
ТЕХНІЧНІ НАУКИ

УДК 681.5.037

Олег Валерійович АНАНЬІН,
*кандидат технічних наук, старший науковий співробітник,
начальник відділу Науково-дослідного інституту
Державної прикордонної служби України, м. Київ*

ШЛЯХИ ПІДВИЩЕННЯ ЯКОСТІ ФУНКЦІОНУВАННЯ ІНФОРМАЦІЙНО- ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНИХ СИСТЕМ СПЕЦІАЛЬНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ

З точки зору теорії автоматичного управління проаналізовано шляхи реалізації прикладних технічних рішень з підвищення якості функціонування інформаційно-телекомунікаційних систем спеціального призначення за рахунок використання спеціальних алгоритмів автоматичного управління.

Ключові слова: *інформаційно-телекомунікаційні системи спеціального призначення, автоматичне управління, нечіткі регулятори, PI, PID, RED регулятори.*

Постановка проблеми у загальному вигляді. На сучасному етапі впровадження в Україні Концепції інтегрованого управління кордонами, яка має на меті забезпечити скоординовану діяльність державних органів України для підтримки належного рівня прикордонної безпеки та передбачає нову модель охорони державного

© Ананьин О. В.

кордону, постає важливе завдання зі створення сучасних інформаційно-телекомунікаційних систем на базі новітніх інформаційних технологій [1]. Виконання такого важливого завдання вимагає від Державної прикордонної служби України розвивати свій відомчий інформаційний простір та передбачає побудову та розвиток інформаційно-телекомунікаційних систем спеціального призначення та забезпечення їхньої подальшої інтеграції до єдиного інформаційного простору міністерств та відомств, що здійснюють протидію загрозам національній безпеці України у прикордонній сфері. За таких умов актуальним є завдання з проведення експериментальних досліджень щодо розробки теоретичних та прикладних рішень із підвищення якості функціонування інформаційно-телекомунікаційних систем Державної прикордонної служби України в умовах постійного збільшення навантаження.

Аналіз останніх досліджень і публікацій, в яких започатковано вирішення даної проблеми та на які опирається автор. Деякі можливості впровадження та підвищення якості функціонування інформаційно-телекомунікаційних систем у прикордонному відомстві розглядали вітчизняні науковці: О. К. Басараб, О. В. Боровик, І. С. Катеринчук, В. В. Ліщенко, М. В. Маханов, В. М. Періг, М. А. Стрельбицький та інші.

Останнім часом серед науковців і фахівців приділяється велика увага розробці теоретичних підходів щодо управління, контролю та визначення кількісних та якісних показників інформаційно-телекомунікаційних систем спеціального призначення та загального користування. Про це свідчать наукові доповіді (В. І. Горбенко, В. Ю. Картавих, С. В. Кучер, С. В. Нікіфоров, К. О. Польщикова) на низці наукових та науково-практичних конференціях, семінарах і форумах з автоматичного управління, радіоелектроніки та напрямів розвитку систем і мереж спеціального призначення, що відбулися протягом 2010–2013 років у містах Києві, Харкові та Львові. Необхідно зазначити, якщо пошук шляхів вирішення науково-практичних завдань та запровадження технічних рішень з підвищення якості функціонування інформаційно-телекомунікаційних систем загального

користування серед закордонних та вітчизняних учених (V. Misra, V. Jacobson, D. Towsley, C. Hollot, A. Pitsillides, B. I. Gostev, Н. І. Кунах, С. М. Скуртов, О. В. Невдачина, О. М. Ткаленко та інші) ведеться більш активно, то тим самим завданням, але стосовно інформаційно-телекомунікаційних систем спеціального призначення поки що приділяється недостатньо уваги.

Метою статті є аналіз шляхів реалізації практичних підходів до вирішення проблеми підвищення якості функціонування інформаційно-телекомунікаційних систем спеціального призначення з точки зору теорії автоматичного управління.

Виклад основного матеріалу дослідження. Як відомо, сучасні інформаційно-телекомунікаційні системи спеціального призначення становлять собою високотехнологічні системи передавання даних з мережами високошвидкісного абонентського доступу, для яких найбільш повною характеристикою є якість функціонування. Прийнято вважати, що ця характеристика розкриває властивість своєчасності інформаційного обміну. Кількісною мірою, яка характеризує властивість своєчасності інформаційного обміну, є показник імовірності своєчасного доставляння повідомлень (пакетів), який визначає ймовірність того, що сумарний час очікування у черзі, обслуговування пакетів та інших затримок, обумовлених різними збоями, відмовами обладнання тощо, не перевищить допустимий час доставляння [2]. Тому за сучасних умов інтенсивного розвитку інформаційно-телекомунікаційних систем на основі мереж із пакетною передачею даних гостро постає необхідність подолання такого негативного явища, як перевантаження магістральних ділянок з великою кількістю абонентів.

Останнім часом в Україні з метою пошуку ефективного вирішення даної проблеми здійснюються науково-прикладні дослідження щодо визначення способів забезпечення якісного функціонування інформаційно-телекомунікаційних систем як загального користування, так і спеціального призначення у різних умовах, у тому числі і за максимальних інформаційних навантажень [3–5].

Але поки що серед учених і фахівців не існує однозначної думки щодо високої ефективності цих способів стосовно вирішення достатньою мірою проблеми перенавантаження магістральних ділянок з великою кількістю абонентів у різноманітних інформаційно-телекомунікаційних системах.

Як свідчать останні вітчизняні та закордонні дослідження, найбільш ефективним зі способів боротьби з перевантаженням і, тим самим, покращенням якості інформаційно-телекомунікаційних систем, де використовуються мережі з пакетним передаванням даних, вважається застосування алгоритмів активного управління чергою пакетів *Activ Queue Management (AQM систем)* [6–8]. Основне завдання таких алгоритмів полягає у тому, щоб не допускати перевантаження мереж з пакетним передаванням даних шляхом мінімізації середньої довжини черги при забезпеченні високого коефіцієнта використання каналу, а також рівномірний розподіл буферного простору між різними потоками даних.

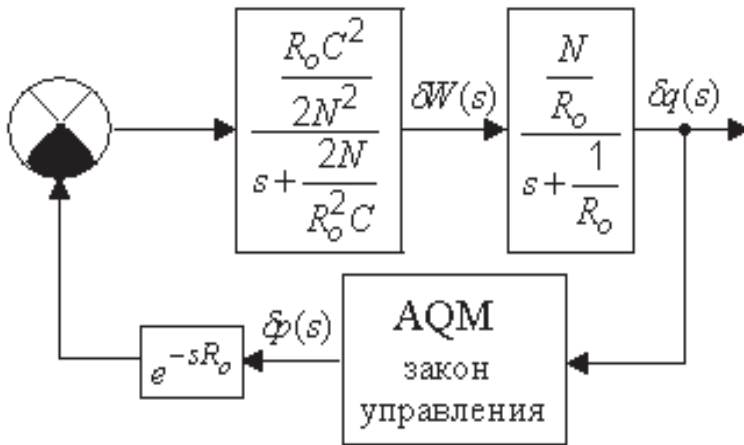
Під час досліджень здійснено аналіз відносної стійкості та робастності систем із застосуванням RED, PI та PID алгоритмів управління чергою пакетів у мережах TCP/IP. Цій проблемі приділялася велика увага саме тому, що при аналізі систем управління зі зворотним зв'язком першочергове значення має їх стійкість і робастність. Для стійкої системи необхідно визначити її відносну стійкість, яка характеризується запасом стійкості за модулем, запасом стійкості за фазою і частотною смугою пропускання.

Для аналізу функціонування системи активного управління чергою пакетів (AQM систем) її було представлено як систему автоматичного управління зі зворотним зв'язком, де як закон управління (пристрій управління) можливо застосовувати певний автоматичний цифровий регулятор. Блок-схему лінійної системи управління чергою пакетів подано на рисунку.

У цій системі автоматичного управління об'єкт управління описується передавальною функцією

$$P(s) = \frac{\frac{C^2}{2N}}{\left(s + \frac{2N}{R_o^2 C}\right)\left(s + \frac{1}{R_o}\right)} = \frac{\frac{(R_o C)^3}{(2N)^2}}{\left(\frac{R_o^2 C}{2N} s + 1\right)(R_o s + 1)}, \quad (1)$$

а блок AQM закону управління являє собою автоматичний цифровий регулятор [9]. Завданням автоматичного цифрового регулятора є забезпечення стійкості та якісних показників системи управління (прийнятний перехідний процес, робастність системи). Отже, здійснено аналіз відносної стійкості та робастності систем з RED, PI та PID алгоритмів управління чергою пакетів. Як було зазначено вище, в аналізі систем управління зі зворотним зв'язком першочергове значення має їх стійкість і робастність. Для стійкої системи необхідно визначити її відносну стійкість, яка характеризується запасом стійкості за модулем, запасом стійкості по фазі і частотної смуги пропускання.



Блок-схема лінійної системи управління чергою пакетів

В аналізі систем активного управління чергою пакетів (AQM систем) використовувалися PI, PID, RED регулятори. Передавальні функції даних цифрових регуляторів та передавальні функції сис-

теми, скоригованої цифровим регулятором, у розімкнутому стані мають такий вигляд [10]:

передавальна функція RED регулятора

$$C_{red}(s) = \frac{L_{red}}{s/K + 1}; \quad (2)$$

передавальна функція системи, скоригованої цифровим регулятором, у розімкнутому стані

$$L(s) = \frac{\frac{L_{red}(R_o C)^3}{(2N)^2} \left(\frac{\tau^2}{3} s^2 - \tau s + 1 \right)}{\left(\frac{R_o^2 C}{2N} s + 1 \right) (R_o s + 1) \left(\frac{1}{K} s + 1 \right) \left(\frac{\tau^2}{3} s^2 + \tau s + 1 \right)}; \quad (3)$$

передавальна функція PI регулятора

$$G_{PI} = K \frac{s/z + 1}{s}; \quad (4)$$

передавальна функція системи, скоригованої цифровим регулятором, у розімкнутому стані

$$L(s) = \frac{K \frac{(R_o C)^3}{(2N)^2} \left(\frac{1}{z} s + 1 \right) \left(\frac{\tau^2}{3} s^2 - \tau s + 1 \right)}{s \left(\frac{R_o^2 C}{2N} s + 1 \right) (R_o s + 1) \left(\frac{\tau^2}{3} s^2 + \tau s + 1 \right)}; \quad (5)$$

передавальна функція PID регулятора

$$W_{PID}(s) = \frac{K_i \left(\frac{K_d}{K_i} s^2 + \frac{K}{K_i} s + 1 \right)}{s}; \quad (6)$$

передавальна функція системи, скоригованої цифровим регулятором, у розімкнутому стані

$$L(s) = \frac{K_i \frac{(R_o C)^3}{(2N)^2} \left(\frac{K_d}{K_i} s^2 + \frac{K_p}{K_i} s + 1 \right) \left(\frac{\tau^2}{3} s^2 - \tau s + 1 \right)}{s \left(\frac{R_o^2 C}{2N} s + 1 \right) (R_o s + 1) \left(\frac{\tau^2}{3} s^2 + \tau s + 1 \right)}. \quad (7)$$

В експериментах для аналізу відносної стійкості та робастності було прийнято використовувати частотні характеристики системи, які можливо отримати експериментально шляхом подачі на вхід системи синусоїдальних впливів і їхньої частотної варіації. Також це дає можливість досліджувати відносну стійкість системи навіть у випадку, коли значення параметрів системи невідомі. Частотний критерій відносної стійкості також може підказати, як змінити параметри системи, щоб збільшити її відносну стійкість. Як варіант для дослідження відносної стійкості системи використовувалися логарифмічно-частотні характеристики системи, скоригованої цифровим регулятором за передавальною функцією [11].

З аналізу характеристик можна зробити висновок, що AQM система з PI, PID та RED регуляторами за номінальних параметрів і зміні у відповідних межах кількості сесій має достатню відносну стійкість. А також, як показали дослідження, зміна навантаження не призводить систему в нестійкий стан. У разі збільшення навантаження смуга пропускання системи зменшується, що говорить про те, що швидкодія системи також зменшується [11].

Аналіз процесів під час експериментів у досліджуваних системах свідчить, що AQM система, скоригована за допомогою RED регулятора, має гірші характеристики за точністю та швидкодією, ніж системи, скориговані PID і PI регуляторами. Поточна довжина черги пакетів повторює задану довжину черги (бажане значення черги) з великою помилкою, а перехідний процес системи, скоригованої RED регулятором, займає завеликий відносно допустимого для таких систем час [11].

Дослідження нечітких регуляторів (регуляторів, які працюють на базі нечіткої логіки) для управління різноманітними об'єктами продемонструвало їх високу ефективність та навіть істотні перева-

ги перед RED, PI та PID регуляторами. Аналіз систем управління чергою пакетів свідчить, що системи активного управління чергою (AQM системи) з нечіткими регуляторами досить стабільно підтримують задану поточну довжину черги пакетів за досить малих значень імовірності відкидання. Результати демонструють, що всі запропоновані нечіткі регулятори у разі налаштування їх параметрів дають приблизно однакові значення перехідних характеристик системи (точність та похибку у сталому режимі) [11; 12].

Висновки. Результати експериментальних досліджень продемонстрували, що застосування нечітких регуляторів у системах активного управління чергою дає кращий ефект у процесі управління чергою пакетів у мережах, порівняно з системами автоматичного управління, де задіяні регулятори на постійних параметрах. Нечіткі регулятори забезпечують більш високу швидкодію та установку черги пакетів, максимально наближену до бажаної. Тому саме нечіткі регулятори доцільно застосовувати для запобігання перевантаженню на мережі з пакетною передачею даних.

Перспективи подальших розвідок у даному напрямі. У перспективі такі прикладні технічні рішення з підвищення якості функціонування інформаційно-телекомунікаційних систем, де застосовуються мережі з пакетною передачею даних, можуть знайти застосування при проектуванні та побудові спеціальних інформаційно-телекомунікаційних систем у процесі реалізації концепції інтелектуального кордону [13].

У подальших наукових дослідженнях за даним напрямом слід зосередити увагу на питаннях розроблення відповідного математичного апарату та програм розрахунків для дослідження систем активного управління чергою (AQM систем) пакетів, які дозволили б здійснювати порівняльну оцінку різних алгоритмів управління для систем активного управління чергою (AQM систем) з урахуванням умов невизначеності. Такий математичний апарат та програми розрахунків дали б змогу різнобічно підійти до питань дослідження алгоритмів автоматичного управління шляхом моделювання реальних ситуаційних умов у мережах з пакетною передачею даних у

інформаційно-телекомунікаційних системах спеціального призначення, яким досі не приділялося достатньої уваги.

Список використаної літератури

1. Литвин М. Концептуальні засади інтегрованого управління кордонами. Досвід упровадження в Україні / М. Литвин // Інтегроване управління кордонами. Теорія і практика : міжн. наук-практ. конф. (21–22 травня 2013 року) / ДПСУ, Нац. акад. ДПСУ імені Б. Хмельницького. – Хмельницький, 2013. С. 7–11.

2. Могилевич Д. І. Показники якості та надійності функціонування мереж зв'язку спеціального призначення / Д. І. Могилевич // Пріоритетні напрями розвитку телекомунікаційних систем та мереж спеціального призначення : доповіді та тези доповідей VII науково-практичного семінару (24 жовтня 2013 року) / МОУ, ВІТІ ДУТ. – К., 2013. С. 27–28.

3. Катеринчук І. С. Удосконалення аналітичних залежностей показників якості функціонування телекомунікаційної системи з урахування умов невизначеності / І. С. Катеринчук, В. М. Періг // Збірник наукових праць. Серія: військові та технічні науки. – Хмельницький : Вид-во Національної академії Державної прикордонної служби України імені Б. Хмельницького, 2012. – № 57. – С. 100–103.

4. Батыр С. С. Построение модели сети передачи данных для исследования технологии AQM / С. С. Батыр, А. В. Хорхордин // Збірник наукових праць. – Донецьк : Вид-во ДонІЗТ, 2011. – № 28. – С. 108–117.

5. Оптимізація розподілу мережних ресурсів в маршрутизаторі телекомунікаційної мережі / К. О. Польщиков, М. О. Масесов, Ю. М. Здоренко, В. В. Шкіцький // Сучасні інформаційні технології у сфері безпеки та оборони. – К., 2013. – № 2 (17). – С. 52–55.

6. Логінов М. В. Логічна схема математичної моделі трафіку on/off з розподілом Парето для одного джерела пакетів / М. В. Логінов, Г. Д. Радзівілов // Збірник наукових праць ВІТІ НТУУ “КПІ”. – К., 2012. – № 1. – С. 75–81.

7. Модель сеансів VoIP у якості навантаження на систему активного управління чергою / М. В. Логінов, В. И. Гостев, Г. Д. Радзівілов, П. В. Жук // Збірник наукових праць ВІТІ НТУУ “КПІ”. – К., 2012. – № 2. – С. 50–54.

8. Tabash I. Fuzzy Logic Based Network Congestion Control Using Active Queue Management Techniques / I. Tabash, M. Mamun, A. Negi // Journal of Scientific Research, 2010. – № 2 (2). – P. 273–284.

9. Hollot C. Analysis and design of controllers for AQM routers supporting TCP flows. IEEE / C. Hollot, V. Misra, D. Towsley, W. Gong // ACM Transactions on Automatic Control, vol. 47, no. 6, p. 945–959, June 2002.

10. Определение областей устойчивости AQM систем с PI, PID, RED регуляторами / В. И. Гостев, Н. И. Кунах, О. В. Невдачина, С. В. Кучер // Збірник наукових праць ДонІЗТ. – Донецьк, 2011. – № 28. – С. 117–121.

11. Невдачина О. В. Аналіз нестационарних систем активного управління чергою пакетів в мережах TCP/IP : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук : спец. 05.12.13 “Телекомунікаційні системи та мережі” / Ольга Володимирівна Невдачина ; Держ. ун-т. телекомунікацій. – К., 2014. – 21 с.

12. Гостев В. И. Автоматические системы активного управления очередью в сетях TCP/IP : монография / В. И. Гостев, С. Н. Скуртов. – Нежин : НГУ им. Н. Гоголя, 2013. – 528 с.

13. Назаренко В. Интеллектуальный кордон – сутність та необхідність застосування / В. Назаренко, В. Серватюк, О. Ставицький. // Інтегроване управління кордонами. Теорія і практика : міжн. наук-практ. конф. (21–22 травня 2013 року) / ДПСУ, Нац. акад. ДПСУ імені Б. Хмельницького. – Хмельницький, 2013. – С. 47–49.

*Рецензент – кандидат технічних наук,
старший науковий співробітник Мисюк Ю. П.*

Стаття надійшла до редакції 19.11.2014.

Ананьин О. В. Пути повышения качества функционирования информационно-телекоммуникационных систем специального назначения

С точки зрения теории автоматического управления проанализированы пути реализации прикладных технических решений для повышения качества функционирования информационно-телекоммуникационных систем специального назначения за счёт использования специальных алгоритмов автоматического управления.

Ключевые слова: *информационно-телекоммуникационные системы специального назначения, нечёткие регуляторы, PI, PID, RED регуляторы.*

Ananin O. Ways upgrading is qualities of functioning of the information telecommunications systems of the special setting

From the point of view of the theory of automatic control analyzed the ways of realization of the application of technical solutions for improving the quality of functioning of the information and telecommunication systems, special purpose through the use of special algorithms of automatic control.

Modern information and telecommunication systems special purpose are hightech data transmission systems with high-speed networks subscriber access, for which the most complete characteristic is the quality of operation. It is believed that this characteristic reveals the property timeliness of information exchange. A quantitative measure that characterizes the property of timeliness of information exchange is an indicator of the probability of timely delivery of messages that determines the probability that the total waiting time in the queue, service packs, and other delays due to various failures, equipment failures, etc., will not exceed the allowable delivery time. Therefore, in modern conditions of intensive development of information and telecommunication systems based on networks with packet transmission, the acute need for overcoming such negative phenomena as congestion trunk sections with a large number of subscribers. As evidenced by recent domestic and foreign research, the most effective way to combat congestion and thereby improve the quality of information and telecommunication systems that use the network, packet data is the use of algorithms for active queue management packages Activ Queue Management. The main objective of these algorithms is to prevent overloading networks with packet transmission of data by minimizing the average queue length while maintaining high utilization of the channel, and the uniform distribution of buffer space between the different data streams.

The experimental results demonstrated that the use of fuzzy controllers in the active queue management gives the best effect in the process of managing packet queues in the network, compared to automatic control systems, where the regulators on fixed parameters. Fuzzy controllers provide higher performance and installation queue

packets as close to the desired. Therefore, it is fuzzy controllers are useful for preventing overload on the network with packet transmission.

In the future, applied technical solutions to improve the quality of functioning of the information-telecommunication systems using network packet transmission can find application in the design and construction of special telecommunication systems in the process of implementation of the concept of intellectual boundaries.

Further research in this direction should focus on the development of the appropriate mathematical apparatus and programmes calculations for systems research active queue management (AQM systems) packages, which would permit to carry out a comparative evaluation of different control algorithms for systems of active queue management (AQM systems) subject to the conditions of uncertainty. Such mathematical apparatus and program payments would provide a comprehensive approach to the issues of the research of algorithms of automatic control by simulating real situational conditions in networks with packet data transmission in telecommunication systems, special purpose, which is still not given enough attention.

Keywords: *information telecommunications systems of the special setting, fuzzy controller, PI, PID, RED controllers.*