки сегментів та про виникнення перевантаження в мережі.

Режим мультиплікативного скидання 1 використовується для різкого зниження навантаження в мережі:

$$R_i = R'_i - (R_{i-1} - R'_i) \cdot k_2, \quad (3)$$

де  $k_2$  – коефіцієнт, що визначає величину зміни інтенсивності відправки сегментів в режимі мультиплікативного скидання 1.

Для досягнення реальної пропускної спроможності мережі використовується режим відновлення, який має за мету поступово збільшити інтенсивність відправки сегментів до досягнення максимальних можливостей мережі та компенсувати перевантаження.

Збільшення інтенсивності відправки сегментів повинно здійснюватись з урахуванням черг, які утворились у мережних пристроях в режимі прискореного старту. Тоді, значення інтенсивності відправки сегментів слід визначати за формулами:

$$R_i = R_{i-1} + \Delta R_i, \quad (4)$$

$$\Delta R_i = \frac{(R'_i - R_{i-1})^2}{2 \cdot R_{ss}}, \quad (5)$$

де  $\Delta R_i$  – площа області компенсації перевантаження;

$R_{ss}$  – інтенсивність передачі сегментів в режимі прискореного старту:

$$R_{ss} = R_{\max} - R'_i, \quad (6)$$

де  $R_{\max}$  – максимальна зафіксована інтенсивність передачі сегментів.

Збільшення  $R_i$  відбувається до виконання умови:

$$R_{i-1} \geq R'_i \quad (7)$$

Режим тонкої настройки забезпечує адаптацію параметрів передачі до реальних параметрів мережі, які постійно змінюються.

В цьому режимі відстежується зміна міжсегментного інтервалу при проходженні його мережею та визначається його відхилення від середніх значень:

$$M_{cc} > \bar{M}_{FT} \cdot k_4, \quad (8)$$

$$\bar{M}_{FT} = \frac{\sum_{k=1}^N M_k}{N}, \quad (9)$$

де  $M_{cc}$  – ковзне середнє значення часу одержання квитанції;

$\bar{M}_{FT}$  – середнє значення часу одержання квитанції в режимі тонкої настройки;

$k_4$  – коефіцієнт, що визначає граничне відхилення  $\bar{M}_{FT}$  від  $M_{cc}$ .

Якщо умова (8) буде виконуватись, то значення інтенсивності відправки сегментів буде визначатись згідно з виразом:

$$R_i = R_{i-1} + (R'_i - R_{i-1}) \cdot k_3, \quad (10)$$

де  $k_3$  – коефіцієнт, що визначає величину зміни інтенсивності відправки сегментів в режимі тонкої настройки.

Якщо умова (8) не буде виконуватись, відбувається перехід у режим мультиплікативного скидання 2.

Режим мультиплікативного скидання 2 використовується для попередження перевантаження в мережі. Зменшення інтенсивності відправки сегментів, а отже, збільшення міжсегментного інтервалу дозволить попередити утворення надлишкових черг у буферах мережних пристроїв.

Інтенсивність відправки сегментів визначатиметься згідно з виразом:

$$R_i = k_5 \cdot R_{i-1}, \quad (11)$$

$k_5$  – коефіцієнт, який визначає величину зміни інтенсивності відправки сегментів в режимі мультиплікативного скидання 2.

Алгоритм, що реалізує управління міжсегментним інтервалом згідно з методом адаптивної швидкості, у вигляді блок-схеми приведено на рис. 1.

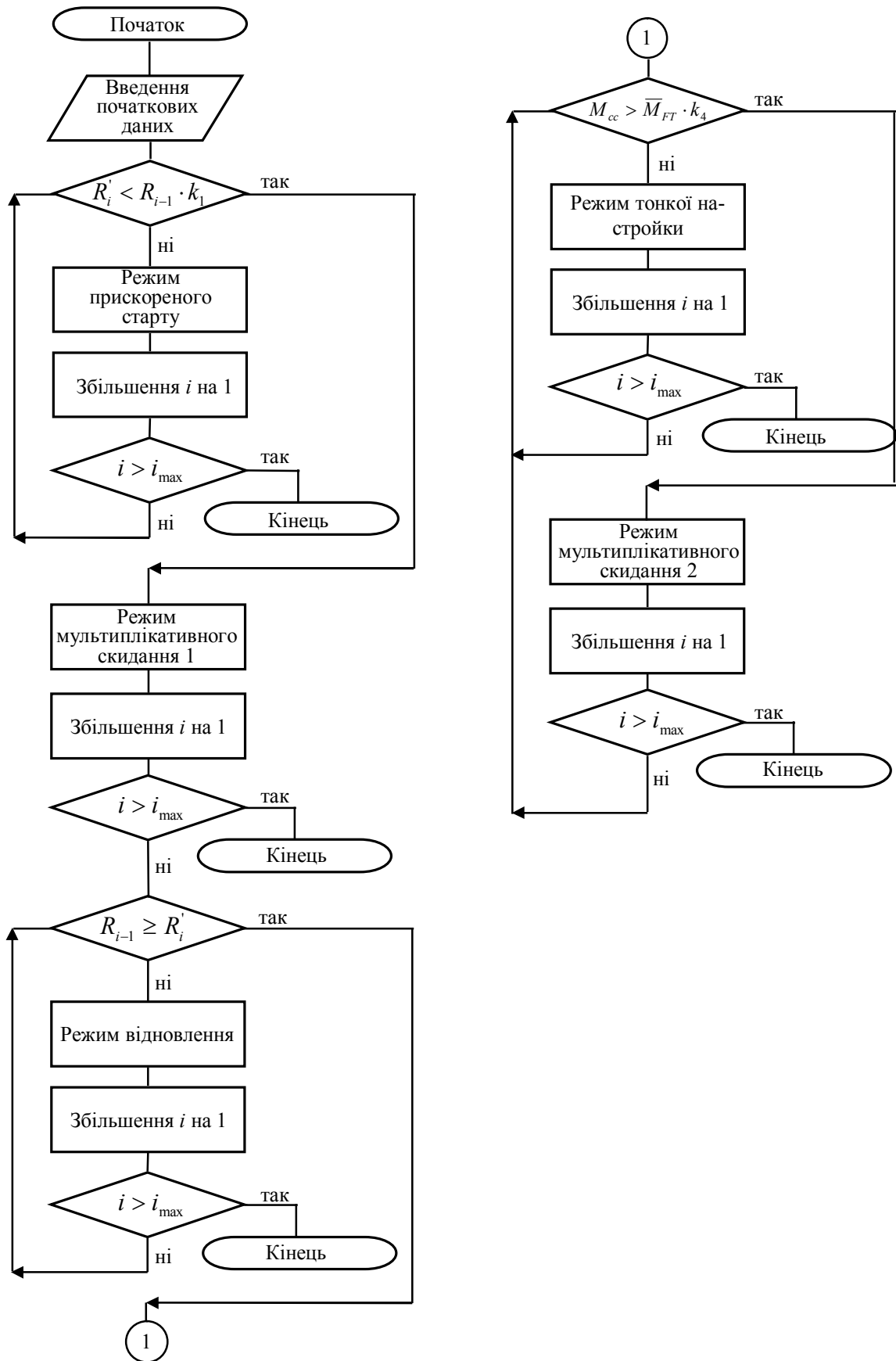


Рис. 1. Блок-схема алгоритму управління міжсегментним інтервалом згідно з методом адаптивної швидкості

З метою дослідження ефективності процесу управління міжсегментним інтервалом, що здійснюється в інформаційній мережі згідно з методом ада-

птивної швидкості, розроблено математичну модель цього процесу в програмному середовищі MATLAB + Simulink (рис. 2).

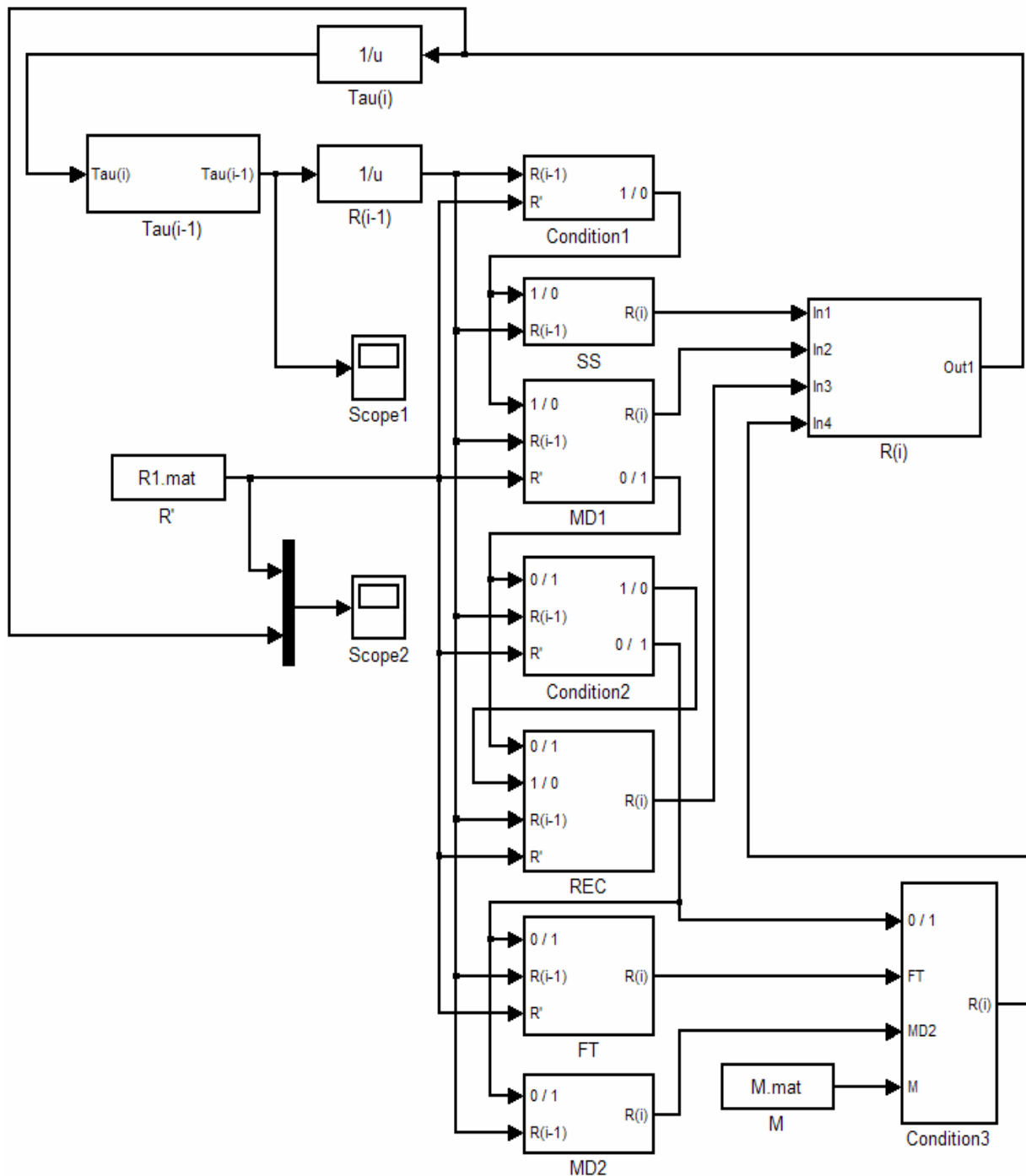


Рис. 2. Математична модель управління міжсегментним інтервалом в інформаційній мережі згідно з методом адаптивної швидкості

Елементи даної моделі призначені:  $R'$  – генерує значення інтенсивності приймання сегментів  $R'_i$ ;  $M$  – генерує значення часу одержання квитанції;  $Tau(i)$  – підтримує зворотній зв'язок між входом та виходом моделі, визначає значення міжсегмент-

ного інтервалу на даний момент часу;  $Tau(i-1)$  – виконує функцію формування міжсегментного інтервалу та передачу сегментів в мережу з потрібною затримкою;  $R(i-1)$  – одержання значень  $R_{i-1}$ ;

*Condition 1* – призначений для перевірки виконання умови (2); *SS* – імітує режим прискорено-

го старту; MD1 – виконує функції режиму мультиплікативного скидання 1.

*Condition 2* – виконує перевірку умови (7); REC – імітує функції режиму відновлення; FT – виконує функції режиму тонкої настройки; MD2 – імітує режим мультиплікативного скидання 2;

*Condition 3* – виконує перевірку умови (8) та обирає режим функціонування мережі (FT чи MD2);  $R(i)$  – призначений для формування вихідних значень  $R(i)$ ;

*Scope 1* – віртуальний регістратор, призначений для відображення розрахованих значень міжсегментного інтервалу;

*Scope 2* – віртуальний регістратор, призначений для відображення значень  $R_i$  сумісно із значеннями  $R_i'$ .

З використанням даної моделі було проведено ряд імітаційних експериментів, в ході яких якісно

перевірялась ефективність управління міжсегментним інтервалом.

На рис. 3 відображено значення  $R_i$  та  $R_i'$ , одержані в результаті моделювання та зареєстровані елементом Scope 2.

На даній осцилограмі спостерігається виконання основних режимів досліджуваного методу: прискореного старту при  $0 < i \leq 10$ , мультиплікативного скидання 1 при  $i = 11$ , відновлення при  $11 < i \leq 50$ , а також чергування режимів тонкої настройки та мультиплікативного скидання 2 при  $i > 50$ .

Аналіз рис. 3 показує, що в режимах прискореного старту та відновлення інтенсивність відправки сегментів суттєво відрізняється від реальної пропускної спроможності мережі.

Цей факт свідчить про те, що в цих режимах спостерігається зменшення ефективності управління потоками даних в мережі.

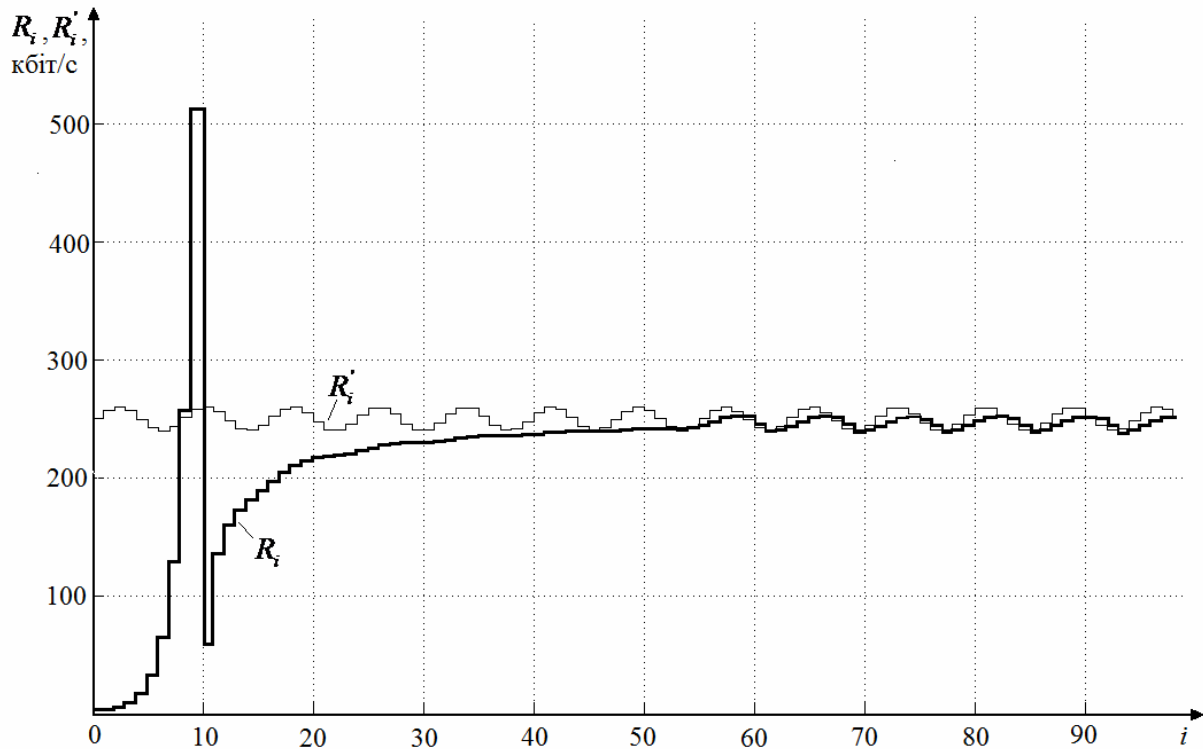


Рис. 3. Осцилограма віртуального регістратора *Scope 2*

## Висновки

1. Вперше розроблено математичну модель управління міжсегментним інтервалом в інформаційній мережі згідно з методом адаптивної швидкості з використанням програмного середовища MATLAB + Simulink.

2. Дана модель побудована з використанням стандартних блоків бібліотеки Simulink, є наочною та зручною для проведення досліджень.

Вона дозволяє оцінити ефективність роботи мережі при використанні методу адаптивної швидкості.

3. В результаті проведення імітаційних експериментів з використанням розробленої моделі встановлено суттєве зменшення ефективності функціонування мережі в режимах прискореного старту та відновлення, передбачених методом адаптивної швидкості.

4. Подальші дослідження за даним науковим напрямком доцільно присвятити кількісній оцінці

ефективності процесу управління міжсегментним інтервалом в інформаційній мережі.

### Література

1. Паркер Т. TCP/IP. Для профессионалов / Т. Паркер. – СПб.: Питер, 2004. – 859 с.
2. Таненбаум Э. Компьютерные сети: Пер. с англ. / Э. Таненбаум. – СПб.: Питер, 2002. – 848 с.
3. Alekseev I.V. Compensation Mechanism for Adaptive Rate TCP / I.V. Alekseev, V.A. Sokolov // 1<sup>st</sup> International IEEE Seminar "Internet: Technologies and Services". – October 1999. –P. 68-75.
4. Сергиенко А.Б. Цифровая обработка сигналов / А.Б. Сергиенко. – СПб.: Питер, 2003. – 604 с.
5. Дьяконов В.П. MATLAB 6/6.1/6.5 + Simulink 4/5. Основы применения. Полное руководство пользователя / Дьяконов В.П. – М.: СОЛОН-Пресс. – 2002. – 768 с.
6. Вишневецкий В. Теоретические основы проектирования компьютерных сетей / В. Вишневецкий. – М.: Техносфера, 2003. – 512 с.
7. Математичні основи теорії телекомунікаційних систем / В.В.Поповський, С.О.Сабурова, В.Ф.Олійник, Ю.І.Лосєв, Д.В.Агєєв та ін.: – Х.: ТОВ «Компанія СМІТ», – 2006. – 564 с.

Надійшла до редакції 12.02.2009

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. зав. кафедри комп'ютерних інформаційних технологій і систем А.Л. Ляхов, Полтавський національний технічний університет, Полтава, Україна.

### МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ УПРАВЛЕНИЯ МЕЖСЕГМЕНТНЫМ ИНТЕРВАЛОМ В ИНФОРМАЦИОННОЙ СЕТИ В СООТВЕТСТВИИ С МЕТОДОМ АДАПТИВНОЙ СКОРОСТИ

*Н.В. Рвачева*

В работе предлагается математическая модель управления межсегментным интервалом в информационной сети в соответствии с методом адаптивной скорости. Данная модель позволяет качественно оценить эффективность работы информационной сети в разных режимах, предусмотренных методом адаптивной скорости. В результате проведения имитационных экспериментов, с использованием разработанной модели, установлено существенное уменьшение эффективности функционирования сети в режимах ускоренного старта и восстановления.

**Ключевые слова:** интенсивность отправки сегментов, межсегментный интервал, математическая модель, информационная сеть.

### MATHEMATICAL MODEL A CONTROL SEGMENT INTERVAL OF INFORMATION NETWORK IN COMPLIANCE WITH METHOD ADAPTIVE RATE

*N.V. Rvachova*

The mathematical model a control segment of information network in compliance with method adaptive rate is proposed. This model allows to estimate efficiency of information network in different conditions, according with method of adaptive rate. It was determined that network efficiency is essentially decreased in the modes of speed-up and recovery.

**Key words:** intensity of send of segments, segment interval, mathematical model, information network.

**Рвачова Наталія Володимирівна** – старший викладач кафедри факультету засобів військового зв'язку Військового інституту телекомунікацій та інформатизації НТУУ «КПІ», Полтава, Україна.