

УДК 004.9; 681.5

ІНФОРМАЦІЙНА ТЕХНОЛОГІЯ КЕРУВАННЯ ПЕРЕВАНТАЖЕННЯМИ
В МУЛЬТИСЕРВІСНИХ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНИХ МЕРЕЖАХ

О. Г. Славко

Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського
вул. Першотравнева, 20, 39600, м. Кременчук, Україна. E-mail: slavko.elena@gmail.com

Розглянуто проблему забезпечення якості обслуговування мережевих даних у мультисервісних інформаційно-телекомунікаційних мережах. Розроблено інформаційну технологію керування заторами при забезпеченні якості обслуговування на основі локальної моделі керованого процесу передачі даних, що дозволяє ідентифікувати параметри математичної моделі TCP-протоколу. Розроблено програмне забезпечення інформаційної технології керування перевантаженнями в задачі забезпечення якості обслуговування.

Ключові слова: процес передачі даних, якість обслуговування, інформаційна технологія.

INFORMATIONAL TECHNOLOGY OF CONGESTION CONTROL IN MULTISERVICE
TELECOMMUNICATIONAL NETWORK

O. G. Slavko

Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyi National University
Pershotravneva, 20, 39600, Kremenchuk, Ukraine. E-mail: slavko.elena@gmail.com

The problem of quality of service provisioning for network data in multiservice informational telecommunication network is examined. Informational technology of congestion control in quality of service provisioning on a base of a controlled process local model of data transferring is created. This informational technology allows to identify parameters of TCP-protocol mathematical model. Software of this informational technology is developed.

Key words: data transfer process, quality of service, informational technology.

ИНФОРМАЦИОННАЯ ТЕХНОЛОГИЯ УПРАВЛЕНИЯ ПЕРЕГРУЗКАМИ
В МУЛЬТИСЕРВИСНЫХ ТЕЛЕКОМУНИКАЦИОННЫХ СЕТЯХ

Е. Г. Славко

Кременчугский национальный университет имени Михаила Остроградского
ул. Первомайская, 20, 39600, г. Кременчуг, Украина. E-mail: slavko.elena@gmail.com

Рассмотрена проблема обеспечения качества обслуживания сетевых данных в мультисервисных информационно-телекоммуникационных сетях. Разработана информационная технология управления заторами при обеспечении качества обслуживания на основе локальной модели управляемого процесса передачи данных, которая позволяет идентифицировать параметры математической модели TCP-протокола. Разработано программное обеспечение информационной технологии управления перегрузками в задаче обеспечения качества обслуживания.

Ключевые слова: процесс передачи данных, качество обслуживания, информационная технология.

АКТУАЛЬНІСТЬ РОБОТИ. Забезпечення гарантованого рівня якості обслуговування – Quality of Service (QoS) при передачі даних відповідно до специфіки сучасних інформаційних потоків в умовах інтенсивного зростання кількості користувачів Internet і збільшення об'єму трафіка набуває критичного значення для сучасних мультисервісних телекомунікаційних мереж (ТКМ).

Серед існуючих засобів базової архітектури QoS особливу роль відіграють механізми керування мережними ресурсами та процесами передачі мережних даних.

При моделюванні з метою дослідження мультисервісні ТКМ розглядаються як складні багатопараметричні та слабкодетерміновані динамічні системи, процеси в яких мають нестационарний і нелінійний характер.

У багатьох випадках інформація про об'єкт керування, яким є ТКМ, недостатня або невідома взагалі. У результаті задача керування ТКМ формулюється як процес адаптивного керування в умовах неповної інформації про динаміку об'єкта та зовнішні впливи, що належить до найбільш складних задач керування, особливо у випадку нестационарності об'єкта керування. Як наслідок постає задача параметричної ідентифікації моделей мережних ресурсів і процесів передачі даних.

Аналіз публікацій таких вітчизняних і зарубіжних учених, як А.А. Красовський, В.М. Кунцевич, В.Ф. Губарев, К. Astrom, Р. Eukhoff, L. Ljung і ін. [1–3], показує, що класичний підхід до керування об'єктами в умовах апріорної невизначеності в задачах реального часу має низку недоліків, пов'язаних з обчислювальними і часовими витратами. До того ж, складність задачі ідентифікації стає вищою в умовах невизначеності та нестационарності об'єктів керування.

Метод, запропонований в [4, 5], на відміну від класичних, дозволяє поєднати етап формування математичної моделі об'єкта та етап синтезу керування за рахунок створення локальної моделі керованого процесу (ЛМКП). У методі синтезується сигнал керування як еквівалент невідомих входних впливів. Це зводить задачу ідентифікації до класичного виду при відомих вході та виході об'єкта.

Розробка та впровадження інформаційної технології керування заторами при забезпеченні QoS на основі ЛМКП при параметричній ідентифікації математичних моделей процесів передачі мережних даних є актуальною задачею.

Метою роботи є розробка та застосування інфо-

рмацийної технології керування заторами при забезпеченні QoS на основі локальної моделі процесу передачі мережних даних у реальному часі в умовах параметричної невизначеності та нестационарності.

МАТЕРІАЛ І РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ.

Структурна схема системи керування процесом передачі мережних даних може бути зображена наступним чином (рис. 1):

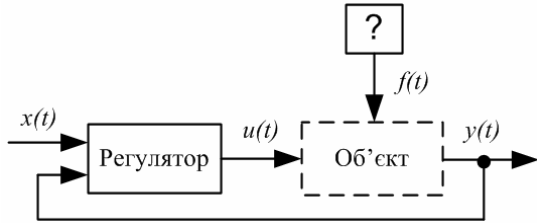


Рисунок 1 – Структурна схема системи керування: t – час, $u(t)$ – сигнал керування, що є еквівалентом $f(t)$, $x(t)$ – задавальний вплив, $y(t)$ – керована реакція об'єкта, $f(t) \neq 0$ – невідомий вхідний сигнал

Об'єктом керування є TCP-протокол (Transmission Control Protocol), що визначає модель керування потоком мережних даних. Параметри моделі TCP-протоколу, що визначають реакцію на вхідний сигнал, невідомі. Вихідною змінною об'єкта керування є розмір вікна передачі даних $y(t)$, що визначає швидкість (інтенсивність) передачі мережних даних по каналу зв'язку з ефектом "вузького місця". На об'єкт керування діє невідомий вхідний сигнал $f(t)$ (функція ймовірності втрати пакетів), що залежить від мережевого середовища та функціонування мережевих ресурсів (зокрема завантаженості черги буфера мережевого маршрутизатора, що також є невідомою).

При класичному підході до синтезу керування в умовах невизначеності створюється так звана "глобальна модель" керованого об'єкта, що може бути використана в будь-який момент циклу керування, однак через це є складною, оскільки має враховувати всі можливі стани об'єкта. До того ж, при нестационарності об'єкта його математична модель має постійно уточнюватись.

Ідея методу синтезу ЛМКП полягає в тому, що шляхом активного експерименту на короткому часовому інтервалі створюється "локальна" модель керованого процесу, що відображає динаміку невідомого об'єкта та невідомих вхідних впливів на даний момент часу. Базовий алгоритм синтезу ЛМКП викладено в [4, 5].

Метод параметричної ідентифікації на основі ЛМКП для процесів передачі даних, описаних звичайними диференціальними рівняннями, розроблено в [6, 7].

Проблеми виникнення перевантажень спостерігаються у граничних вузлах інформаційних мереж, якими є, наприклад, маршрутизатори і пов'язані з ними канали зв'язку.

Розглянемо схематичну модель ділянки ТКМ (рис. 2) із ефектом "вузького місця" (bottleneck):

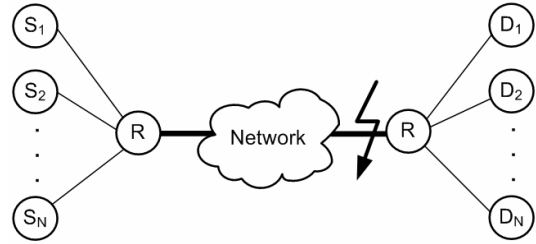


Рисунок 2 – Схема моделі ділянки ТКМ: S_i – відправники потоків даних, D_i – приймачі потоків даних, $i=1 \dots N$, R – маршрутизатор, Network – мережа передачі даних

Основним механізмом керування перевантаженнями при передачі даних TCP-протоколу є модель AIMD (Additive Increase / Multiplicative Decrease), узагальнений вид якої описаний як

$$w'(t) = A(t) + B(t)p(t), \quad (1)$$

де $w(t)$ – розмір вікна передачі даних, $A(t)$ – адитивне збільшення швидкості передачі даних при відсутності втрат пакетів, $B(t)$ – мультиплікативне зменшення швидкості передачі даних при втратах пакетів.

Функціональну схему керування мережним трафіком TCP-протоколів на основі алгоритмів активного керування чергами (AQM) із використанням методу синтезу ЛМКП і параметричної ідентифікації наведено на рис. 3:

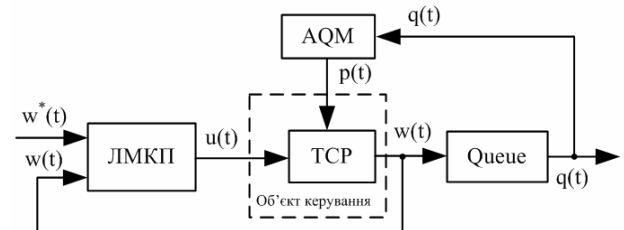


Рисунок 3 – Схема керування мережним трафіком TCP-протоколу на основі AQM із використанням методу синтезу ЛМКП: $q(t)$ – динаміка черги буфера маршрутизатора, $w(t)$ – розмір вікна передачі даних, $p(t)$ – функція ймовірності відкидання пакетів, $u(t)$ – сигнал керування регулятора на основі ЛМКП

Розглянемо приклад застосування розроблених методів для моделі TCP/AIMD.

Швидкість передачі даних TCP-сеансу за моделлю AIMD при використанні алгоритму RED (Random Early Detection) описується у вигляді:

$$\frac{d\lambda(t)}{dt} + \alpha \cdot p(\lambda, t) \cdot \lambda^2(t) = \beta \cdot \frac{1 - p(\lambda, t)}{R}, \quad (2)$$

$$p(\lambda, t) = k\lambda(t) + d, \quad k = 1/(\lambda_{max} - \lambda_{min}),$$

$$d = 1 - \lambda_{max}/(\lambda_{max} - \lambda_{min}),$$

де $\lambda(t)$ – швидкість передачі даних, $p(\lambda, t)$ – функція ймовірності втрати пакетів, R – час відгуку каналу, α – параметр мультиплікативного зменшення розміру вікна при втраті пакетів, β – параметр адитивного збільшення розміру вікна за відсутності втрат пакетів, λ_{max} , λ_{min} – максимальне та мінімальне порогове значення відповідно.

На рис. 4 наведено приклад результату функціонування алгоритму синтезу ЛМКП для математичної моделі (2):

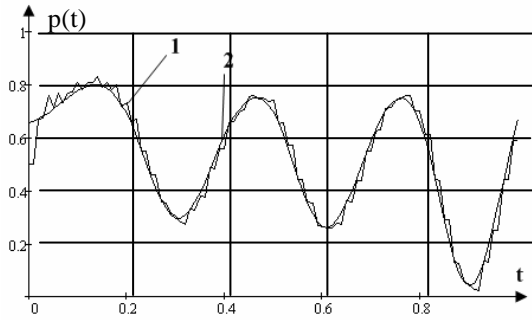


Рисунок 4 – Приклад синтезованого еквіваленту (лінія 1) виразу $\beta(1-p(\lambda,t))/R$ (лінія 2)

Розглянемо приклад моделі процесу передачі мережних даних для системи n взаємодіючих TCP-з'єднань. Математична модель описується системою нелінійних диференціальних рівнянь:

$$\frac{d^2 x_j(t)}{dt^2} + \omega_j^2 \sin(x_j(t)) = f_j(x_i(t)), \quad (3)$$

$$f_j(x_i(t)) = \alpha_j \prod_i x_i(t), \quad \omega_j^2 = CB/\tau,$$

$$j = i = 1..n, \quad i \neq j,$$

де $x(t)$ – кількість пакетів в секунду в i -му TCP-з'єднанні, f_j – функція, що визначає взаємний вплив TCP-з'єднань один на одного, ω – власна частота TCP-з'єднання, яка залежить від розміру буфера, пропускної здатності та затримки каналу зв'язку з ефектом "вузького горла", n – кількість TCP-з'єднань, α – параметр, що визначає ступінь впливу TCP-з'єднань один на одного, C – швидкість пере-

дачі даних, B – розмір буфера TCP-з'єднання, τ – затримка каналу.

На рис. 5 наведено приклад синтезу ЛМКП для системи диференціальних рівнянь (3) при $n=3$:

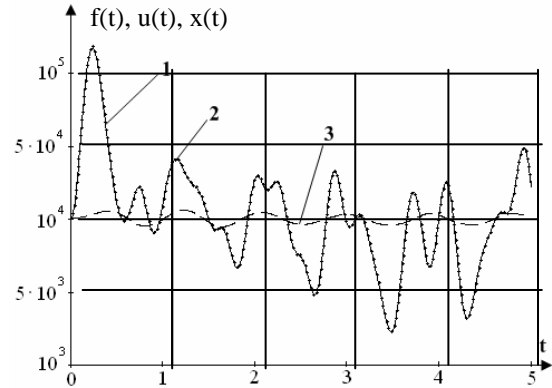


Рисунок 5 – Приклад синтезу еквіваленту системи (2): 1 – функція $f_1(\cdot)$, 2 – еквівалент $u_1(t)$, 3 – швидкість передачі пакетів в 1-му TCP-з'єднанні $x_1(t)$

Особливість f_j змушує використовувати чисельні методи розв'язання системи нелінійних рівнянь. Але використання еквіваленту цих невідомих вхідних сигналів f_j для заміни правих частин системи дозволяє розв'язувати рівняння системи незалежно. Це значно спрощує ідентифікацію параметрів.

На основі методу синтезу ЛМКП та параметричної ідентифікації математичних моделей процесів передачі мережних даних розроблено інформаційну технологію керування заторами при забезпеченні QoS на основі ЛМКП передачі даних в ТКМ в умовах невизначеності та нестационарності. Структурну схему інформаційної технології наведено на рис. 6:

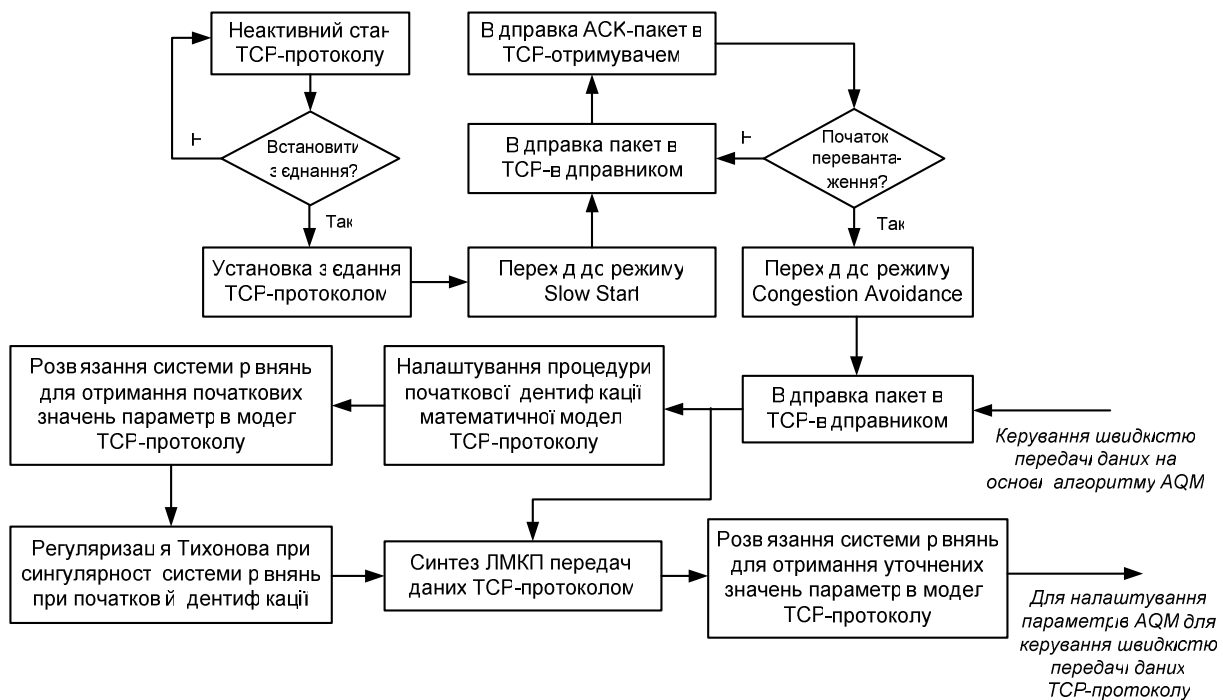


Рисунок 6 – Схема інформаційної технології керування заторами при забезпеченні QoS на основі ЛМКП передачі даних

У процесі передачі даних у задачі керування заторами TCP-протокол по чергово змінює стани свого функціонування: неактивний стан (Inactive), повільний старт (Slow Start), швидке відновлення / швидка повторна передача (Fast Recovery / Fast Retransmit), експоненціальний відкат (Exponential Backoff), уникнення заторів (Congestion Avoidance). Два основні взаємопов'язані стани – Slow Start і Congestion Avoidance реалізовані в усіх модифікаціях TCP-протоколу. При переході до стану уникнення перевантаження, TCP-протоколом використовується модель AIMD [0], параметри якої невідомі для засобів AQM, що реалізовані в мережних маршрутизаторах.

Розробка програмного забезпечення реалізації інформаційної технології виконувалась на основі фізичної мережі, структурна схема якої наведена на рис:

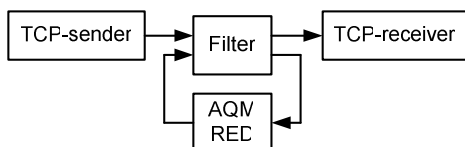


Рисунок 7 – Схема взаємодії компонентів мережі

Експериментальна мережа складалась з наступних компонентів:

1. TCP-sender (комп'ютер-відправник) містив програмний додаток [8], що генерував мережевий трафік, який надсилався до TCP-receiver (комп'ютер-отримувач). Блок-схема генератора трафіка наведена на рис. 8:

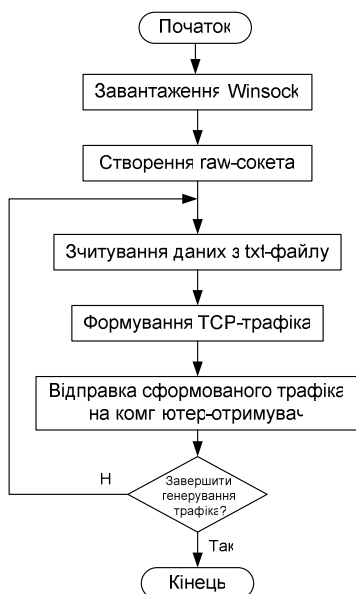


Рисунок 8 – Блок-схема генератора трафіка

2. Filter. Як відомо, однією з основних функцій мережних екранів (firewall) є фільтрування пакетів, що полягає у перегляді заголовку вхідних пакетів і перевірки IP-адреси та порту на правильність. Пакетна фільтрація може базуватись на такій інформації, як адреса відправника, адреса отримувача, протокол і вміст пакета (фільтрація з урахуванням стану – Stateful Packet Inspection, SPI). Пакетний фільтр, в якому додатково реалізовано функції маршрутизації, відносять до екрануючих маршрутизаторів, тому для реалізації розробленої в роботі інформаційної технології керування заторами на основі ЛМКП передачі мережних даних створено драйвер із реаліза-

цією технології Windows 2000 Filter-Hook Driver, яка дозволяє здійснювати фільтрацію пакетів на рівні ядра без заглиблення в особливості написання модулів ядра Windows. Блок-схему пакетного фільтру на основі Filter-Hook Driver наведено на рис. 9:



Рисунок 9 – Блок-схема пакетного фільтру

3. AQM/RED. Для керування процесом передачі мережних даних було реалізовано алгоритм RED, що є стандартним алгоритмом активного керування чергами (AQM), як окремий клас header-файле та підключено до пакетного фільтру, що дозволило змінювали режим роботи фільтру: контрольований або неконтрольований.

Розроблений в роботі [7] метод параметричної ідентифікації реалізовано у вигляді програмного модулю (рис. 10), підключеного до пакетного фільтру.



Рисунок 10 – Блок-схема програмного модулю методу параметричної ідентифікації на основі ЛМКП

4. TCP-receiver – комп'ютер-отримувач, що містить мережн програмний додаток – сніфер, реалізований на базі Winpcap та призначений для відстеження вхідного трафіка [8]. Блок-схему сніфера наведено на рис. 11. Після запуску необхідно вказати IP-адреси відправника та отримувача мережевого трафіка. Далі формується список усіх мережних пристроїв комп'ютера-отримувача, на якому встановлений сніфер. Із сформованого списку необхідно обрати адаптер шляхом введення його номеру у командному рядку, після чого відбувається відкриття

обраного адаптера та отримання маски першої адреси інтерфейсу. Далі виконується компіляція та встановлення необхідного фільтру (наприклад, фільтрація IP- та TCP-пакетів), і починається моніторинг вхідного трафіка.

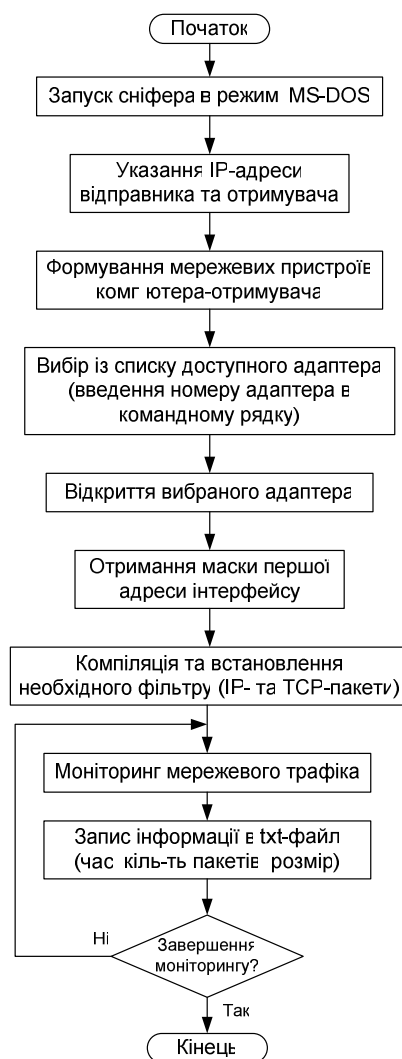


Рисунок 11 – Блок-схема мережного додатку моніторингу TCP-трафіка

Описана вище мережа передачі даних і програмне забезпечення реалізує інформаційну технологію керування мережними перевантаженнями на основі синтезу локальної моделі керованого процесу.

ВИСНОВКИ. Розроблена інформаційна технологія керування заторами при забезпеченні QoS на основі ЛМКП передачі даних дозволяє ідентифікувати параметри математичної моделі TCP-протоколу, використовуючи лише значення вікна (інтенсивності) передачі даних. Це спрощує попередження перевантажень мережних буферів, зменшує ймовірності втрат пакетів, збільшує ефективності розподілу каналу зв'язку та дозволяє забезпечувати гарантований рівень якості обслуговування користувачів.

Розроблене програмне забезпечення, що реалізує запропоновану інформаційну технологію, дозволяє експериментально досліджувати процеси передачі

даних у ТКМ, ідентифікувати їх математичні моделі в умовах параметричної невизначеності та нестационарності. Запропонована інформаційна технологія буде корисна для проектування мультисервісних інформаційних ТКМ.

ЛІТЕРАТУРА

1. Справочник по теории автоматического управления / Под. ред. А.А. Красовского. – М.: Наука, 1987. – 712 с.
2. Кунцевич В.М. Управление в условиях неопределенности: гарантированные результаты в задачах управления и идентификации. – К.: Наукова думка, 2006. – 264 с.
3. Ljung L. System identification. Theory for the user. Second edition // Prentice Hall PTR, Upper Saddle River. – 1999. – 609 p.
4. Гученко М.І. Активно-резонансний алгоритм стабілізації // Нові технології. Науковий вісник Інституту економіки та нових технологій ім. Ю.І. Кравченка. – 2003. – № 1(2). – С. 57–61.
5. Гученко М.І., Славко О.Г., Ольхова Ю.О., Костенко П.П., Іванова М.М. Імітаційна модель системи керування на основі локальної моделі керованого процесу //17-а Міжнарод. конференція з автоматичного управління "Автоматика-2010". Тези доповідей. Т. 1. – Харків: ХНУРЕ, 2010. – С. 107–109.
6. Славко О.Г. Алгоритм ідентифікації узагальнених параметрів в системах з активно-резонансним керуванням // Проблеми інформатизації та управління: Збірник наукових праць. Вип. 1(29). – К.: НАУ, 2010. – С. 159–162.
7. Славко О.Г. Метод параметричної ідентифікації динамічних об'єктів на основі синтезу еквіваленту зовнішнього збурення // Вісник СумДУ. Серія "Технічні науки". – № 3'2010, т. 2. – С. 85–94.
8. Гученко М.І., Позняк Є.В., Іванова М.М. Експериментальна реалізація TCP-протоколу на рівні доступу до каналів зв'язку // Вісник Кременчуцького державного політехнічного університету імені Михайла Остроградського. – Вип. 1/2008(48), част. 1. – С. 35–38.

REFERENCE

1. Automatic Control Theory Handbook / A.A. Krasovskiy. – M.: Nauka., 1987. – 712 p. [in Russian].
2. Kuntsevich V.M. Controlling in conditions of uncertainty: guaranteed results in tasks of control and identification. – K.: Naukova dumka, 2006. – 264 p. [in Russian].
3. Ljung L. System identification. Theory for the user. Second edition // Prentice Hall PTR, Upper Saddle River. – 1999. – 609 p.
4. Guchenko M.I. Active resonance stabilizing algorithm, Bulletin "New technologies" of economics and new technologies institute of J.I. Kravchenko. – 2003. – № 1(2). – P. 57–61 [in Ukrainian].
5. Guchenko M.I., Slavko O.G., Olkhova J.O., Kostenko P.P., Ivanova M.M. Simulation model of control system on a base a control process local model //17th International conference on automatic control "Automatica-2010". Thesis of reports. Vol. 1. – Kharkov: HNURE, 2010. – P. 107–109 [in Ukrainian].
6. Slavko O.G. Identification algorithm of general parameters in systems with active-resonance control // Problems of informatization and control: Scientific papers: Vol. 1(29). – K.: NAU, 2010. – P. 159-162. [in Ukrainian]
7. Slavko O.G. Parametric identification method of dynamic objects on a base if external disturbance equivalent synthesis // Bulletin of SumDU. Serial "Technical sciences", № 3'2010, Vol. 2. – P. 85–94 [in Ukrainian].
8. Guchenko M.I., Poznjak E.V., Ivanova M.M. Experimental realization of TCP-protocol on access level of a channel // Bulletin of Kremenchuk State Mykhailo Ostrohradskyi polytechnical university. – Vol. 1/2008(48), part 1. – P. 35–38 [in Ukrainian].

Стаття надійшла 01.02.2011.

Рекомендовано до друку
к.фіз.-мат.н., доц. Ляшенко В.П.