

УДК 621.396

К.О. ПОЛЬЩИКОВ, В.В. ШКІЦЬКІЙ, Ю.М. ЗДОРЕНКО

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

## ІМІТАЦІЙНА МОДЕЛЬ ПЕРЕДАВАННЯ ДАНИХ В ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНІЙ МЕРЕЖІ, В ЯКІЙ УПРАВЛІННЯ ВІКНОМ ПЕРЕВАНТАЖЕННЯ ЗДІЙСНЮЄТЬСЯ ЗГІДНО З ПРОТОКОЛОМ TCP

*Пропонується імітаційна модель передавання даних у телекомунікаційній мережі, в якій управління вікном перевантаження здійснюється згідно з протоколом TCP Reno. Модель розроблено з використанням засобів системи MATLAB + Simulink. Адекватність моделі обґрунтовано шляхом перевірки коректності обчислень, здійснюваних при імітації досліджуваного процесу, і визначення відповідних параметрів у контрольних точках. Розроблену модель доцільно використовувати для оцінки ефективності управління вікном перевантаження та дослідження закономірностей процесу передавання даних в TCP-мережі.*

**Ключові слова:** вікно перевантаження, телекомунікаційна мережа, імітаційна модель, інтенсивність відправлення даних.

### 1. Обґрунтування актуальності досліджень

Відомо, що основними вимогами, які повинні виконуватися при передачі даних в телекомунікаційних мережах з комутацією пакетів, є висока достовірність і задана оперативність (своєчасність) доставки інформації. Забезпечення безпомилкової доставки інформації досягається за допомогою встановлення віртуальних з'єднань, реалізації квитування і здійснення повторних передач втрачених або спотворених даних. Виконання зазначених процедур передбачене протоколом транспортного рівня TCP (Transmission Control Protocol) [1 – 4]. Згідно з логікою даного протоколу відправлення адресатові чергового сегменту (інформаційного блоку транспортного рівня) дозволяється тільки після отримання відповідної квитанції, що уповільнює процес передачі інформації. Тому засоби, що використовуються для підвищення достовірності доставки даних, суттєво знижують її оперативність.

Своєчасність доставки даних в значній мірі залежить від інтенсивності відправлення сегментів на передавальному боці. Якщо значення цього параметра буде дуже високим, то це викликати переповнення каналних черг, призведе до перевантаження мережі, втрат сегментів і вимушених повторних передач. Дуже низька інтенсивності відправлення сегментів сприятиме роботі мережі в недовантаженому режимі, при цьому доступна пропускна спроможність мережі буде використовуватись нерационально. В обох випадках процес доставки інформації сповільнюватиметься. Максимально прискорити процес доставки даних дозволяє рішення зада-

чі, що полягає в узгодженні інтенсивності відправки сегментів з величиною доступної для даного віртуального з'єднання пропускної здатності мережі [5, 6]. Успішно розв'язати цю задачу дуже складно в умовах швидкої зміни завантаженості каналів і високої імовірності спотворення інформації, що передається.

Різні модифікації протоколу TCP для управління інтенсивністю відправлення сегментів використовують ті або інші методи управління вікном перевантаження [1 – 4]. Вікно перевантаження  $w(t)$  визначає кількість сегментів, які на момент часу  $t$  можуть бути відправлені джерелом і не підтверджені відповідними квитанціями. Виходячи з цього визначення, відправка чергового сегмента джерелом в момент часу  $t$  дозволяється при виконанні умови:

$$w(t) - 1 \geq a(t), \quad (1)$$

де  $a(t)$  – кількість відправлених джерелом, але не підтверджених відповідними квитанціями сегментів, що спостерігається в момент часу  $t$ .

У версії TCP Tahoe для управління вікном перевантаження застосовуються методи повільного старту, запобігання перевантаженню, а також мультиплікативного скидання вікна до розмірів одного сегменту.

В протоколі TCP Reno [7] окрім зазначених методів використовується метод швидкого відновлення, за допомогою якого інтенсивність відправки сегментів джерелом в певних ситуаціях набуває адекватніших значень. Відомі інші версії протоколу TCP, наприклад, TCP Vegas [8], BIC-TCP [9], що ґрунтуються на реалізації більш складних методів управління вікном перевантаження.

Основний недолік відомих методів управління вікном перевантаження, використання яких передбачено розглянутими версіями TCP, полягає у тому, що їхня реалізація не дозволяє усунути різницю (часто досить суттєву) між поточними значеннями інтенсивності відправлення даних джерелом та пропусковою здатністю мережі, доступної для передавання відповідних даних. Крім того, будь-який TCP-передавач інтерпретує втрату сегмента як ознаку перевантаження мережі та реагує на цю подію різким зменшенням інтенсивності відправлення даних. Якщо потім здійснюється успішна доставка відправлених адресатові сегментів, то передавач стрімко збільшує розмір вікна, поки сегмент не буде втрачено знову. Такі пульсації (сплески) трафіку призводять до виникнення і посилення мережних перевантажень, збільшення кількості втрачених сегментів, що спричиняє уповільнення процесу передачі даних.

Наявність зазначених недоліків обумовлює необхідність розробки нових теоретично обґрунтованих методів управління інтенсивністю відправлення даних джерелом в телекомунікаційних мережах. Для усунення причин недосконалості існуючих методів управління вікном перевантаження необхідне глибоке вивчення закономірностей та особливостей процесу передавання даних в TCP-мережі. У зв'язку з цим набуває актуальності застосування імітаційного моделювання, що дозволяє на потрібному рівні виконати складні наукові дослідження, перевірити можливість реалізації теоретичних ідей, а також оцінити і порівняти ефективність здійснення будь-якого процесу на базі як відомих, так і новостворюваних методів.

## 2. Аналіз останніх досліджень і публікацій

Зараз одним з найбільш поширених засобів імітаційного моделювання телекомунікаційних мереж є система Network Simulator 2 (ns2) – об'єктно-орієнтоване програмне забезпечення, ядро якого реалізовано на C++. Серед багатьох переваг ns2 слід зазначити, що в цій системі реалізовано майже усі відомі мережні протоколи і алгоритми, у тому числі різні модифікації TCP [10]. Проте даному засобу імітаційного моделювання притаманні суттєві недоліки [11]. По-перше, існують певні обмеження в дослідженні алгоритмів, реалізованих у середовищі ns2. Програмне забезпечення ns2 надає обмежений набір засобів, що реєструють результати імітаційних експериментів. Для додаткового детального вивчення досліджуваного процесу, наприклад, аналізу формування кожного управляючого сигналу або просування по мережі будь-якого пакету потрібна відповідна модифікація програмного коду. По-

друге, досить складно створити модель, що реалізує в системі ns2 функціонування нового алгоритму. Наприклад, виникають значні труднощі при модифікації програмного забезпечення ns2 з метою оцінки ефективності управління мережними параметрами, що здійснюється за допомогою засобів штучного інтелекту. Розробка будь-яких нових моделей для ns2 є проблематичною, бо потребує використання спеціальних знань і навичок.

Зазначених недоліків позбавлена система комп'ютерної математики MATLAB з розширенням Simulink, яка зараз фактично є стандартом в області наукових імітаційних експериментів та технічних обчислень [12, 13]. Моделі у цьому середовищі створюються у графічному (схематичному) вигляді шляхом перенесення стандартних блоків з бібліотеки компонентів Simulink Library Browser у вікно редагування.

Найбільшими перевагами цієї системи є простота розробки адекватних моделей, їхня наочність, необмежені можливості аналізу досліджуваних процесів, підтримка потужної бази відомих правил і методів математичних обчислень, спеціальних прикладних пакетів розширення. Існує достатня кількість прикладів успішного використання зазначеного програмного середовища для імітації різноманітних процесів, що здійснюються в телекомунікаційних системах та мережах [11, 14 – 18]. Тому цілком обґрунтованою є спроба застосувати систему MATLAB + Simulink для імітаційного моделювання процесу управління вікном перевантаження в телекомунікаційній мережі, що функціонує згідно з протоколом TCP.

## 3. Мета статті

Метою статті є розробка імітаційної моделі передавання даних в телекомунікаційній мережі, в якій управління вікном перевантаження здійснюється згідно з протоколом TCP.

## 4. Основний матеріал дослідження

Найбільшого поширення для передавання даних в телекомунікаційних мережах набув протокол TCP Reno, згідно з яким управління вікном перевантаження в телекомунікаційній мережі здійснюється на основі використання методів повільного старту, запобігання перевантаженню, мультиплікативного скидання та швидкого відновлення.

На початку передачі повідомлення після встановлення TCP-з'єднання для управління вікном перевантаження використовується метод *повільного старту*. При цьому значення вікна перевантаження  $w(t)$  спочатку є рівним 1 (розміру одного сегмента).

Кожного разу при одержанні джерелом квитанції величина вікна  $w(t)$  збільшується на 1:

$$w(t) = w(t - \Delta t) + 1, \quad (2)$$

де  $\Delta t$  – інтервал часу, що визначає періодичність управління вікном перевантаження.

Після одержання квитанції на перший сегмент розмір вікна згідно з формулою (1) встановлюється рівним 2, тобто збільшується вдвічі. Далі джерело послідовно відправляє вже два сегменти (другий та третій) та очікує на них квитанції. Після одержання квитанції на другий сегмент встановлюється значення  $w = 3$ , а після підтвердження третього сегмента значення вікна перевантаження збільшується до 4. Отже, одержавши підтвердження на всі сегменти, відправлені в рамках попереднього значення  $cwnd$ , джерело вдвічі збільшує вікно перевантаження. В результаті спостерігається експоненціальне зростання функції  $w(t)$ , яке дозволяє досить швидко збільшувати інтенсивність відправлення даних джерелом.

Експоненціальне зростання вікна триває, поки поточне значення цієї величини не буде перевищувати значення порогу  $\xi(t)$ , тобто поки не виконується умова:

$$w(t) \geq \xi(t). \quad (3)$$

Після виконання умови (3) за версією TCP Reno для управління вікном передбачено використання методу *запобігання перевантаженню*. Суть даного методу полягає у лінійному (більш повільному) зростанні величини  $w(t)$ . Кожного разу при одержанні джерелом квитанції поточне значення вікна перевантаження збільшується на величину  $\frac{1}{w(t - \Delta t)}$ :

$$w(t) = w(t - \Delta t) + \frac{1}{w(t - \Delta t)}. \quad (4)$$

У момент відправлення джерелом кожного сегмента запускається таймер повторного передавання RTO (Retransmission Time-Out), за допомогою якого здійснюється відлік тайм-ауту – заданого часу очікування квитанції на відповідний сегмент. Якщо RTO спрацює, тобто джерело не одержує квитанцію на певний сегмент до того моменту, коли тайм-аут буде вичерпано, то здійснюється негайне повторне передавання цього сегмента. У цьому випадку використовується метод *мультиплікативного скидання*, згідно з яким поріг  $\xi(t)$  знижується до половини значення вікна:

$$\xi(t) = \frac{w(t - \Delta t)}{2}, \quad (5)$$

а величина  $w(t)$  зменшується до розміру одного сегмента, тобто  $w(t) = 1$ . Після виконання мультип-

лікативного скидання знову здійснюється експоненціальне зростання вікна, передбачене методом повільного старту.

Розробниками TCP Reno передбачено виконання мультиплікативного скидання лише у тих випадках, якщо відповідні сегменти втрачаються у наслідок мережних перевантажень. Якщо ж до джерела надходять підряд декілька квитанцій на один і той же сегмент з номером  $n$ , то це свідчить про те, що перевантаження немає, сегмент номер  $(n + 1)$  «заблукав» у мережі або його було спотворено, а ряд наступних відправлених джерелом сегментів успішно доставлені адресатові. В подібних випадках немає сенсу різко знижувати інтенсивність передавання даних джерелом шляхом зменшення вікна до розміру одного сегмента. При надходженні на передавальний бік трьох дублікатів квитанції на сегмент номер  $n$  протоколом TCP Reno передбачено виконання методу *швидкого відновлення*, згідно з яким здійснюється негайне повторне передавання сегмента номер  $(n + 1)$ , значення порогу обчислюється по формулі (5), а величина вікна встановлюється рівною оновленому значенню порогу:  $w(t) = \xi(t)$ . Зрозуміло, що після швидкого відновлення значення вікна обчислюється згідно з методом запобігання перевантаженню.

З використанням засобів системи MATLAB + Simulink розроблено імітаційну модель передавання даних у телекомунікаційній мережі, в якій управління вікном перевантаження здійснюється згідно з протоколом TCP Reno. У досліджуваній мережі джерело TCP-потoku відправляє сегменти вузлу-адресатові через маршрутизатор №1. Вузол-адресат, у свою чергу, передає квитанції джерелу через маршрутизатор №2. Через маршрутизатор №1 у напрямку вузла-адресата сегменти відправляє також джерело, що функціонує згідно з протоколом UDP (User Datagram Protocol) [1 – 4], який використовується для передавання потоків реального часу. Пропускна здатність фізичного каналу, що з'єднує маршрутизатор №1 з вузлом-адресатом, використовують два конкуруючих потоки, які утворені TCP-сегментами та UDP-сегментами. Якщо у момент надходження сегмента до маршрутизатора №1 зазначений канал виявився зайнятим, то цей сегмент буферизується. Максимальне значення поточної черги TCP-сегментів у вихідному буфері маршрутизатора №1 обмежено розміром восьми сегментів. Структурну схему моделі зображено на рис. 1.

Елементи цієї моделі імітують:

*TCP Flow Transmitter* – відправлення сегментів та приймання квитанцій джерелом TCP-потoku, управління вікном перевантаження;

*UDP Flow Transmitter* – відправлення сегментів джерелом UDP-потoku;

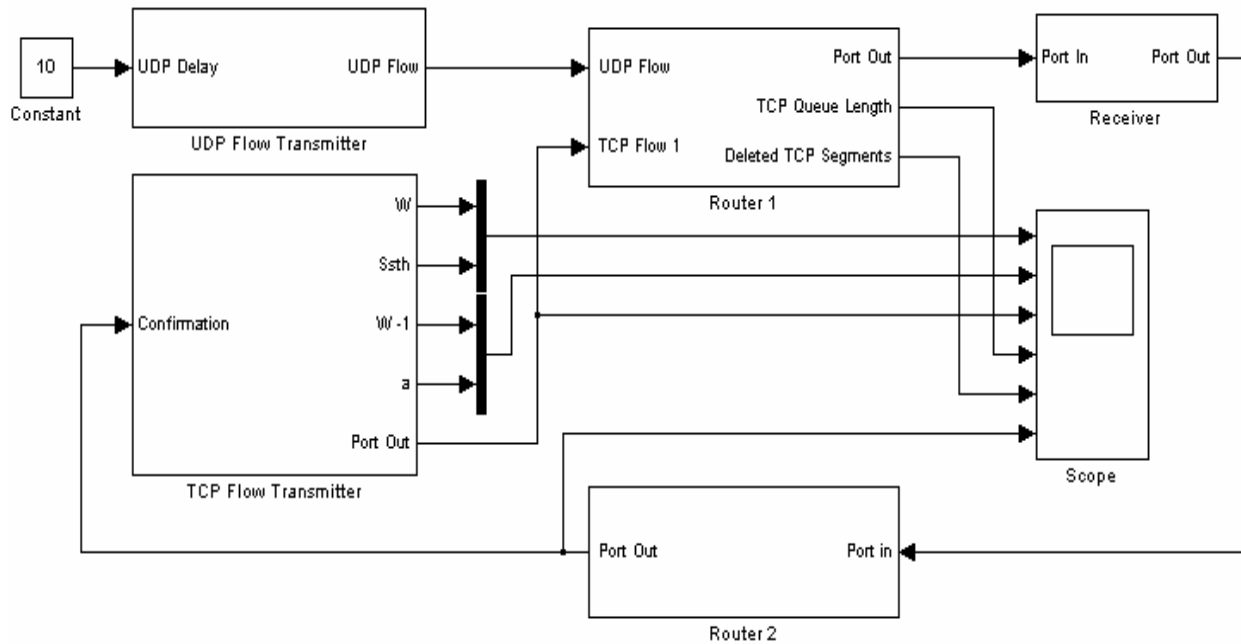


Рис. 1. Структурна схема імітаційної моделі передавання даних у телекомунікаційній мережі, в якій управління вікном перевантаження здійснюється згідно з протоколом TCP Reno

*Constant* – встановлення часового інтервалу між відправленням UDP-сегментів;

*Router 1* – приймання маршрутизатором №1 сегментів, що належать TCP-потoku та UDP-потoku, їхня буферизація та відправлення адресатові, вимірювання величини  $Q(t)$  – поточної черги TCP-сегментів у вихідному буфері маршрутизатора №1, відкидання TCP-сегментів при відсутності вільної буферної пам'яті;

*Receiver* – приймання адресатом сегментів, відправлення квитанції на TCP-сегменти;

*Router 2* – приймання маршрутизатором №2 квитанцій та відправлення цих квитанцій джерелу TCP-потoku; *Scope* – візуальне відображення поточних значень  $w(t)$  сумісно з поточними значеннями  $\xi(t)$ , поточних значень різниці  $(w(t)-1)$  сумісно з

поточними значеннями  $a(t)$ , моментів часу відправлення TCP-сегментів джерелом, поточних значень величини  $Q(t)$ , моментів часу втрати TCP-сегментів у наслідок перевантаження, моментів часу надходження до джерела квитанцій.

Усі зазначені вище елементи моделі побудовані з використанням стандартних блоків бібліотеки Simulink Library Browser. На жаль, обмежений обсяг статті не дозволяє зробити детальний опис структури окремих елементів моделі.

Розроблену модель було використано для проведення серії імітаційних експериментів, результати одного з яких розглянуто нижче.

На рис. 2 – 7 приведено осцилограми різних каналів віртуального регістратора *Scope*, аналіз яких підтверджує адекватність пропонованої моделі.

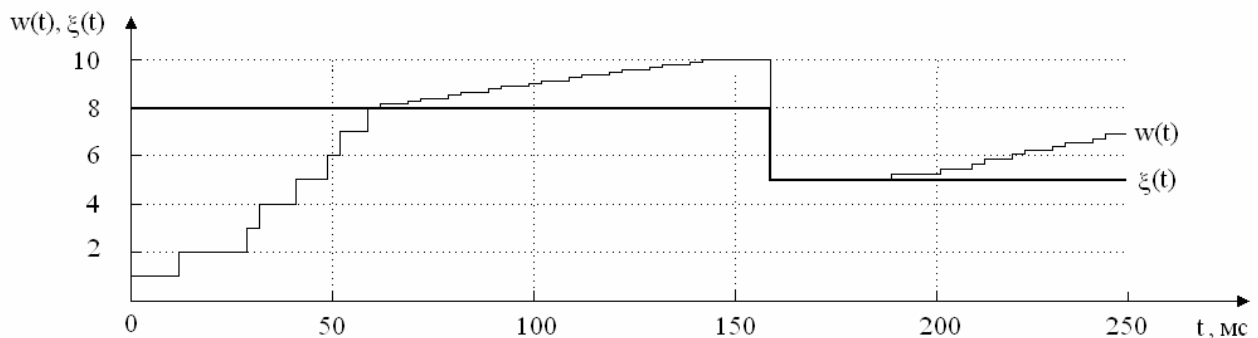
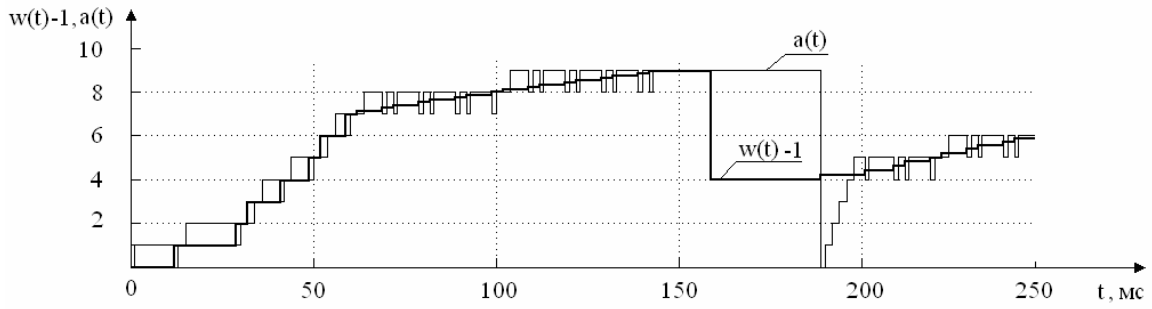
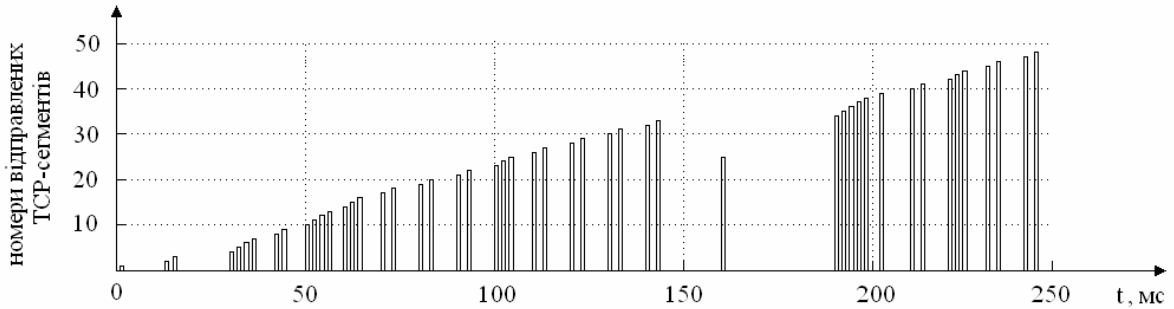
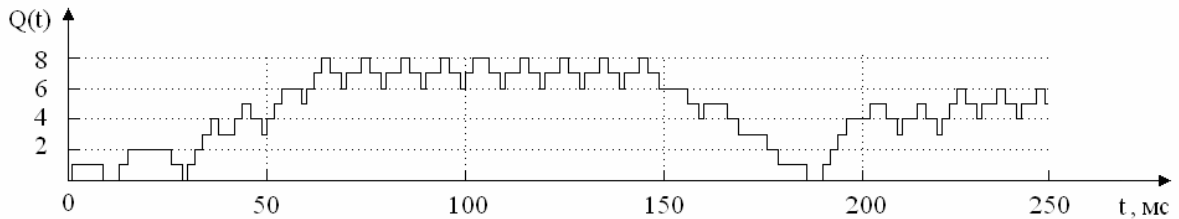
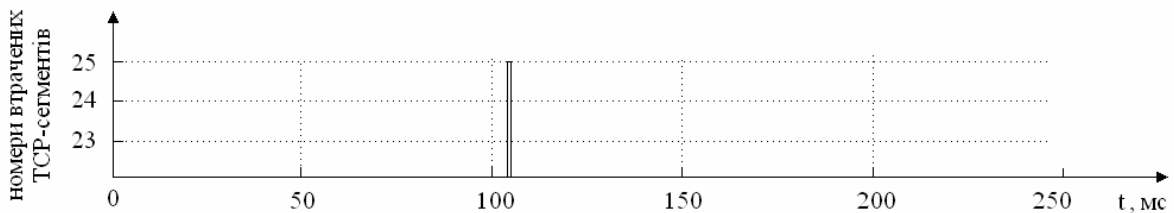
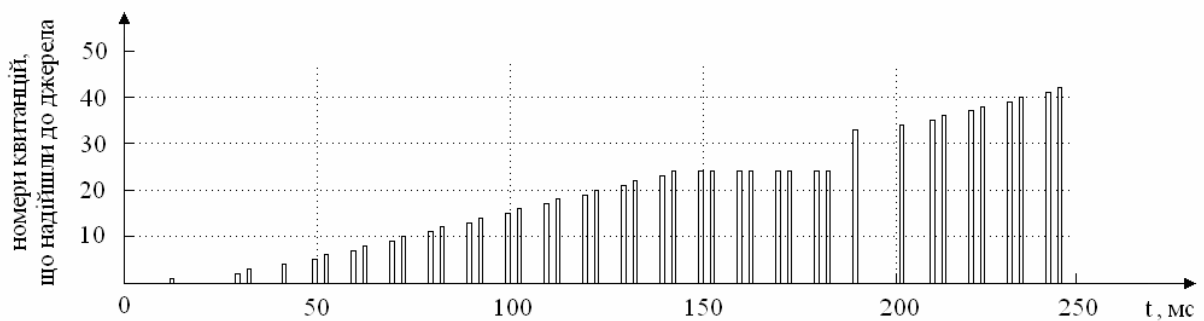


Рис. 2. Осцилограма 1-го каналу віртуального регістратора *Scope*

Рис. 3. Осцилограма 2-го каналу віртуального реєстратора *Score*Рис. 4. Осцилограма 3-го каналу віртуального реєстратора *Score*Рис. 5. Осцилограма 4-го каналу віртуального реєстратора *Score*Рис. 6. Осцилограма 5-го каналу віртуального реєстратора *Score*Рис. 7. Осцилограма 6-го каналу віртуального реєстратора *Score*

Наприклад, на рис. 2 видно, що на початку експерименту відбувалося експоненціальне зростання вікна перевантаження згідно з методом повільного старту. В момент часу  $t = 59$  мс було виконано умову (3), після чого спостерігається лінійне зростання вікна згідно з методом запобігання перевантаженню. Потім, у момент часу  $t = 159$  мс на рис. 2 спостерігаємо зменшення вдвічі вікна перевантаження згідно з методом швидкого відновлення, а у наступний момент часу  $t = 160$  мс здійснюється повторне передавання сегмента №25 (рис. 4). Причиною зазначених подій є надходження до джерела TCP-сегментів саме у цей момент часу третього дублікату квитанції на пакет №24 (рис. 7). Поява дублікатів квитанцій спричинена тим, що у момент часу  $t = 104$  мс до маршрутизатора №1 надійшов сегмент №25 (див. рис. 4), а саме у цей момент часу  $Q(t) = 8$  (рис. 5), у наслідок чого сегмент №25 було втрачено (рис. 6).

Величина  $w(t)$  знову починає лінійно зростати згідно з методом запобігання перевантаженню, починаючи з моменту часу  $t = 189$  мс (рис. 3), тому що в цей момент часу до джерела надходить потрібна квитанція (№ 33) (див. рис. 7). Крім того, аналіз показує, що у ті моменти часу, коли виконується умова (1) (див. рис. 3), джерело TCP-потоків здійснює відправлення сегментів (рис. 4).

Зазначені вище результати спостережень свідчать про те, що розроблена модель є адекватною і дійсно відповідає логіці протоколу TCP Reno.

## Висновки

1. З використанням засобів системи MATLAB + Simulink розроблено імітаційну модель передавання даних у телекомунікаційній мережі, в якій управління вікном перевантаження здійснюється згідно з протоколом TCP Reno.

2. Адекватність моделі підтверджується результатами спостережень і вимірювань в контрольних точках досліджуваного процесу.

3. Пропоновану модель доцільно використовувати для оцінки ефективності управління вікном перевантаження та дослідження закономірностей процесу передавання даних в TCP-мережі.

## Література

1. Столлингс В. *Современные компьютерные сети* / В. Столлингс. – 2-е изд. – СПб.: Питер, 2003. – 783 с.

2. Кучерявый Е.А. *Управление трафиком и качество обслуживания в сети Интернет* / Е.А. Кучерявый. – СПб.: Наука и техника, 2004. – 336 с.

3. Паркер Т. *TCP/IP. Для профессионалов* / Т. Паркер, К. Сиян. – 3-е изд. – СПб.: Питер, 2004. – 859 с.

4. Куроуз Дж. *Компьютерные сети* / Дж. Куроуз, К. Росс. – 2-е изд. – СПб.: Питер, 2004. – 765 с.

5. Польщиков К.О. *Управление интенсивностью передавания данных в информационных сетях, что осуществляется на транспортном уровне модели OSI: методы, проблемы та шляхи удосконалення* / К.О. Польщиков, Н.В. Рвачова, В.В. Шкіцькій // *Інформаційні інфраструктури та технології*. – Полтава, 2009. – Вип. 1. – С. 55-58.

6. Alekseev I.V. *ARTCP: Efficient Algorithm for Transport Protocol for Packet Switched Networks* / I.V. Alekseev, V.A. Sokolov // *Proc. Of PaCT'2001*. – Springer-Verlag, 2001. – Vol. 2127. – P. 159-174.

7. Rath H.K. *Cross Layer Congestion Control Algorithm in Wireless Networks for TCP Reno-2* / H.K. Rath, A. Sahoo, A. Karandikar // *IEEE Wireless Communications*, August 2005.

8. Brakmo L. *TCP Vegas: End to End Congestion Avoidance on a Global Internet* / L. Brakmo, L. Peterson // *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, 13 (8), 1995.

9. Барааш Л. *Новый транспортный протокол BIC-TCP обещает преобразить Internet*. – <http://itc.ua/node/17139>.

10. Міночкін А.І. *Системи імітаційного моделювання мереж зв'язку* / А.І. Міночкін, В.А. Романюк // *Збірник наукових праць*. – К.: ВІПІ НТУУ «КПІ», 2003. – Вип. 1. – С. 84-87.

11. Польщиков К.О. *Імітаційна модель активного управління чергою на основі методу випадкового завчасного виявлення перевантаження в телекомунікаційній мережі* / К.О. Польщиков, С.В. Дружинін, Ю.М. Здоренко // *Системи управління, навігації та зв'язку*. – К.: ЦНДІНУ, 2009. – Вип. 4(12). – С. 169-174.

12. 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.

13. Леоненков А.В. *Нечеткое моделирование в среде MATLAB и fuzzyTECH* / А.В. Леоненков. – СПб.: БХВ-Петербург, 2003. – 703 с.

14. Сергиенко А.Б. *Цифровая обработка сигналов* / А.Б. Сергиенко. – 2-е изд. – СПб.: Питер, 2006. – 751 с.

15. Позняк С.В. *Засоби передачі потокового TCP-трафіку на базі NDIS та MATLAB для умова високого джиттеру* / С.В. Позняк, М.І. Губенко // *Вісник Вінницького політехнічного інституту*. – Вінниця, 2009. – №1. – С. 62-66.

16. Гостев В.И. *Системы автоматического регулирования мощности передатчика в каналах радиосвязи* / В.И. Гостев, Н.И. Кунах, М.И. Науменко. – К.: Радиоаматор, 2007. – 332 с.

17. Рвачова Н.В. *Математична модель управління міжсегментним інтервалом в інформаційній*

мережі згідно з методом адаптивної швидкості // *Н.В. Рвачова. – Радіоелектронні і комп'ютерні системи. – 2009. – Вип. 7(41). – С. 13-18.*

18. *Польщиков К.О. Метод управління таймаутом повторної передачі в телекомунікаційній*

*мережі військового призначення на основі використання системи нейро-нечіткого виводу / К.О. Польщиков // Збірник наукових праць. – К.: ВІПІ НТУУ «КПІ», 2008. – Вип. 3. – С. 98-108.*

*Надійшла до редакції 17.01.2010*

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. А.Л. Ляхов, зав. кафедрою комп'ютерних інформаційних технологій і систем Полтавського національного технічного університету ім. Ю. Кондратюка, Полтава.

### ИМИТАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ В ТЕЛЕКОМУНИКАЦИОННОЙ СЕТИ, В КОТОРОЙ УПРАВЛЕНИЕ ОКНОМ ПЕРЕГРУЗКИ ОСУЩЕСТВЛЯЕТСЯ В СООТВЕТСТВИИ С ПРОТОКОЛОМ TCP

*К.А. Польщиков, В.В. Шкицкий, Ю.Н. Здоренко*

Предлагается имитационная модель передачи данных в телекоммуникационной сети, в которой управление окном перегрузки осуществляется в соответствии с протоколом TCP Reno. Модель разработана с использованием средств системы MATLAB + Simulink. Адекватность модели обоснована путем проверки корректности вычислений, осуществляемых при имитации исследуемого процесса, и определения соответствующих параметров, в контрольных точках. Разработанную модель целесообразно использовать для оценки эффективности управления окном перегрузки и исследования закономерностей процесса передачи данных в TCP-сети.

**Ключевые слова:** окно перегрузки, телекоммуникационная сеть, имитационная модель, интенсивность отправки данных

### SIMULATION MODEL OF DATA COMMUNICATION IN TELECOMMUNICATION NETWORK IN WHICH A MANAGEMENT THE WINDOW OF OVERLOAD IS CARRIED OUT IN ACCORDANCE WITH PROTOCOL OF TCP

*K.O. Polshchykov, V.V. Shkitskiy, Y.M. Zdorenko*

The simulation model of data communication in telecommunication network in which a management the window of overload is carried out in accordance with protocol of TCP Reno is offered. A model is developed with the use of facilities of MATLAB + Simulink system. Model adequacy is grounded by verification of correctness of calculations, carried out during the imitation of the probed process, and determination of the proper parameters, in control points. It is expedient to utilize the developed model for the estimation of management the overload window efficiency and research of conformities to the law of data communication process in a TCP- network.

**Key words:** window of overload, telecommunication network, simulation model, intensity of information dispatch

**Польщиков Костянтин Олександрович** – канд. техн. наук, доцент, докторант науково-організаційного відділу Військового інституту телекомунікацій та інформатизації НТУУ «КПІ», Полтава, Україна, e-mail: konspol@rambler.ru.

**Шкіцький Володимир Володимирович** - старший інженер обчислювальної групи центру АСУ Військового інституту телекомунікацій та інформатизації НТУУ «КПІ», Полтава, Україна, e-mail: shkid-di@pochta.ru.

**Здоренко Юрій Миколайович** - старший інженер обчислювальної групи центру АСУ Військового інституту телекомунікацій та інформатизації НТУУ «КПІ», Полтава, Україна, e-mail: zdor@front.ru.