

Скакун М. Р., Ткаченко О. М., Лемешко А.В.

Державний університет телекомунікацій, Київ

АНАЛІЗ МЕТОДІВ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОДУКТИВНОСТІ КОМП'ЮТЕРНИХ МЕРЕЖ

Анотація: *Розвиток комп'ютерних технологій дало імпульс появи потужних комп'ютерних мереж обміну даних з виробництва. Архітектура комп'ютерних мереж змінилася відповідно до вимог розподілених програм. Власники сучасних комп'ютерних мереж переглядають стратегію формування мереж з виробництва, а розробники мережевих програмних продуктів змушені приділяти велику увагу продуктивності і ефективності мережі.*

Затримки комп'ютерної мережі вимірюються сотими, інколи ж тисячними частками секунди. Однак подібні незначні затримки можуть сильно уповільнити роботу користувачів при багаторазовому повторенні в результаті мережевих операцій.

На сьогоднішній день перед багатьма організаціями стоїть проблема, пов'язана з впровадженням та адаптацією в структурі корпоративної інформаційної системи програмного забезпечення безперервної дії в мережі. При такій роботі необхідно, щоб мережна інфраструктура та програмне забезпечення могли забезпечувати значний обсяг операцій введення/виводу типу клієнт-сервер. Впровадження тієї чи іншої інформаційної системи без ретельного обліку властивостей мережного програмного забезпечення може призвести до неефективного виконання проекту, великих тимчасових та фінансових втрат.

Таким чином, завдання щодо застосування сучасних методів аналізу продуктивності комп'ютерних мереж корпоративних інформаційних систем для збільшення ефективності виконання операцій розподіленого обчислення в мережах є на сьогоднішній день актуальним.

Тому дана стаття присвячена аналізу сучасних тенденцій розвитку телекомунікаційних систем та комп'ютерних мереж, причини, що викликають затримки при роботі з розподіленими додатками у мережах, та їх вплив на продуктивність мереж загалом. З існуючого різноманіття програмно-апаратних компонентів, що входять до обчислювальної мережі, виділено основні об'єкти дослідження: комп'ютер, мережевий канал зв'язку, активне мережеве обладнання, програмний продукт.

Ключові слова: *комп'ютерна мережа, інформаційна система, архітектура, комутація, продуктивність, програма, сервер, системи моніторингу.*

Skakun M. R., Tkachenko O. M., Lemeshko A.V.

State University of Telecommunications, Kyiv

ANALYSIS OF METHODS OF RESEARCHING THE PRODUCTIVITY OF COMPUTER NETWORKS

Abstract: *The development of computer technologies gave an impetus to the emergence of powerful computer networks for the exchange of production data. The architecture of computer networks has changed according to the requirements of distributed applications. The owners of modern computer networks are reviewing the strategy of forming networks from production, and the developers of network software products are forced to pay great attention to the productivity and efficiency of the network.*

Computer network delays are measured in hundredths, sometimes thousandths of a second. However, such minor delays can greatly slow down users when repeated network operations.

Today, many organizations face a problem related to the implementation and adaptation of continuous operation software in the structure of the corporate information system. This type of work requires that the network infrastructure and software can support a significant amount of client-server I/O operations. Implementation of one or another information system without careful consideration of network software properties can lead to inefficient implementation of the project, large temporal and financial losses.

Thus, the task of applying modern methods of analyzing the performance of computer networks of corporate information systems to increase the efficiency of distributed computing operations in networks is

relevant today.

Therefore, this article is devoted to the analysis of modern trends in the development of telecommunication systems and computer networks, the reasons that cause delays when working with distributed applications in networks, and their impact on the performance of networks in general. From the existing variety of software and hardware components included in the computer network, the main objects of research are selected: computer, network communication channel, active network equipment, software product.

Keywords: Computer network, information system, architecture, switching, performance, program, server, monitoring systems.

Скакун М. Р., Ткаченко О. Н., Лемешко А.В.

Государственный университет телекоммуникаций, Киев

АНАЛИЗ МЕТОДОВ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ КОМПЬЮТЕРНЫХ СЕТЕЙ

Аннотация: Развитие компьютерных технологий дало импульс появлению мощных компьютерных сетей обмена данными на производстве. Архитектура компьютерных сетей изменилась в соответствии с требованиями распределенных программ. Владельцы современных компьютерных сетей пересматривают стратегию формирования сетей на производстве, а разработчики сетевых программных продуктов вынуждены уделять большое внимание производительности и эффективности сети.

Задержки компьютерной сети измеряются сотыми, а иногда тысячными долями секунды. Однако подобные незначительные задержки могут замедлить работу пользователей при многократном повторении в результате сетевых операций.

Сегодня перед многими организациями стоит проблема, связанная с внедрением и адаптацией в структуре корпоративной информационной системы программного обеспечения непрерывного действия в сети. При такой работе необходимо, чтобы сетевая инфраструктура и программное обеспечение могли обеспечивать значительный объем операций ввода/вывода типа клиент-сервер. Внедрение той или иной информационной системы без тщательного учета свойств сетевого программного обеспечения может привести к неэффективному выполнению проекта, большим временным и финансовым потерям.

Таким образом, задача по применению современных методов анализа производительности компьютерных сетей корпоративных информационных систем для увеличения эффективности выполнения операций распределенного вычисления в сетях на сегодняшний день актуальна.

Поэтому данная статья посвящена анализу современных тенденций развития телекоммуникационных систем и компьютерных сетей, причин, вызывающих задержки при работе с распределенными приложениями в сетях, и их влияние на производительность сетей в целом. Из существующего разнообразия программно-аппаратных компонентов, входящих в вычислительную сеть, выделены основные объекты исследования: компьютер, сетевой канал связи, активное сетевое оборудование, программный продукт.

Ключевые слова: Компьютерная сеть, информационная система, архитектура, коммутация, производительность, программа, сервер, системы мониторинга.

Вступ. У зв'язку зі швидким розвитком інформаційних технологій реалізація комп'ютерних мереж стала значно складнішою. Архітектура комп'ютерних мереж має бути модернізована таким чином, щоб відповідати потребам розподілених програмно-апаратних додатків. Нові мережеві архітектури передбачають як використання сучасних технологій і устаткування, а й серйозну професійну підготовку фахівців, котрі займаються розробкою мереж, для правильного вибору відповідної структури мережі з урахуванням оцінки її ефективності.

Якщо ґрунтовно проаналізувати сучасні корпоративні інформаційні системи, то з'ясується, що комп'ютерна мережу нині, передусім, є основою роботи сучасних розподілених програмних комплексів, і розробники програмного забезпечення (ПЗ), безумовно, цього не

враховувати. Зв'язок комп'ютерів у вигляді мережевих технологій - це базис розвитку розподілених обчислень, визначальний стратегію проектування мереж і з ними.

Аналіз досліджень та публікацій.

У роботі [1] питання розробки інженерних методів аналізу та синтезу інформаційних систем є найважливішим індикатором якості проектування та функціонування КС.

Існуючі підходи до оцінки найважливіших конструктивних показників КІС докладно висвітлені у праці [2].

Роботи [3, 4] присвячені моделювання КС як систем, які з сукупності ресурсів, користування якими здійснюється у порядку черги відповідно до заданої дисципліною. Однак питання, пов'язане з отриманням комплексного показника продуктивності КС КІС та проведення порівняльної оцінки варіантів її реалізації, потребує суттєвого опрацювання, докладного аналізу та синтезу продуктивності програмно-апаратних компонентів досліджуваної КІС.

Даний момент опрацьовано незначно і тому вимагає проведення більш детальної оцінки можливих варіантів застосування КІС, що експлуатуються та впроваджуються, з метою узагальнення даних про їх продуктивність та складання єдиного показника якості функціонування КС КІС

Мета і задачі дослідження. Мета дослідження полягає у реалізації методу та програмних засобів оцінки продуктивності комп'ютерних мереж, необхідних для підтримки прийняття управлінських рішень щодо створення, оновлення та адаптації комп'ютерних мереж.

Для досягнення поставленої мети вирішено такі завдання:

- провести аналіз розвитку сучасних комп'ютерних та мережевих технологій;
- виконати аналіз сучасного підходу щодо дослідження комп'ютерних мереж;
- виконати порівняльний аналіз програмних продуктів оцінки продуктивності комп'ютерної мережі.

Результати досліджень.

У сучасних умовах перед багатьма організаціями стоїть питання необхідності вирішити проблему розгортання у виробничому середовищі мережного програмного забезпечення безперервної дії. При використанні мережі необхідно, щоб програми (і мережна інфраструктура) могли забезпечувати велику кількість операцій типу клієнт-сервер [5]. Тому дуже важливо, щоб архітектура комп'ютерної мережі мала можливість використовувати розподілені обчислення, і багато компаній сьогодні застосовують для цього передові комп'ютерні технології, тим самим підвищуючи продуктивність власної корпоративної інформаційної системи (КІС).

Затримки комп'ютерної мережі вимірюються сотими чи навіть тисячними частками секунди. Однак затримка на одну соту частку секунди може сповільнити роботу користувачів, якщо вона повторюватиметься тисячу разів під час кожної мережевої операції. Величезна кількість таких нікчемних на перший погляд затримок відбувається і в сучасних клієнт-серверних системах, що може значно знизити ефективність роботи мережі. Невелика різниця у швидкості, що забезпечується різними мережевими технологіями (мостами, маршрутизаторами, комутаторами тощо), призводить до серйозних відмінностей у важливих характеристиках роботи мережі, в якій використані ці технології, суттєво впливає на швидкість реакції програмного забезпечення і, як наслідок, на можливу кількість користувачів [6].

Для вирішення подібних проблем постає питання про необхідність своєчасного та повномасштабного аналізу ефективності роботи телекомунікаційних комп'ютерних систем та насамперед програмних додатків та комп'ютерних мереж. Адже якщо приймати рішення про впровадження тієї чи іншої інформаційної системи без глибокого аналізу властивостей та можливостей програмного забезпечення, що використовується в мережі, то це, безумовно, позначиться на результатах впровадження проекту, призведе до великих тимчасових та фінансових втрат.

Оснoву корпоративної інформаційної системи становить обчислювальна система, що включає такі компоненти, як кабельна мережа та активне мережеве обладнання, комп'ютерне та периферійне обладнання, обладнання для зберігання даних (бібліотеки), системне програмне забезпечення (операційні системи, системи управління базами даних), спеціальне ПЗ (системи моніторингу) та управління мережами) та в деяких випадках прикладне ПЗ.

Аналізуючи сучасні КС КІС та методи їх дослідження, слід зазначити що є велика різноманітність сучасних інформаційних систем та технологій, що мають кожна свої виняткові особливості, ускладнює розробку програмно-апаратних комп'ютерних середовищ та систем. Нові принципи застосування програм та класів програм, розподілені та централізовані інформаційні ресурси, мультиплексні потоки даних, розраховані на багато користувачів системи, потужні комп'ютерні платформи і комплекси, величезна кількість архітектурних і технологічних рішень - все це значною мірою впливає на вирішення складних завдань з розробки та організації КС КІС.

Різні варіанти мережевої архітектури, що характеризуються різним часом обробки пакетів даних та пропускною здатністю комп'ютерної мережі. Ця тенденція наочно представлена рис.1.

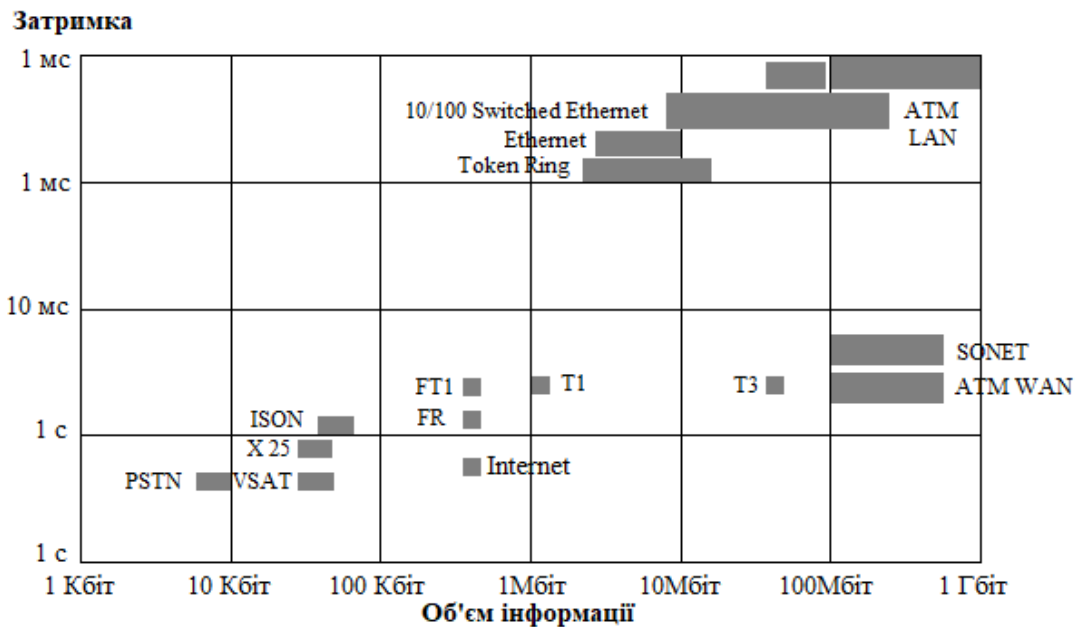


Рис.1. Ландшафт продуктивності

Технології комутації кадрів та осередків дозволили збільшити пропускну спроможність мережі, дали можливість передавати більші обсяги інформації за короткі проміжки часу. Такі технології, як ATM і Ethernet, дозволяють забезпечити пропускну здатність мережі 10, 100 і 1000 Мбіт/с. У локальній та глобальній комп'ютерній мережі діапазон пропускної спроможності становить шість порядків (від 1 тис. біт/с до 1 млрд. біт/с), а мережевих затримок - чотири порядки (від 1 до 1 мс).

На жаль, важко визначити, якою може бути максимальна кількість користувачів та яким буде час обробки транзакції мережі на їх запити при використанні кожної з цих технологій [7].

Загальних рекомендацій щодо вибору відповідної мережевої архітектури на даний момент не існує. Численні та різноманітні вимоги до мережі, зумовлені застосуванням специфічного програмного забезпечення. У зв'язку з цим необхідно застосовувати методи аналізу продуктивності КС, які здатні на основі даних про обчислювальну систему забезпечити прийняття рішення про те, яку ж архітектуру чи принцип побудови мережі у даних умовах слід застосовувати.

Розглянемо варіанти архітектури, які найчастіше використовуються при проектуванні

комп'ютерної мережі:

- маршрутизована фрагментована магістраль;
- FDDI-магістраль;
- мережа з комутацією кадрів 10/100/1000 Мбіт/с;
- АТМ та комутація кадрів.

Усі представлені варіанти конфігурацій є стандартними і досить поширені. Сучасні технології, як правило, засновані на комутації кадрів до 1000 Мбіт/с, що дозволяє значно збільшити пропускну здатність мережі, а також покращити її керованість, що значною мірою стає можливим завдяки використанню так званої віртуалізації мережевих ресурсів. Це дозволяє генерувати логічні групи комп'ютерів та користувачів. Таке уявлення мережевої конфігурації найбільш наочно і дозволяє ергономічно керувати, змінювати і підтримувати роботу мережі, ніж робота з фізичними підмережами, керованими маршрутизаторами. У тих випадках, коли комутація кадрів 10/100 можна порівняти з FDDI-магістраллю, вона допускає безпосереднє підключення до будь-якого пристрою, що має інтерфейс Ethernet або Token Ring. Створення ж FDDI-магістралі потребує додаткових вкладень у маршрутизатори та FDDI-інтерфейси [8]. Важливо, що комутаційна архітектура є також найвигіднішою з погляду зменшення фінансових вливань у процесі реалізації проекту.

Функції та завдання системи оцінки продуктивності КС КІС.

Загалом завдання оцінки продуктивності КС КІС полягає в тому, щоб оцінити показники продуктивності при заданих параметрах технічного, програмного забезпечення ІС (інформаційне середовище) та зовнішнього середовища ІС. До таких параметрів можуть належати швидкодія пристроїв, характеристики складності програм, інтенсивності потоків вимог виконання програм та інші. Вирішуючи завдання аналізу продуктивності, зазвичай, необхідно враховувати випадкову природу багатьох чинників, яких залежить продуктивність КС КІС. Так, випадковими часто є моменти надходження до КС КІС вимог, обсяги інформації, що підлягає обробці, послідовність необхідних для її обробки операцій. Складність структури КІС і необхідність обліку випадкових факторів роблять завдання аналізу продуктивності КС КІС дуже складною, причому в міру прогресу обчислювальної техніки складність цього завдання зростає. Тому все ширше поширення для аналізу продуктивності КС КІС набуває метод математичного моделювання.

Моделювання - один із найпоширеніших методів дослідження процесів функціонування складних систем. Відомо досить багато методів побудови математичних моделей і засобів реалізації моделюючих алгоритмів. Тому основною функцією в проєктованій системі буде функція моделювання комп'ютерних мереж КІС, а точніше - вироблення методів раціональної фізичної реалізації на основі заданих параметрів КС КІС.

Використовуючи методи моделювання при проєктуванні та аналізі продуктивності КС КІС, реінжинірингу комп'ютерної системи, можна реалізувати такі процеси [9]:

- оцінити пропускну спроможність мережі та її компонентів;
- визначити «вузькі» місця в структурі КС КІС;
- порівняти різні варіанти організації КС КІС;
- здійснити перспективний прогноз розвитку КС КІС;
- передбачити майбутні вимоги щодо пропускну спроможності мережі, використовуючи дані прогнозу;
- оцінити необхідну кількість та продуктивність серверів у мережі;
- порівняти різні варіанти модернізації КС КІС;
- оцінити впливом геть комп'ютерну систему модернізації ПЗ, потужності робочих станцій чи серверів, зміни мережевих протоколів.

Дослідження параметрів комп'ютерної системи та докладний аналіз продуктивності КС КІС за різних характеристик окремих компонентів дозволяє вибрати мережне та комп'ютерне обладнання з урахуванням продуктивності, якості обслуговування, надійності та вартості. Оскільки вартість одного порту активного мережного обладнання в залежності від виробника обладнання, використовуваної технології, надійності, керованості може змінюватися від

десять до десятків тисяч гривень, то моделювання дозволяє мінімізувати вартість обладнання, призначеного для використання у комп'ютерній системі. Моделювання стає ефективним при числі робочих станцій 50-100, а коли їх понад 300, то загальна економія коштів може становити 30-40% вартості проекту.

Ринок програмних продуктів щодо оцінки продуктивності КС КІС.

На сьогоднішній момент існує безліч аналітичних програм, що займаються розрахунком та оцінкою продуктивності обчислювальної техніки, комп'ютерних мереж, серверів управління баз даних. Але серед цього різноманіття не існує універсальної системи, яка використовувала б спеціалізовані методи (математичні, фізичні) аналізу продуктивності КС КІС, що включає програмно-апаратні модулі обробки, зберігання та передачі інформації [10]. Тим не менш, розглянемо деякі ІВ, що займаються оцінкою продуктивності ІВ та КС.

1. Аналізатор продуктивності Intel VTune для Windows та Linux:

- аналізатор продуктивності Intel VTune оцінює програми для різноманітних систем на базі процесорів Intel від вбудованих систем до суперкомп'ютерів, допомагаючи підвищити їхню продуктивність. Аналізатор продуктивності Intel VTune спрощує оптимізацію продуктивності додатків, забезпечуючи максимальну швидкість роботи на нових системах на базі одноядерних і багатоядерних процесорів;

- інструмент Intel Thread Profiler для ОС Windows допомагає швидше налагоджувати багатопотокові програми, забезпечуючи їх оптимальну продуктивність у системах на базі багатоядерних процесорів Intel. Удосконалена функція профілювання потоків включає аналіз ОрепМР*, підтримуючи швидке створення прототипів та оцінку потенційної продуктивності різних варіантів. Ідентифікація ділянок багатопотокового коду, швидше за все, призведе до підвищення продуктивності та масштабованості додатків.

2. OptiView Workgroup Analyzer - аналізатор мережі, що має підтримку RMON2, аналіз протоколів і SNMP, а також функцію active discovery рис.2:

- аналізатор робочих груп OptiView являє собою новий підхід до розподіленого аналізу мережі, забезпечуючи потрібне рішення Network Supervision на всіх семи рівнях із необхідною швидкістю та зручністю;

- аналізатор спроектований для спільної роботи з програмними засобами OptiView Reporter та OptiView Protocol Expert, що дозволяє здійснювати моніторинг та аналізувати роботу мереж Ethernet 10/100/1000 Мбіт/с безпосередньо зі свого робочого місця;

- аналізатор робочих груп OptiView можна підключити до основного сегменту мережі або до її віддаленої ділянки - фактично, в будь-якій точці світу - забезпечуючи віртуальну присутність у мережі для аналізу та усунення проблеми з будь-яким сегментом корпоративної мережі.



Рис.2 Апаратно-програмний комплекс OptiView Workgroup Analyzer

3. SuperAgent – пасивне серверне рішення для комплексного управління продуктивністю додатків, аналіз часу відгуку додатків у корпоративних мережах. SuperAgent виконує моніторинг часу вигуку користувачьких додатків та визначає причини затримок без використання настільних чи серверних агентів. Крім розслідування проблем у міру їх виникнення, він

забезпечує ретроспективний огляд додатків, серверів та мереж всього підприємства для того, щоб мережеві адміністратори могли швидко ізолювати та усувати проблеми з продуктивністю. SuperAgent автоматизує керування продуктивністю додатків, дозволяючи мережевим адміністраторам ефективніше відповідати на потреби користувачів.

4. NVIDIA NVPerfKit 2 – нова версія набору інструментів для 3D розробників. NVPerfKit 2 – це набір програм для розробників 3D додатків, що містить потужні засоби для аналізу продуктивності Direct3D та OpenGL додатків за допомогою низькорівневих лічильників продуктивності драйвера та апаратних лічильників відеочіпа, які вперше надані стороннім розробникам у цьому наборі. Лічильники продуктивності можуть використовуватися для виявлення причин низької продуктивності тривимірних додатків і визначення того, наскільки повно конкретний додаток використовує можливості відео чіпа.

5. Oracle Database 10g:

- застосування нових статистичних даних для оптимізації роботи Oracle Database 10g;
- оптимізація SQL-коду за допомогою SQL Tuning Advisor;
- використання SQL Access Advisor для налаштування параметрів доступу;
- моніторинг продуктивності Oracle 10g;
- використання SQL Tuning Advisor та SQL Access Advisor для вирішення різних задач оптимізації;
- використання злиття (MERGE) та зовнішнього об'єднання розділів у різних сценаріях використання;
- використання відображення груп між рядковими обчисленнями (interrow calculations) для різних умов;
- управління матеріалізованими уявленнями;
- використання аналітичних інструментів та швидке оновлення.

6. "IC: Корпоративний інструментальний пакет" - призначений для проведення робіт з аналізу продуктивності та оптимізації інформаційних систем в організаціях, які використовують для автоматизації управління та обліку рішення на платформі «IC: Підприємство».

Висновки.

Проведений аналіз розвитку сучасних комп'ютерних та мережевих технологій свідчить про повсюдну тенденцію до розгортання з виробництва сучасних інформаційних комп'ютерних мереж до роботи з розподіленими обчисленнями. Позначено причини, що викликають затримки під час роботи з розподіленими додатками в мережах, та їх впливом геть продуктивність мереж загалом.

З існуючого різноманіття програмно-апаратних компонентів, що входять до комп'ютерної мережі, виділено основні об'єкти дослідження: комп'ютер, мережевий канал зв'язку, активне мережеве обладнання, програмний продукт. Як об'єкт дослідження обрано КС КІС, предметом дослідження є метод оцінки продуктивності комп'ютерних мереж, що входять до КІС.

Проаналізовано сучасні підходи щодо дослідження КС КІС. Виявлені недоліки в роботі комп'ютерних мереж, що функціонують на виробництві, з розподіленим обчисленням здебільшого передбачувані і можуть бути визначені шляхом оцінки продуктивності КС та її програмно-апаратних компонентів.

Проведено порівняльний аналіз програмних продуктів оцінки продуктивності КС КІС, представлених на ринку. Як основний недолік існуючих аналізаторів продуктивності КС КІС було відзначено відсутність універсальної системи, здатної за допомогою спеціалізованих методів аналізу продуктивності КС КІС (математичних, фізичних) аналізувати обчислювальні комплекси з урахуванням програмно-апаратних модулів обробки, зберігання та передачі інформації.

Встановлено, що у загальному вигляді завдання аналізу продуктивності КС КІС полягає в оцінці показників продуктивності при заданих параметрах технічного, програмного забезпечення ІС та зовнішнього середовища ІВ. До основних показників продуктивності КС

КІС можна віднести: швидкодію пристроїв, характеристики складності програм, інтенсивність потоків вимог виконання програм.

Список використаної літератури

1. Тарасов, В.Н. Вероятностное компьютерное моделирование вычислительных систем для анализа их производительности/ В.Н. Тарасов. : Изд-во ОГУ, 2015. – 236 с.
2. Майорова, С.А. Основы теории вычислительных систем/ С.А. Майорова. – М.: Высшая школа, 2013. – 408 с.
3. Шведенко, В.Н. Адаптивная автоматизированная система проектирования и управления бизнес-процессами/ В.Н. Шведенко, О.В. Щекочихин, Р.А. Набатов // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. – 2018. – № 6. – С. 59-60.
4. Kang, W.N. Diffusion approximation for an input-queued packet switch operating under a maximum weight algorithm / W.N. Kang, R.J. Williams. – 2017.
5. Гома, Х. Проектирование систем реального времени, распределенных и параллельных приложений: Пер. с англ./ Х. Гома. ДМК, 2017.
6. Chao, X. On truncation properties of finite-buffer queues and queuing networks / X. Chao, M. Miyazawa/ Probability in the Engineering and Informational Sciences. – 2018. – № 4. – P. 409-423.
7. Уолрэнд Дж. Телекоммуникационные и компьютерные сети. Вводный курс/ Дж. Уолрэнд. : Постмаркет, 2015. – 350 с.
8. Горбатий І. В., Бондарев А. П. Характеристики телекомунікаційні системи та мережі. Принципи функціонування, технології та протоколи/Горбатий І. В., Бондарев А. П.: Видавництво Львівської політехніки, 2016.-336с.
9. Павловский, Ю.Н. Имитационные модели и системы [Текст]/ Ю.Н. Павловский. – М.: Фазис ВЦ РАН, 2014. – 134 с.
10. Гургенидзе, А. Мультисервисные сети и услуги широкополосного доступа/ А. Гургенидзе, В. Кореш. – М.: Наука и Техника, 2013. – 400 с.

References

1. Tarasov, V.N. Probabilistic computer modeling of computing systems for the analysis of their productivity/ V.N. Tarasov.: OGU Publishing House, 2015. – 236 p.
2. Mayorova, S.A. Fundamentals of the theory of computing systems/ S.A. Mayorova. - M.: Higher School, 2013. - 408 p.
3. Shvedenko, V.N. Adaptive automated system of business process design and management/ V.N. Shvedenko, O.V. Shchekochikhin, P.A. Nabatov // Devices and systems. Management, control, diagnostics. – 2018. – No. 6. – P. 59-60.
4. Kang, W.N. Diffusion approximation for an input-queued packet switch operating under a maximum weight algorithm / W.N. Kang, R.J. Williams. - 2017.
5. Homa, H. Designing real-time systems, distributed and parallel applications: Trans. with English/ H. Goma. DMK, 2017.
6. Chao, X. On truncation properties of finite-buffer queues and queuing networks / X. Chao, M. Miyazawa/ Probability in the Engineering and Informational Sciences. - 2018. - No. 4. - P. 409-423.
7. Walrand J. Telecommunications and computer networks. Introductory course/ J. Walrand. : Postmarket, 2015. – 350 p.
8. Gorbaty I. V., Bondarev A. P. Characteristics of telecommunication systems and networks. Principles of functioning, technologies and protocols/Gorbaty I.V., Bondarev A.P.: Publishing House of Lviv Polytechnic, 2016. - 336p.
9. Pavlovsky, Y.N. Simulation models and systems [Text]/ Y.N. Pavlovsky - Moscow: Fazys Center of the Russian Academy of Sciences, 2014. - 134 p.
10. Gurgeniidze, A. Multiservice networks and broadband access services/ A. Gurgeniidze, V. Koresh. - M.: Nauka i Tehnika, 2013. - 400 p.