

- латентність знизилась у 5 разів – від 263,5 нс до 53,75 нс;
- кількість необхідних елементів зменшилась в чотири рази – від 5248 до 1311 блоків;
- мінімальна тактова частота зросла на 36 % – від 136,63 до 186,05 МГц.

Значна частина показників покращена за рахунок ширшого використання пам'яті, об'єм якої становить 489 Кбіт. Це значення може змінюватись залежно від платформи і впливати на латентність. Враховуючи низьку ресурсоемність алгоритму в представленому кристалі можливо реалізувати до 56 паралельних конвеєрів алгоритму на основі методу перекодування кута, кількість яких обмежується кількістю помножувачів, а розрядність – кількістю логічних елементів. Внутрішня сумарна пропускна здатність такої конфігурації перевищує 200 Гбіт/с, а всі ітерації містять логічне навантаження, що збільшує корисну роботу алгоритму.

Література

1. Volder, J. Binary computation algorithms for coordinate rotation and function generation / J. Volder // Convair Report IAR-1 148 Aeroelectronics Group, June 1956.
2. Volder, J. The CORDIC Trigonometric Computing Technique / J. Volder // IRE Trans. Electronic Computing. – Vol. EC-8. – Pp. 330-334 Sept 1959.
3. F. de Dinechin "Fixed-point trigonometric functions on FPGAs", in Proceedings of the 4th International Symposium on Highly-Efficient Accelerators and Reconfigurable Technologies / F. de Dinechin, M. Itoan, and G. Sergent // Royaume-Uni, Edimburgh, UK, March 2013.
4. Francisco AGUIRRE-RAMOS, Alicia MORALES-REYES, Rene CUMPLIDO, Claudia FE-REGRINO-URIBE. An Area Efficient Composed CORDIC Architecture. Advances in Electrical and Computer Engineering. – Vol. 14, Number 2, 2014. – Pp. 113-116.
5. Shoab, A.K. Digital design of signal processing systems: A practical approach (1st ed). New York, NY: John Wiley, 2011.
6. P.K. Meher, J. Valls, T.-B. Juang, K. Sridharan, and K. Maharatna. 50 years of cordic: Algorithms, architectures, and applications. IEEE Transactions on Circuits and Systems I: Regular papers, Sept. 2009. – Vol. 56(9). – Pp. 1893-1907.
7. D. Timmermann, H. Hahn, and B. Hostika. Modified CORDIC algorithm with reduced iterations. Electronics Letters, 1989. – Vol. 25(15). – Pp. 950-951.
8. Jean-Michel Muller. Elementary Functions: Algorithms and Implementation. Second Edition, Birkhauser, 2006.
9. Pramod K. Meher and S.Y. Park. CORDIC Designs for Fixed Angle of Rotation. IEEE transactions on very large scale integration (VLSI) systems. Issue: 99. – Pp. 1-12.7 March, 2012.
10. Lakshmi B. and Dhar A.S. CORDIC Architectures: A Survey. VLSI Design. – Vol. 2010, Article ID 794891, 19 pages, January 8, 2010.
11. Beuler M. CORDIC-Algorithmus zur Auswertung elementarer Funktionen in Hardware. FH-Report. Juni 2008. [Electronic resource]. – Mode of access <http://dok.bib.fhgiessen.de/opus/volltexte/2009/4148/>.
12. Pramod K. Meher, Javier Valls, Tso-Bing Juang, K. Sridharan, Koushik Maharatna. 50 Years of CORDIC: Algorithms, Architectures, and Applications. IEEE TRANSACTIONS ON CIRCUITS AND SYSTEMS – I: REGULAR PAPERS. – Vol. 56, No. 9, SEPTEMBER 2009. – Pp. 1893-1907.
13. [Electronic resource]. – Mode of access http://www.altera.com.cn/content/dam/altera-www/global/zh_CN/pdfs/literature/ug/ug_altfp_mfug.pdf
14. [Electronic resource]. – Mode of access http://www.altera.com/content/dam/altera-www/global/en_US/pdfs/literature/ug/ug_altfp_mfug.pdf.
15. Altera ALTFP_SINCOS quartus megafunction.
16. Мороз Л.В. Швидкодіючий гібридний CORDIC-обчислювач тригонометричних функцій / Л.В. Мороз, Я.І. Грабовський, Т.М. Микитів, Т.Р. Борецький, Ю.М. Костів, С.С. Войтусяк // Науковий вісник НЛТУ України : зб. наук.-техн. праць. – Львів : ПБВ НЛТУ України. – 2014. – Вип. 24.8. – С. 352-357.
17. Байков В.Д., Смолів В.Б. Специализированные процессоры: итерационные алгоритмы и структуры. – М. : Изд-во "Радио и связь", 1985. – 288 с.

18. Л. Мороз, Т. Борецький, Т. Луковський, С. Войтусяк. Модифікований CORDIC-метод обчислення синуса – косинуса // Комп'ютерні технології друкарства. – 2015. – № 33. – С. 72 – 80.
19. [Electronic resource]. – Mode of access http://en.wikipedia.org/wiki/Fixed-point_arithmetic
20. [Electronic resource]. – Mode of access <http://www.intel.com/content/dam/www/public/us/documents/manuals/64-ia-32-architectures-optimization-manual.pdf>
21. [Electronic resource]. – Mode of access http://developer.amd.com/wordpress/media/2012/10/47414_15_h_sw_opt_guide.pdf
22. [Electronic resource]. – Mode of access http://www.codemachine.com/downloads/AMD_SoftwareOptimizationGuide.pdf
23. [Electronic resource]. – Mode of access http://www.kit-e.ru/articles/plis/2011_12_36.php
24. [Electronic resource]. – Mode of access http://en.wikipedia.org/wiki/Arithmetico-geometric_sequence.

Мороз Л.В., Борецький Т.Р., Сколоздра М.М. Совершенствование метода CORDIC для вычисления тригонометрических функций средствами программируемой логической интегральной схемы

Приведены оптимизированные алгоритмы вычисления функций синуса-косинуса средствами программируемой логической интегральной схемы (ПЛИС), выявлены их преимущества и недостатки по сравнению с классическими реализациями и получены основные характеристики реализованных методов. Использование методов оптимизации вычислений синуса и косинуса в средствах ПЛИС дают возможность улучшить основные характеристики алгоритма в их аппаратной реализации по сравнению с классическим методом в виде мегафункции, с помощью которой существенно уменьшается количество тактов, латентность, количество необходимых блоков и увеличивается минимальная тактовая частота.

Ключевые слова: CORDIC, ПЛИС, алгоритм, латентность, мегафункция.

Moroz L.D., Boretsky T.R., Skolozdra M.M. Improvement of the CORDIC Method for Calculating Trigonometric Functions by Using FPGA Tools

The optimized algorithms for calculating the sine-cosine functions by using FPGA tools are presented; their advantages and disadvantages compared with classical implementations are shown; main characteristics of the implemented methods are obtained. Usage of optimization methods in calculating sine and cosine in FPGA tools makes enable improving the main characteristics of the algorithm in their hardware implementation compared to the classical method as mega functions, where substantially reduces the number of clock cycles, latency, number of required blocks and increases the minimum clock frequency.

Keywords: CORDIC, FPGA, algorithm, latency, mega functions.

УДК 004.[942+772]

*Доц. І.М. Дронюк, канд. фіз.-мат. наук;
аспир. О.Ю. Федевич – НУ "Львівська політехніка"*

ПРОГНОЗУВАННЯ ТРАФІКУ КОМП'ЮТЕРНОЇ МЕРЕЖІ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ВИКОРИСТАННЯ МЕРЕЖЕВОГО ОБЛАДНАННЯ

На основі розробленої інформаційної технології реалізовано моніторинг трафіку комп'ютерної мережі. Описано розроблене програмне забезпечення для моніторингу трафіку. На основі теорії Атеб-функцій реалізовано прогнозування тренду трафіку. Спираючись на результати прогнозування трафіку та максимальне допустиме завантаження вузла мережі для забезпечення якості обслуговування, реалізується перерозподіл навантаження у мережі. Здійснений перерозподіл забезпечує збільшення коефіцієнта завантаження обладнання, що підвищує ефективність використання мережевого обладнання.

Ключові слова: трафік, комп'ютерна мережа, моніторинг мережі, швидкість передачі даних, прогнозування трафіку, Атеб-функції.

Вступ. Основна вимога до комп'ютерних мереж з погляду якості обслуговування (QoS) – це виконання мережею її основної функції – забезпечення користувачам потенційної можливості доступу до всіх ресурсів комп'ютерів у мережі. Всі інші вимоги – продуктивність, надійність, сумісність, керованість, захищеність, розширюваність і масштабованість [1] – тісно пов'язані з якістю виконання цієї основної задачі.

Вузлове обладнання пакетних мереж є високоартістичним. З огляду економічної доцільності, необхідно забезпечувати ефективне використання ресурсів мережного обладнання. Збільшення коефіцієнта завантаження обладнання, який визначається як відношення швидкості передавання пакетів обладнанням до пропускної здатності обладнання, могло б істотно підвищити ефективність використання мережевого обладнання. Проблема полягає в тому, що трафік комп'ютерної мережі має скачкоподібний характер, що заважає забезпеченню високої завантаженості обладнання. Робота пакетної мережі може вважатися ефективною, якщо кожен її ресурс є істотно завантаженим, але не перенавантаженим. Застосування сучасних методів інженерії трафіку забезпечує коефіцієнт завантаження вузлового обладнання на рівні 0,5-0,55 [2]. Збільшення значення коефіцієнта завантаження на 0,05-0,1 дозволило б зекономити значні кошти.

У літературі пропонують кілька способів збільшення навантаження на мережеве обладнання за рахунок адаптивного перерозподілу пропускної спроможності вузлового обладнання у реальному часі. Один із способів балансування навантаження – це введення апаратного розподільвача навантаження (Hardware Load Balancer) у мережу між мережним обладнанням та серверами [3].

Розподільвач навантаження має всю інформацію про активність у мережі. Зокрема, обсяг трафіку до сервера або від нього, швидкість, з якою відповідає сервер на TCP/IP запити, кількість з'єднань, яке підтримує в даний момент часу кожен сервер, історія відповідей на попередні запити. У розподільвач навантаження закладено кілька стандартних алгоритмів, якими може скористатись системний адміністратор для покращання роботи мережі. Інший підхід запропоновано у роботі [2] – це створення адаптивної системи управління перерозподілом пропускної здатності вузлового обладнання між його портами, що враховує інформацію про "поведінку" трафіку у реальному часі.

У цій роботі пропонуємо на основі моніторингу мережі в реальному часі та розробленої математичної моделі прогнозування тренду трафіку мережі приймати ефективно рішення про розподіл навантаження обладнання. Розглянуто параметри, що впливають на якість обслуговування мережею: продуктивність, надійність, сумісність, керованість, захищеність, розширюваність і масштабованість та їх зв'язок з такими основними параметрами трафіку у мережі: пропускна здатність; затримка передачі та варіація затримки передачі (джиттер) [1].

Метою роботи є експериментальне дослідження та аналіз трафіку комп'ютерної мережі в реальному часі на основі спостережень над комп'ютерною мережею кафедри автоматизованих систем управління (АСУ) НУ "ЛП". Інструментом для дослідження є розроблена інформаційна технологія моніторингу мережі за параметрами: сумарний трафік на сервері, пропускна здатність, затримка передачі та варіація затримки передачі (джиттер). Здійснений аналіз

трафіку використовується для прогнозування тренду трафіку на наступні 3-5 хв, що використовується для оптимізації завантаження мережевого обладнання.

Моніторинг трафіку у мережі. Для підвищення коефіцієнта завантаження вузлового обладнання необхідно мати прогнозовану поведінку трафіку мережі з метою перерозподілу трафіку в мережі. Для використання математичної моделі прогнозування трафіку, запропонованої у [4], було проведено онлайн експериментальні дослідження трафіку у комп'ютерних мережах. Для збирання експериментальних даних завантаження мережі використано мережу кафедри АСУ НУ "ЛП" (травень 2015 р.). Збір даних проводили за допомогою середовища розробленої інформаційної технології [5]. Мережа кафедри АСУ містить близько 20 робочих комп'ютерів співробітників, що завантажені в середньому з 8:30 до 17:30, близько 4 комп'ютерів завантажені до 21:00, та 3 комп'ютерні класи з 32 робочими станціями, які завантажені в середньому з 8:30 до 16:00. На рис. 1 показано візуалізацію проведених спостережень у вікні розробленого ужитку за параметром сумарного трафіку на сервері. Створено аналізатор роботи комп'ютерної мережі, який призначений для забезпечення автоматизованого збирання інформації з мережевих пристроїв та забезпеченню процесу контролю роботи каналів зв'язку. Він передбачає автоматизацію процесу збирання та аналізу характеристик мережі та їх відображення у зручному форматі для адміністратора.

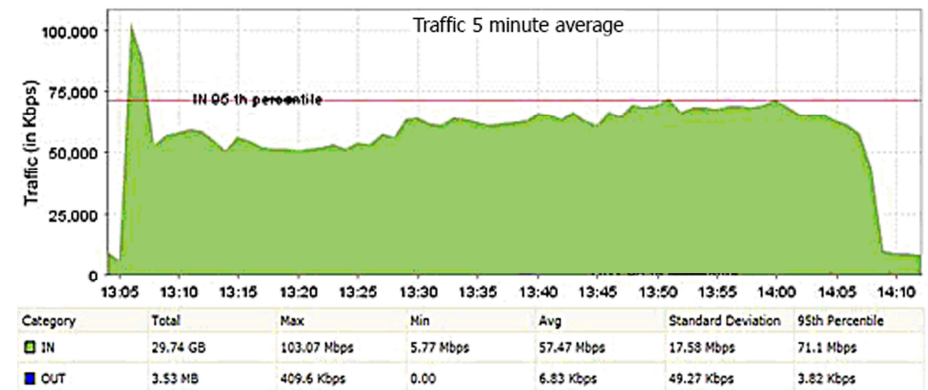


Рис. 1. Візуалізація навантаження на мережевий порт кінцевого обладнання (веб-сервер у внутрішній мережі)

Використання системи моніторингу комп'ютерної мережі дає змогу:

- значно економити час;
- автоматично і цілодобово збирати дані (джитер, затримка, швидкість) з пристроїв мережі;
- у режимі реального часу слідкувати за роботою мережі.

Мережевий аналізатор складається зі серверної (PHP, HTML, CSS, JS) та клієнтської (C++/QT) частин. Серверна частина займається аналізом даних та відображенням результатів, а клієнтська – збором, обробленням даних мережі. Цей програмний продукт створено мовою програмування C++ і розповсюджується за ліцензією GNU GPL.

Моніторинг мережі – це важливе практичне завдання. У нашому завданні моніторинг виконує збір даних для побудови прогнозованого тренду трафіку з метою ефективного використання обладнання. Для прогнозування тренду трафіку у комп'ютерній мережі означимо такі важливі параметри мережі, що істотно впливають на якість обслуговування: пропускна спроможність, середня пропускна спроможність, миттєва пропускна спроможність, максимальна пропускна спроможність та загальна пропускна спроможність мережі.

Прогнозування тренду трафіку. Реалізовано підвищення ефективності використання обладнання на основі розробки нового методу прогнозування тренду трафіку і на цій основі перерозподілу навантаження у мережі.

Математичний апарат Атеб-функцій дав змогу розв'язати аналітичні системи диференціальних рівнянь, що описують істотно нелінійні процеси у системах з одним ступенем вільності [6].

$$\begin{cases} \dot{x} + \beta y^m = 0 \\ \dot{y} + \alpha x^n = 0 \end{cases} \quad (1)$$

де α, β – деякі дійсні постійні сталі, а

$$n = \frac{2\theta_1 + 1}{2\theta_1' + 1}, m = \frac{2\theta_2 + 1}{2\theta_2' + 1}, (\theta_1, \theta_1', \theta_2, \theta_2' = 0, 1, 2, \dots) \quad (2)$$

Розглянемо співвідношення

$$\omega = -\frac{m+1}{2} \int_1^{-1 < u < 1} (1-u^{-m+1})^{-\frac{n}{n+1}} du \quad (3)$$

Обернена залежність u від ω для інтеграла (3) є функцією параметрів n і m та називається косинус Атеб-функції з позначенням

$$u = ca(m, n, \omega) \quad (4)$$

Також у [7] доведено, що введений за функціями (3), (4) косинус Атеб-функції є періодичним з періодом $\Pi(m, n)$

$$\Pi(m, n) = \frac{\Gamma\left(\frac{1}{n+1}\right)\Gamma\left(\frac{1}{m+1}\right)}{\Gamma\left(\frac{1}{n+1} + \frac{1}{m+1}\right)} \quad (5)$$

У формулі (5) $\Gamma\left(\frac{1}{m+1}\right)$, $\Gamma\left(\frac{1}{n+1}\right)$ – гамма-функція. Для прогнозування тренду використовуємо формулу (4) у вигляді

$$u = A \cdot ca(m, n, \omega), \quad (6)$$

де A – амплітуда реальних коливань трафіку (рис. 2).

Адаптивно вибираючи значення параметрів m, n для косинуса Атеб-функції залежно від довжини періоду реальних коливань трафіку з даних моніторингу, як позначено на рис. 2, отримуємо формулу для обчислення тренду трафіку мережі протягом проміжку часу, що відповідає періоду між піковими навантаженнями у мережі. Відповідні значення обчислених півперіодів представлено у

табл. Залежно від реальних даних моніторингу мережі (кількості пульсацій трафіку за одиницю часу) проміжок прогнозу тренду трафіку може змінюватись.

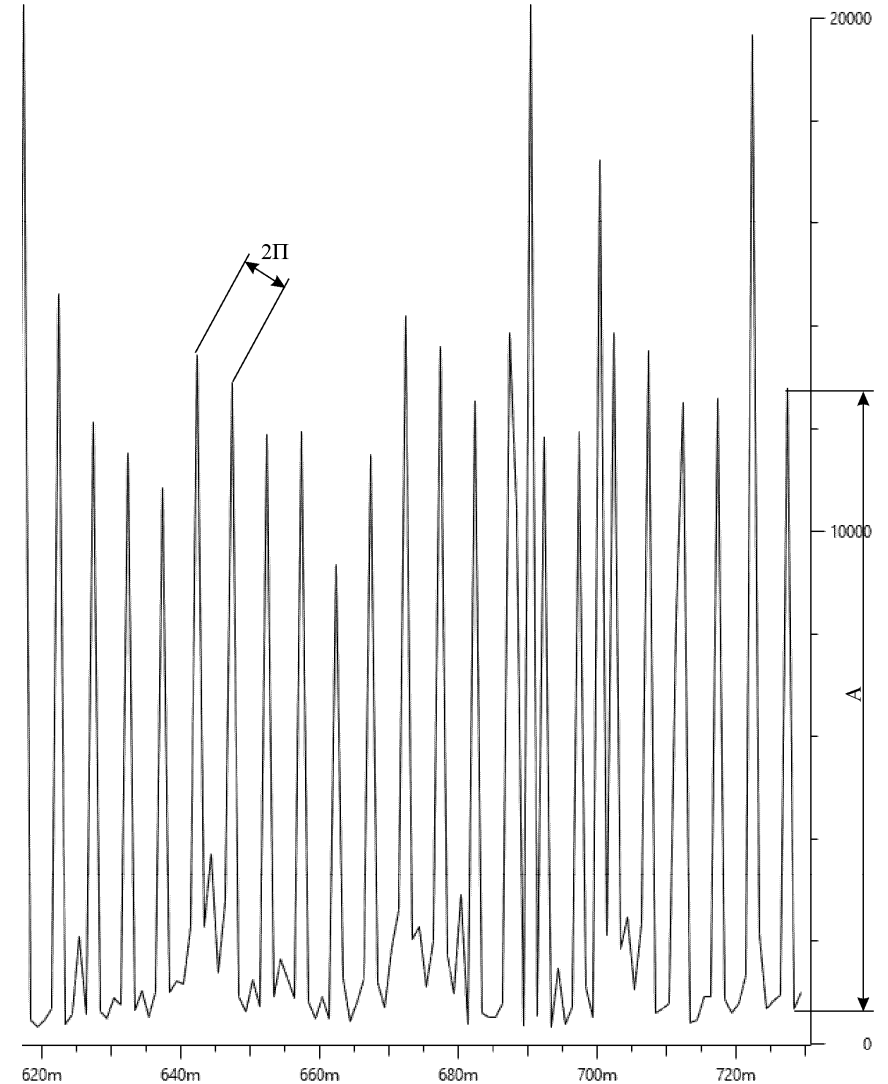


Рис. 2. Частина даних трафіку (1 год 40 хв) у комп'ютерній мережі кафедри АСУ НУ "ЛІУ", A –амплітуда, Π –півперіод

Для прикладу, обчислене у табл. та представлене на рис. 2 середнє значення періоду пульсацій (пікових коливань трафіку) дорівнює 5 хв. Значення обчислених проміжків часу прогнозу тренду залежно від параметрів m, n подано у табл. Якщо прогнозоване значення навантаження у вузлі буде більшим за задане значення максимальної пропускної спроможності даного вузла, то прог-

рамне забезпечення згенує відповідне повідомлення стосовно перерозподілу навантаження у мережі.

Табл. Значення півперіоду функції Атеб-косинуса залежно від параметрів m, n

| Значення параметрів m, n | Значення півперіоду Π за формулою (5) (рад.) | Обчислене значення часу прогнозування тренда трафіку (хв) |
|----------------------------|--|---|
| $m = 0,01, n = 0,1$ | 1,110 | 0,883 |
| $m = \frac{1}{3}, n = 1$ | 2,392 | 1,903 |
| $m = 1, n = \frac{1}{3}$ | 2,392 | 1,903 |
| $m = \frac{1}{7}, n = 1$ | 2,171 | 1,728 |
| $m = 1, n = 1$ | 3,141 | 2,499 |
| $m = 3, n = \frac{1}{7}$ | 4,192 | 3,337 |

Висновки. Отже, описано розроблену інформаційну технологію моніторингу та аналізу трафіку комп'ютерної мережі. Для ефективного моніторингу мережі створено власний аналізатор роботи комп'ютерної мережі, який призначений для забезпечення автоматизованого збирання інформації з мережевих пристроїв та реалізації прогнозування тренду трафіку. Внаслідок роботи програмного забезпечення параметри трафіку візуально відображаються на графіках та даються відповідні рекомендації про перерозподіл навантаження у мережі.

На основі теорії Атеб-функцій та даних моніторингу мережі реалізовано прогнозування тренду трафіку у мережі. Представлено результати обчислень значення часу прогнозування тренда трафіку та максимального значення навантаження у вузлі. Перевагою запропонованого методу є використання однієї аналітичної формули для обчислення тренду трафіку та реалізація перерозподілу навантаження у мережі. Ефективність запропонованого методу підтверджена експериментальними дослідженнями з використанням моніторингу мережі розробленою інформаційною технологією.

Література

1. Вимоги, що пред'являються до сучасних обчислювальних мереж. [Електронний ресурс]. – Доступний з <http://matveev.kiev.ua/archnet/glava1/006.htm>.
2. Муранов О.С. Експериментальні дослідження механізмів прогнозування пульсацій пакетного трафіку / О.С. Муранов // Защита информации : сб. науч. трудов Национального авиационного университета. – К. : Изд-во НАУ, 2008. – Специальный выпуск. – С. 137-142.
3. Сокирка Є.О. Моделювання ІКМ підприємства з балансуванням навантаження / Є.О. Сокирка // Захист інформації в інформаційно-комунікаційних системах : матер. наук.-практ. конф., 3-6 червня 2013 р. – К. : Вид-во НАУ. – С. 29-30.
4. Dronjuk Ivanna. Asymptotic method of traffic simulation (Distributed Computer and Communication Networks) / Ivanna Dronjuk, M. Nazarkevych, Olga Fedevych // Communications in Computer and Information Science. Springer 2014. – Vol. 279. – Pp. 136-144.
5. Кордяк В.І. Аналізатор роботи комп'ютерної мережі на базі QT framework / В.І. Кордяк, О.Ю. Федевич // Матеріали п'ятої науково-практичної конференції FOSS Lviv 2015 26 квітня 2015 року. – С. 55-56.
6. Сеник П.М. Про Атеб-функції / П.М. Сеник // Доклады АН УРСР. – Сер.: А. – 1968. – № 1. – С. 23-27.

7. Сеник П.М. Обернення неповної Beta-функції / П.М. Сеник // Український математичний журнал. – 1969. – № 3. – С. 325-333.

Дрониук И.М., Федевич О.Ю. Прогнозирование трафика компьютерной сети для повышения эффективности использования сетевого оборудования

На основе разработанной информационной технологии реализован мониторинг трафика компьютерной сети. Дано описание разработанного программного обеспечения для мониторинга трафика. На основе теории Атеб-функций разработано прогнозирование тренда трафика. Используя результаты прогнозирования трафика и максимально возможную загрузку узла сети для обеспечения качества обслуживания, реализуется перераспределение нагрузки в сети. Осуществленное перераспределение обеспечивает увеличение коэффициента загрузки оборудования, увеличивает эффективность использования сетевого оборудования.

Ключевые слова: трафик, компьютерная сеть, мониторинг сети, скорость передачи данных, прогнозирования трафика, Атеб-функции.

Droniuk I.M., Fedevych O. Yu. Computer Network Traffic Forecasting for Network Equipment Utilization Improving

In this article based on the developed information technology, computer network traffic monitoring was implemented. The developed software for traffic monitoring was described. Traffic trend forecasting based on the Атеб-functions theory was realized. Based on the results of prediction of traffic and maximum permissible load of network node for providing of quality of service the redistribution of network load was carried out. The results of trend traffic forecasting time value calculations were presented. Implemented redistribution provides increase of load factor of equipment, which increases the efficiency applying of network equipment.

Keywords: traffic, computer network, network monitoring, bit rate, traffic forecasting, Атеб-functions.

УДК 614.843(075.32)

Докторант О.М. Коваль, канд. техн. наук –
НУ цивільного захисту України, м. Харків;
проф. Е.М. Гуліда, д-р техн. наук – Львівський ДУ БЖД

МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ВИБОРУ ОПТИМАЛЬНОЇ ТАКТИКИ ГАСІННЯ ПОЖЕЖ У ПРИМІЩЕННЯХ ЦЕХІВ ДЕРЕВООБРОБНИХ ПІДПРИЄМСТВ

Розроблено математичну модель для вибору оптимальної тактики локалізації та гасіння пожеж у закритих приміщеннях деревообробних підприємств. Модель містить всі необхідні залежності для встановлення оптимального часу локалізації і гасіння пожежі з урахуванням основних чинників пожежі. На підставі математичної моделі розроблено блок-схеми алгоритмів і пакет прикладних програм на мові C++ для роботи в середовищі Windows XP. Математична модель дає змогу обґрунтовано визначати оптимальний варіант тактики гасіння пожежі з необхідною при цьому кількістю сил і засобів та необхідними для ліквідації пожежі газодимозахисним спорядженням і термозахисним одягом. Наукова новизна полягає в тому, що вперше за допомогою оптимізаційної математичної моделі розглянуто та обґрунтовано основні положення тактичних дій системи пожежогасіння.

Ключові слова: математична модель, тактика локалізації і гасіння пожежі, пожежний ствол, теплова радіація.

Постановка проблеми. Для розв'язування оптимізаційних задач на перше місце після прийняття функції мети ставиться питання вибору критерію опти-