

Міністерство освіти і науки України
Вінницький національний технічний університет

І. Р. Арсенюк, А. А. Яровий, І. Д. Івасюк

КОМП'ЮТЕРНІ МЕРЕЖІ

Навчальний посібник

Вінниця
ВНТУ
2013

УДК 681.3
ББК 32.973.202
А85

Рекомендовано Міністерством освіти і науки, молоді та спорту України як навчальний посібник для студентів вищих навчальних закладів. Лист №1/11-14953 від 25.09.2012 р.

Рецензенти:

О. Г. Корченко, доктор технічних наук, професор

Л. І. Тимченко, доктор технічних наук, професор

І. Й. Хаїмзон, доктор технічних наук, професор

Арсенюк, І. Р.

А85 Комп'ютерні мережі : навчальний посібник / І. Р. Арсенюк, А. А. Яровий, І. Д. Івасюк. – Вінниця : ВНТУ, 2013. – 272 с.

ISBN 978-966-641-526-7

Навчальний посібник підготовлено згідно з останніми освітньо-кваліфікаційними вимогами до підготовки бакалаврів з напрямку підготовки "Комп'ютерні науки". В посібнику дано систематичне викладення основ курсу "Комп'ютерні мережі". Розглянуто еволюцію, класифікацію, основи побудови комп'ютерних мереж та системні вимоги до них; мережеве апаратне забезпечення; модель OSI та стек протоколів TCP/IP; основи передавання даних на різних рівнях; питання адресації в IP-мережах; основи роботи в Cisco IOS, а також протоколи маршрутизації RIP, EIGRP та OSPF.

Навчальний посібник буде корисний усім, хто займається створенням, налаштуванням, використанням та моніторингом комп'ютерних мереж.

УДК 681.3
ББК 32.973.202

ISBN 978-966-641-526-7

© І. Арсенюк, А. Яровий, І. Івасюк, 2013

ЗМІСТ

ВСТУП	6
1 РОЛЬ КОМП'ЮТЕРНИХ МЕРЕЖ В СУЧАСНОМУ СУСПІЛЬСТВІ	8
1.1 Еволюція комп'ютерних мереж	8
1.2 Конвергенція мереж	13
1.3 Класифікація комп'ютерних мереж	16
1.4 Вимоги до комп'ютерних мереж	20
Контрольні запитання	23
Тести	24
2 ОСНОВИ ПОБУДОВИ МЕРЕЖ	30
2.1 Топології комп'ютерних мереж	30
2.2 Комутація абонентів у мережі каналів і пакетів	32
2.2.1 Комутація каналів	32
2.2.2 Комутація пакетів	35
2.3 Структуризація як засіб побудови великих мереж	41
2.3.1 Фізична структуризація мережі	41
2.3.2 Логічна структуризація мережі	43
Контрольні запитання.....	47
Тести	48
Завдання	54
3 ПРОТОКОЛИ ТА АРХІТЕКТУРА	59
3.1 Багаторівневий підхід. Протокол. Інтерфейс. Стек протоколів	59
3.2 Модель взаємодії відкритих систем ISO/OSI	60
3.3 Рівні моделі OSI	63
3.4 Стек протоколів TCP/IP	69
Контрольні запитання.....	71
Тести	71
4 ОСНОВИ ФІЗИЧНОГО ТА ЛОГІЧНОГО КОДУВАННЯ	75
4.1 Фізичне кодування	75
4.1.1 Вимоги до методів фізичного кодування.....	75
4.1.2 Потенціальні коди	76
4.1.3 Імпульсні коди	79
4.2 Логічне кодування	80
4.2.1 Надлишкові коди	80
4.2.2 Скремблювання	83
Контрольні запитання	84
Тести	85
Завдання	87
5 ОСНОВИ АДРЕСАЦІЇ В IP-МЕРЕЖАХ	89
5.1 Типи адрес стека TCP/IP	89

5.2 Адресація IPv4	91
5.2.1 Класи IPv4-адресів	91
5.2.2 Особливі IPv4-адреси	93
5.2.3 Застосування масок під час IPv4-адресації	95
5.3 Адресація IPv6	104
5.3.1 Подання IPv6-адрес	104
5.3.2 Види IPv6-адрес	104
Контрольні запитання	110
Тести	111
Завдання	119
6 МЕРЕЖЕВЕ АПАРАТНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ	123
6.1 Плати мережевих адаптерів	123
6.2 Повторювачі	123
6.3 Концентратори	124
6.4 Мости та комутатори	124
6.4.1 Основи функціонування мостів	124
6.4.2 Режими комутації	126
6.4.3 Проблеми у роботі мережі на основі мостів	127
6.4.4 Протокол зв'язуючого дерева STP та його модифікації	128
6.4.5 Застосування комутаторів	133
6.5 Маршрутизатори	134
6.5.1 Основні функції та класифікація маршрутизаторів	135
6.5.2 Основні компоненти маршрутизаторів	136
6.6 Порівняння комутації та маршрутизації	138
Контрольні запитання	139
Тести	140
Завдання	145
7 ВСТУП ДО CISCO IOS	149
7.1 Режими функціонування Cisco IOS	149
7.2 Інтерфейс користувача	149
7.3 Допомога з команд Cisco IOS	151
7.4 Послідовність початкового завантаження маршрутизатора та комутатора	153
7.5 Файли конфігурації маршрутизатора та комутатора	155
7.6 Початкова конфігурація комутатора	156
7.7 Деякі команди початкового конфігурування та моніторингу роботи маршрутизатора та комутатора	153
Контрольні запитання	165
Тести	167
8 ПРОТОКОЛИ МАРШРУТИЗАЦІЇ	173
8.1 Призначення та класифікація протоколів маршрутизації	173
8.2 Застосування кількох протоколів маршрутизації	177

8.3	Внутрішні та зовнішні протоколи Інтернету	178
8.4	Порівняння статичної та динамічної маршрутизації	179
8.5	Порівняння деяких протоколів динамічної маршрутизації	180
8.6	Основи статичної маршрутизації	183
8.7	Дистанційно-векторний протокол RIP	185
8.7.1	Побудова таблиці маршрутизації	185
8.7.2	Методи боротьби з фальшивими маршрутами у протоколі RIP	189
8.7.3	Конфігурування протоколу RIP	194
8.7.4	Тестування та усунення помилок у роботі протоколу RIP ..	200
8.8	Удосконалений протокол маршрутизації EIGRP	201
8.8.1	Огляд протоколу EIGRP	201
8.8.2	Обчислення метрики протоколу EIGRP	202
8.8.3	Термінологія протоколу EIGRP	205
8.8.4	Функції і технології протоколу EIGRP	210
8.8.5	Типи пакетів протоколу EIGRP	214
8.8.6	Конвергенція протоколу EIGRP	216
8.8.7	Конфігурування протоколу EIGRP для IP	218
8.8.8	Тестування базової конфігурації протоколу EIGRP	225
8.9	Протокол стану зв'язків OSPF	225
8.9.1	Загальні відомості та термінологія протоколу OSPF	225
8.9.2	Стани протоколу OSPF	228
8.9.3	Основи функціонування протоколу OSPF	231
8.9.4	Конфігурування протоколу OSPF	234
8.9.5	Тестування роботи протоколу OSPF	240
	Контрольні запитання	241
	Тести	243
	Завдання	248
	ВІДПОВІДІ НА ТЕСИ	261
	СЛОВНИК ЧАСТО ВЖИВАНИХ ТЕРМІНІВ	262
	ПРЕДМЕТНИЙ ПОКАЖЧИК	266
	ЛІТЕРАТУРА	270

ВСТУП

Однією з найважливіших особливостей сучасності є перехід розвинутих країн світу від постіндустріального до інформаційного суспільства, що зумовлює необхідність вжиття невідкладних заходів із активного впровадження інформаційних та комунікаційних мережевих технологій. Комп'ютерні мережеві системи, де створюються, обробляються та зберігаються інформаційні ресурси, стали невід'ємними складовими різноманітних систем керування, компонентами складних технічних, адміністративних, економічних та інших систем, що забезпечують життєдіяльність суспільства. Більшість із них є територіально-розподіленими системами зі складною організаційною структурою та з високою інтенсивністю процесів інформаційної взаємодії.

Розподілені мережеві комп'ютерні системи є системоутворювальною складовою сучасних інформаційних інфраструктур. Комп'ютерні мережеві технології забезпечують інформаційну інтегрованість при наявній географічній розподіленості. Характеризуючи в такому контексті комп'ютерні мережі, як правило, визначають такі особливості, як відкритість, паралельність, масштабованість, відмовостійкість, прозорість, спільність використання ресурсів, що надають певні переваги при розв'язанні великої кількості прикладних задач. Завдяки їх відкритості легко виконувати розширення системи, додаючи нові ресурси. Паралельність передбачає можливість одночасного виконання декількох процесів на різних комп'ютерах в межах комп'ютерної мережі, які можуть взаємодіяти під час виконання; масштабованість – можливість додання нових властивостей і методів.

Інформаційні та комунікаційні мережеві технології становлять вагому частку світового виробництва, що спричиняє глобальний перерозподіл як ринку праці, так і ринку освітніх послуг. Крім того, створення єдиного європейського освітнього простору в рамках Болонського процесу істотно підвищує роль комп'ютерних мережевих технологій в освіті.

Навчальний посібник підготовлено відповідно до останніх вимог та галузевого стандарту підготовки фахівців з напряму підготовки "Комп'ютерні науки" освітньо-кваліфікаційного рівня "бакалавр". Навчальний посібник призначений для студентів денної, заочної та дистанційної форм навчання, також може використовуватися слухачами курсів підвищення кваліфікації і перепідготовки кадрів у сфері застосування сучасних інформаційних технологій. Він також буде корисний усім спеціалістам, хто займається розробкою, проектуванням та моделюванням комп'ютерних мереж. Зміст навчального посібника відповідає чинній навчальній програмі і вимогам державних стандартів освіти. Науковий і методичний рівень викладення матеріалу відповідає сучасним освітнім технологіям.

У навчальному посібнику наведено матеріали, які забезпечують формування знань та навиків зі створення, налаштування, використання та мо-

ніторингу комп'ютерних мереж фахівцями з інформаційних технологій. Матеріали посібника спрямовані на формування необхідних знань з питань моделювання та проектування комп'ютерних мереж, основ керування комп'ютерними мережами та їх моніторингу, виявлення та усунення помилок у їх роботі, основ фізичного та логічного кодування в комп'ютерних мережах, принципів адресації, діагностики мережевого обладнання тощо з метою використання у процесі навчання та професійної діяльності.

Особливістю даного навчального посібника є те, що окремий акцент зроблено на практичній складовій підготовки фахівців з врахуванням останніх тенденцій розвитку мережевих технологій компанії Cisco Systems, яка є світовим лідером в галузі мережевих технологій і найбільшим виробником складного мережевого обладнання. Cisco постачає більше 80% маршрутизаторів, що складають основу Інтернету. Сучасні рішення компанії забезпечують роботу об'єднаних мереж тисяч організацій, урядових агентств і служб в усьому світі. Матеріали посібника спрямовані на отримання навичок встановлення та конфігурування комутаторів і маршрутизаторів Cisco в багатопрокольних мережах, які об'єднують локальні та територіально розділені мережі, налагодження на початковому етапі, підвищення продуктивності та захищеності мереж.

Засвоєння поданого у даному навчальному посібнику матеріалу є базовою основою для подальшого вивчення таких дисциплін як "Корпоративні та глобальні комп'ютерні мережі", "Системне адміністрування", "Технології захисту інформації" та "Web-технології та web-дизайн".

Теоретичний матеріал викладено у формі, яка сприяє швидкому практичному оволодінню ним при роботі за комп'ютером як за допомогою викладача, так і самостійно. В навчальному посібнику дано систематичне викладення основ курсу "Комп'ютерні мережі": наведено еволюцію, класифікацію, основні вимоги до комп'ютерних мереж, а також відзначено їх роль у житті суспільства; розглянуто модель взаємодії відкритих системи ISO/OSI та стека комунікаційних протоколів TCP/IP; основи побудови мереж та їх структуризації; мережеве апаратне забезпечення; передавання даних у комп'ютерних мережах; основи фізичного та логічного кодування інформації в комп'ютерних мережах; основи IP-адресації, технології FLSM, VLSM та CIDR. Також приділено увагу питанням: основ роботи в Cisco IOS, базового налаштування маршрутизаторів, класифікації і порівняльного аналізу протоколів маршрутизації, налаштування та тестування протоколів RIP, EIGRP, OSPF засобами Cisco IOS, а також пошуку несправностей в їх роботі та усуненню таких несправностей. До кожного розділу наведено контрольні запитання та тести для самоперевірки, які дають змогу закріпити пройдений матеріал. До тестів в кінці посібника наведено відповіді. Для глибшого і ґрунтовнішого опанування поданого матеріалу студентам також пропонується ряд практичних завдань.

1 РОЛЬ КОМП'ЮТЕРНИХ МЕРЕЖ В СУЧАСНОМУ СУСПІЛЬСТВІ

1.1 Еволюція комп'ютерних мереж

Історія будь-якої галузі науки або техніки дозволяє глибше зрозуміти сутність основних досягнень у цій галузі, виявити тенденції і правильно оцінити перспективність тих або інших напрямків розвитку.

Комп'ютерні мережі (мережі передавання даних, обчислювальні мережі) є результатом еволюції комп'ютерних і телекомунікаційних технологій. З одного боку, комп'ютерні мережі (КМ) є окремим випадком розподілених обчислювальних систем, а з іншого можуть розглядатись як засіб передавання інформації на значні відстані. Отже [1]:

- КМ – це група комп'ютерів, зв'язаних комунікаційною системою та оснащених відповідним програмним забезпеченням (ПЗ), що надає користувачам мережі доступ до ресурсів цієї групи комп'ютерів;
- КМ можуть утворювати комп'ютери різних типів – робочі станції, мінікомп'ютери, персональні комп'ютери або суперкомп'ютери;
- передавання повідомлень між будь-якою парою комп'ютерів мережі забезпечує комунікаційна система, що може містити кабелі, повторювачі, комутатори, маршрутизатори та інші пристрої;
- КМ дозволяє користувачу працювати зі своїм комп'ютером як з автономним і додає до цього можливість доступу до інформаційних і апаратних ресурсів інших комп'ютерів мережі.

Для розуміння виникнення та розвитку КМ згадаємо історію [1]. Ідея комп'ютера була запропонована англійським математиком Чарльзом Бебіджом (Charles Babig) у середині дев'ятнадцятого століття. Але його механічна „аналітична машина” по-справжньому так і не запрацювала. Справжнє народження цифрових обчислювальних машин відбулося у середині 40-х років минулого століття, коли були створені перші лампові електронно-обчислювальні машини (ЕОМ). Для цього періоду характерно таке [1]:

- комп'ютер був скоріше предметом дослідження, а не інструментом для розв'язання практичних задач;
- одна й та ж група людей брала участь і в проектуванні, і в експлуатації, і у програмуванні ЕОМ;
- програмування здійснювалося винятково машинною мовою;
- не було ніякого системного ПЗ, крім бібліотек математичних і службових підпрограм;
- операційні системи (ОС) ще не з'явилися, всі завдання організації обчислювального процесу вирішувались вручну кожним програмістом з пульта керування.

З середини 50-х років з появою нової технічної бази – напівпровідникових елементів почався наступний період у розвитку обчислювальної техніки. В цей період [1]:

- виросла швидкодія процесорів, збільшились обсяги оперативної та зовнішньої пам'яті;
- комп'ютери стали надійнішими;
- з'явилися перші алгоритмічні мови, і до бібліотек математичних і службових підпрограм додався новий тип системного програмного забезпечення – транслятори;
- були розроблені перші системні керувальні програми-монітори, які автоматизували всю послідовність дій оператора для організації обчислювального процесу.

Програмні монітори були прообразом сучасних ОС, вони стали першими системними програмами, призначеними не для оброблення даних, а для керування обчислювальним процесом.

В процесі реалізації моніторів була розроблена формалізована мова керування завданнями, за допомогою якої програміст повідомляв системі та оператору, які дії й у якій послідовності він хотів би виконати на ЕОМ. Типовий набір директив, зазвичай, містив ознаку початку окремої роботи, виклик транслятора, виклик завантажувача, а також ознаки початку й кінця вихідних даних.

Оператор складав пакет завдань, які потім без його участі послідовно запускалися на виконання монітором. Крім того, монітор міг самостійно обробляти найпоширеніші аварійні ситуації, що виникали при роботі програм користувачів (наприклад, відсутність вихідних даних, переповнення регістрів, ділення на нуль, звернення до неіснуючої області пам'яті тощо).

Наступний важливий період розвитку ОС відноситься до 1965 – 1975 років. Тоді в технічній базі ЕОМ відбувся перехід від окремих напівпровідникових елементів до інтегральних мікросхем, що відкрило шлях до появи наступного покоління комп'ютерів [1].

У цей період були реалізовані практично всі основні механізми, властиві сучасним ОС: мультипрограмування, мультипроцесування, підтримка багатотермінального багатокористувацького режиму, віртуальна пам'ять, файлові системи, розмежування доступу та мережева робота. В ці роки починає інтенсивно розвиватися системне програмування.

В умовах значного збільшення обчислювальних потужностей комп'ютерів, пов'язаних з обробленням та зберіганням даних, виконання тільки однієї програми в кожний момент часу виявилось вкрай неефективним. Почалися розробки в області мультипрограмування.

Мультипрограмування – це спосіб організації обчислювального процесу, при якому в пам'яті комп'ютера одночасно перебуває кілька програм, що поперемінно виконуються на одному процесорі. Мультипрограмування

було реалізовано у двох варіантах:

- пакетне оброблення;
- розподіл часу.

Системи пакетного оброблення призначалися для розв'язання обчислювальних задач, які не потребують швидкого розв'язання. Головною метою та критерієм таких систем є максимальна кількість задач, розв'язувана за одиницю часу. Для досягнення мети на початку роботи формується пакет завдань, з якого вибирається певна кількість одночасно виконуваних завдань (при цьому завдання вибираються з різними вимогами до ресурсів, так, щоб забезпечити збалансоване завантаження усіх пристроїв ЕОМ).

Взаємодія користувача з ЕОМ, на якій встановлена система пакетного оброблення, зводиться до того, що користувач приносить завдання та віддає його оператору. А наприкінці дня, після виконання усього пакета завдань, одержує результат. Такий порядок підвищує ефективність функціонування апаратури, але знижує ефективність та зручність роботи користувача.

В системах розподілу часу користувачам надається можливість інтерактивної роботи відразу з декількома додатками. Для цього ОС поперемінно виділяється квант процесорного часу усім додаткам. Якщо квант невеликий – то в усіх користувачів, які одночасно працюють на одній машині, складається враження, що кожний з них використовує машину одноосібно. Системи розподілу часу призначені для виправлення основного недоліку систем пакетного оброблення – ізоляції користувача-програміста від процесу виконання завдань.

Системи розподілу часу мають меншу пропускну здатність та продуктивність, ніж системи пакетного оброблення, оскільки тут на перший план виходять зручність та ефективність роботи користувача.

Внаслідок здешевлення процесорів, більш широкого застосування обчислювальної техніки активно розвивались багатотермінальні системи розподілу часу. Такі термінали розташувались по всьому підприємству. Багатотермінальний режим використовувався не тільки в системах розподілу часу, а й у системах пакетного оброблення. При цьому не тільки оператор, а й усі користувачі одержували можливість формувати свої завдання й керувати їх виконанням зі свого терміналу. Такі ОС одержали назву *систем віддаленого введення завдань* [1].

Термінальні комплекси могли розташовуватися на великій відстані від процесорних стояків, з'єднуючись з ними за допомогою різних глобальних зв'язків – модемних з'єднань телефонних мереж або виділених каналів. Для підтримки віддаленої роботи терміналів в ОС з'явилися спеціальні програмні модулі, що реалізують різні протоколи зв'язку. Такі обчислювальні системи з віддаленими терміналами, зберігаючи централізований характер оброблення даних, деякою мірою були прообразом сучасних КМ, а

відповідне системне програмне забезпечення – прообразом мережеских ОС. Багатотермінальні централізовані системи вже мали всі зовнішні ознаки локальних комп'ютерних мереж (ЛКМ), однак ще зберігали сутність централізованого оброблення даних автономно працюючого комп'ютера. Рядовий користувач сприймав роботу за терміналом мейнфрейму приблизно так, як зараз сприймає роботу за персональним комп'ютером (ПК) приєднаним до мережі. Користувач міг одержати доступ до загальних файлів і периферійних пристроїв, при цьому в нього створювалася повна ілюзія одноособового користування комп'ютером, тому що він міг запустити потрібну програму в будь-який момент і майже відразу одержати результат [1].

Хоча теоретичні роботи зі створення концепцій мережескої взаємодії проводились майже з моменту появи ЕОМ, значні практичні результати об'єднання комп'ютерів у мережі були отримані лише наприкінці 60-х, коли за допомогою глобальних зв'язків і техніки комутації пакетів вдалось реалізувати взаємодію мейнфреймів і суперкомп'ютерів, що дозволило підвищити ефективність їх використання.

Ще до реалізації зв'язків „комп'ютер-комп'ютер” було вирішено більш просте завдання – організація зв'язку „віддалений термінал-комп'ютер”. Термінали, що розташовані від комп'ютера на відстані багатьох сотень і тисяч кілометрів, з'єднувалися з комп'ютерами через телефонні мережі за допомогою модемів. Такі мережі дозволяли користувачам отримувати віддалений доступ до виділених ресурсів кількох потужних комп'ютерів класу супер-ЕОМ.

Потім були розроблені засоби обміну даними між комп'ютерами в автоматичному режимі. На основі цього механізму в перших мережах були реалізовані служби обміну файлами, синхронізації баз даних, електронної пошти тощо.

В 1969 році міністерство оборони США ініціювало роботи з об'єднання в загальну мережу суперкомп'ютерів оборонних і науково-дослідних центрів. Ця КМ, що одержала назву ARPANET послужила відправною точкою для створення першої й найвідомішої нині глобальної мережі – Internet. КМ ARPANET об'єднувала комп'ютери різних типів, які працювали під керуванням різних ОС із додатковими модулями, що реалізують комунікаційні протоколи, загальні для всіх комп'ютерів мережі. Такі ОС можна вважати першими мережескими операційними системами [1].

Мережескі операційні системи (МОС), на відміну від багатотермінальних, дозволяли не тільки розосередити користувачів, а й організувати розподілене зберігання й оброблення даних між кількома комп'ютерами, зв'язаними електричними зв'язками. Будь-яка МОС, з одного боку, виконує всі функції локальної ОС, а з іншого – має додаткові засоби, що дозволяють їй взаємодіяти по мережі з ОС інших комп'ютерів. Програмні модулі, що реалізують мережескі функції, з'являлись в ОС поступово, із розвит-

ком мережевих технологій, апаратної бази комп'ютерів і виникненням нових завдань, що потребують мережевого оброблення.

В 1974 році компанія IBM оголосила про створення власної мережевої архітектури SNA (System Network Architectur – системна мережева архітектура) для своїх мейнфреймів. У цей же час у Європі активно проводились роботи зі створення та стандартизації мереж X.25 [1].

Таким чином, *хронологічно першими з'явилися глобальні мережі*, тобто мережі, що об'єднують територіально розосереджені комп'ютери, які можуть розташовуватись у різних містах і країнах. Саме при побудові глобальних мереж були вперше запропоновані й відпрацьовані багато основних ідей і концепцій сучасних КМ. Такі, наприклад, як багаторівнева побудова комунікаційних протоколів, технологія комутації пакетів і маршрутизація пакетів у складених мережах.

Глобальні комп'ютерні мережі (ГКМ) дуже багато успадкували від більш старих глобальних мереж – телефонних. Головним результатом створення перших ГКМ була відмова від принципу комутації каналів, який протягом багатьох десятиріч років успішно використовувався у телефонних мережах.

Складений канал, виділений на весь час сеансу зв'язку, з постійною швидкістю не міг ефективно використовуватися пульсуючим трафіком комп'ютерних даних (у якого періоди інтенсивного обміну чергуються із тривалими паузами). Експерименти та математичне моделювання показали, що пульсуючий і значною мірою нечутливий до затримок комп'ютерний трафік набагато ефективніше передається мережами, що використовують принцип комутації пакетів. Тобто, коли дані розділяються на невеликі порції, які самостійно переміщуються мережею за рахунок вбудовування адреси кінцевого вузла у заголовок пакета.

Оскільки прокладання високоякісних ліній зв'язку (ЛЗ) на великі відстані обходиться дуже дорого, у перших ГКМ часто використовувалися вже існуючі канали зв'язку, призначені зовсім для інших цілей. Наприклад, телефонні канали, що здатні у кожний момент часу вести передавання тільки однієї розмови в аналоговій формі. Оскільки швидкість передавання дискретних комп'ютерних даних по таких каналах була дуже низькою (десятки кілобіт за секунду), набір надаваних послуг у таких ГКМ, зазвичай, обмежувався передаванням файлів, переважно у фоновому режимі, і електронною поштою.

Крім низької швидкості такі канали ще вносять значні викривлення у сигнали, які передаються. Тому протоколи глобальних мереж, побудованих з використанням ЛЗ низької якості, відрізняються складними процедурами контролю та відновлення даних. Типовим прикладом таких мереж є мережі X.25, розроблені ще на початку 70-х років, коли низькошвидкісні аналогові канали, орендовані у телефонних компаній, були переважним

типом каналів, що з'єднують комп'ютери та комутатори ГKM.

Розвиток технології ГKM багато в чому визначався прогресом телефонних мереж. З кінця 60-х років у телефонних мережах все частіше стало застосовуватись передавання голосу в цифровій формі. Це привело до появи високошвидкісних цифрових каналів, які з'єднують АТС і дозволяють одночасно передавати сотні розмов. Була розроблена спеціальна технологія плезіохронної цифрової ієрархії (Plesiochronous Digital Hierarchy, PDH), призначена для створення так званих первинних або опорних мереж. Такі мережі не надають послуг кінцевим користувачам, а є фундаментом, на якому будуються швидкісні цифрові канали „точка-точка”, що з'єднують обладнання іншої мережі, яка вже працює на кінцевого користувача [1].

Спочатку технологія PDH, що підтримує швидкості до 140 Мбіт/с, була внутрішньою технологією телефонних компаній. Однак згодом ці компанії стали здавати частину своїх каналів PDH в оренду підприємствам, які використовували їх для створення власних телефонних і глобальних KM.

З'явившись наприкінці 80-х років, технологія синхронної цифрової ієрархії (Synchronous Digital Hierarchy, SDH) розширила діапазон швидкостей цифрових каналів до 10 Гбіт/с, а технологія спектрального мультиплексування DWDM (Dense Wave Division Multiplexing) – до сотень Гбіт/с і навіть декількох терабіт за секунду.

В наш час ГKM за різноманітністю і якістю послуг наздогнали і навіть перевершили ЛKM, які довгий час були лідером за кількістю послуг, хоча й з'явилися значно пізніше.

Хронологію важливіших подій на шляху створення перших KM наведено у таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 – Деякі події на шляху створення перших KM

Етап	Час
Перші глобальні зв'язки ЕОМ, перші експерименти з пакетними мережами.	Кінець 60-х.
Початок передавання по телефонних мережах голосу у цифровій формі.	Кінець 60-х.
День народження мережі Інтернет.	
Поява перших інтегральних схем, перші мінікомп'ютери. Перші нестандартні локальні мережі.	Початок 70-х.
Створення першої архітектури IBM SNA.	1974 р.
Стандартизація технології X.25.	1974 р.
Поява ПК, створення Інтернету в сучасному вигляді. Встановлення на всіх вузлах стека TCP/IP.	Початок 80-х.
Поява перших технологій ЛKM (Ethernet – 1980; Token Ring, FDDI – 1985).	Середина 70-х.
Початок комерційного використання Інтернету.	Кінець 60-х.
Винахід Web.	1991

Тут не можна не згадати і про мережу мереж Інтернет. Її днем народження вважається 2 вересня 1969 р., коли вчені з лабораторії Лена Клейнрока у Каліфорнійському університеті (Лос-Анжелес) вперше змогли передати через п'ятиметровий кабель випадковий набір символів з одного комп'ютера на інший.

Деякі приклади технологій ЛКМ: Ethernet, Fast Ethernet, Gigabit Ethernet, Token Ring, FDDI, 100VG-AnyLAN.

Деякі приклади технологій ГKM: X.25, ISDN, SMDS, ATM, Frame Relay.

1.2 Конвергенція мереж

Взагалі конвергенція – це процес зближення, компромісу, стабілізації. В контексті мереж – це об'єднання різних технологій ЛКМ та ГKM, радіо-, телевізійних та телефонних мереж.

Наприкінці 80-х років відмінності між ЛКМ та ГKM проявлялися досить чітко [1]:

- *довжина і якість ЛЗ.* ЛКМ за означенням відрізняються від ГKM невеликими відстанями між вузлами мережі. Це взагалі дає можливість в ЛКМ більш якісних ліній зв'язку;
- *складність методів передавання даних.* В умовах низької надійності фізичних каналів у ГKM потрібні складніші, ніж в ЛКМ методи передавання даних і відповідне обладнання;
- *швидкість обміну даними* в ЛКМ (10, 16 і 100 Мбіт/с) в той час була істотно вища, ніж в ГKM (від 2,4 Кбіт/с до 2 Мбіт/с);
- *різноманітність послуг.* Високі швидкості обміну даними породили в ЛКМ широкий набір послуг (наприклад, файлової служби, друку, баз даних, електронної пошти тощо), в той час як ГKM, як правило, надавали поштові, а іноді файлові послуги з обмеженими можливостями;
- *масштабованість.* „Класичні” ЛКМ мають погану масштабованість внаслідок негнучкості базових топологій, що визначають спосіб приєднання станцій і довжину ЛЗ. При цьому характеристики мережі різко погіршуються при досягненні певної межі за кількістю вузлів або довжини ЛЗ. ГKM же властива гарна масштабованість, оскільки вони розроблялись, розраховуючи на роботу з довільними топологіями і дуже великою кількістю абонентів.

Поступово різниця між локальними та глобальними типами мережевих технологій стала зменшуватись. Ізольовані раніше ЛКМ почали об'єднуватись за допомогою ГKM. Таке об'єднання привело до значного взаємопроникнення відповідних технологій. Зближення в методах передавання даних відбувається на платформі цифрового (немодульованого) передавання даних по волоконно-оптичних ЛЗ. Це середовище передавання

даних використовують практично усі технології ЛКМ для швидкісного обміну інформацією, на ній же побудовані і сучасні магістралі первинних мереж SDH і DWDM, які надають свої цифрові канали для об'єднання обладнання ГKM.

Висока якість цифрових каналів змінила вимоги до протоколів ГKM. На перший план замість процедур забезпечення надійності вийшли процедури забезпечення гарантованої середньої швидкості доставлення інформації, а також механізми пріоритетного оброблення пакетів особливо чутливого до затримок трафіку. Ці зміни знайшли відбиток в таких технологіях ГKM, як Frame Relay і ATM, де передбачається, що викривлення бітів відбувається так рідко, що помилковий пакет вигідніше просто знищити, а всі проблеми, пов'язані з його втратою, доручити програмному забезпеченню більш високого рівня, що безпосередньо не входить до складу мереж Frame Relay і ATM [1].

Значний внесок у зближення ЛКМ і ГKM внесло домінування протоколу IP, який сьогодні фактично використовується для будь-яких технологій ЛКМ і ГKM для створення з різних підмереж єдиної складної мережі.

ГKM 90-х років, що працювали на основі швидкісних цифрових каналів, істотно розширили набір своїх послуг і вже давно наздогнали та перевершили ЛКМ. Стало можливим створення служб, робота яких пов'язана з доставкою користувачу мультимедійної інформації. Яскравий приклад – гіпертекстова інформаційна служба World Wide Web, що стала основним постачальником інформації в Інтернеті. Її інтерактивні можливості перевершили можливості багатьох аналогічних служб ЛКМ, і розробникам локальних мереж довелося просто запозичити цю службу в ГKM. Процес переносу служб і технологій із глобальної мережі Інтернет у локальні набув такого масового характеру, що з'явився навіть спеціальний термін – intranet-технології (intra – внутрішній).

З'являлися технології, призначені для обох видів мереж. Наприклад, технологія ATM може бути основою як ГKM, так і ЛКМ, ефективно поєднуючи всі існуючі типи трафіку в одній транспортній мережі. Іншим прикладом може служити сім'я технологій Ethernet, що має „локальне” коріння. Новий стандарт Ethernet 10G, що дозволяє передавати дані зі швидкістю 10 Гбіт/с, призначений для магістралей як глобальних, так і великих локальних мереж [1, 4].

Одним із проявів зближення ЛКМ і ГKM є поява мереж масштабу великого міста, що займають проміжне положення між ЛКМ та ГKM. Міські мережі, або мережі мегаполісів (Metropolitan Area Networks, MAN), призначені для обслуговування території великого міста. Ці мережі використовують цифрові ЛЗ, частіше оптоволоконні, зі швидкостями на магістралі від 155 Мбіт/с і вище. Вони забезпечують економічне з'єднання ЛКМ між собою, а також вихід у ГKM. Ці мережі спочатку були розроблені для пе-

редавання даних, але зараз вони підтримують і такі послуги, як відеоконференції та інтегральне передавання голосу і тексту. Для мереж мегаполісів навіть був розроблений спеціальний протокол – SMDS (Switched Multimegabit Data Services), який пізніше він був витиснений потужнішою технологією ATM. Сучасні мережі типу MAN відрізняються різноманітністю послуг, дозволяючи своїм клієнтам поєднувати комунікаційне обладнання різного типу, в тому числі й офісні АТС. Прикладом міських мереж є MetroEthernet (походить від слова Metro – "міський"). Це широкосмугова багатофункціональна мережа з величезними можливостями стосовно використання мережевими ресурсами і мультимедійними послугами (наприклад, послугами цифрового телебачення, інтерактивними телевізійними послугами, багатоканальним радіо, цифровою телефонією тощо).

1.3 Класифікація комп'ютерних мереж

На сьогоднішній день існує багато варіантів класифікації КМ. Навіть автори різних видань своїх книг дещо змінюють, доповнюють та модернізують класифікацію. І це не дивно, адже технології КМ постійно розвиваються [1, 4]. Крім того, будь-яка класифікація є досить умовною. І якщо для однієї класифікації певні мережі можуть належати до одного класу, то для другого, вони вже можуть бути у протилежних класах.

Розглянемо один з таких варіантів класифікації. Для класифікації скористаємось такими групами ознак [1, 4]:

- територіальна поширеність;
- відомча належність;
- швидкість передавання інформації;
- тип середовища передавання;
- спосіб комутації;
- топологія;
- первинність;
- тип користувачів, яким призначаються послуги мережі;
- функціональна роль у складеній мережі;
- організація взаємодії комп'ютерів.

За територіальною поширеністю мережі можуть бути локальними, глобальними і регіональними.

Локальні (Local Area Network, LAN) – це мережі, що покривають невеликі території (не більші ніж 1000 – 2000 м²). В загальному випадку ЛКМ є комунікаційною системою, що належить одній організації. Внаслідок коротких відстаней в ЛКМ є можливість використання відносно дорогих високоякісних ЛЗ, які дозволяють, застосовуючи прості методи передавання даних, досягати високих швидкостей обміну даними (100 Мбіт/с і вище). У зв'язку з цим послуги, що надаються ЛКМ, відрізняються широкою різно-

манітністю і зазвичай передбачають реалізацію в режимі on-line. Досить детально відрізнявальні особливості ЛКМ розглянуто у роботі [2].

Глобальні WAN (Wide Area Network) – розташовані на території держави або групи держав. ГКМ покриває великі географічні регіони, що містять як ЛКМ, так і інші телекомунікаційні мережі та пристрої. Приклад WAN – мережа з комутацією пакетів (Frame relay), через яку можуть обмінюватись даними різні КМ.

Регіональні або міські (Metropolitan Area Network, MAN) – розташовані на території міста або області і призначені для їх обслуговування. ЛКМ найкраще підходять для розділення ресурсів на малих відстанях, а ГКМ забезпечують роботу на великих відстанях, але з обмеженою швидкістю і невеликим набором послуг, міські комп'ютерні мережі (МКМ) займають проміжне місце. Вони використовують цифрові магістральні ЛЗ (часто оптоволоконні) з великими швидкостями і призначені для зв'язку ЛКМ в масштабах міста та з'єднання локальних мереж з глобальними. Спочатку МКМ були розроблені для передавання даних, але зараз вони підтримують і такі послуги, як відеоконференції та інтегральне передавання голосу і тексту. Розвиток технології МКМ здійснювався місцевими телефонними компаніями і, щоб зайняти гідне місце у світі КМ, місцеві підприємства зв'язку зайнялися розробленням мереж на основі найсучасніших технологій, наприклад, технології комутації комірок SMDS або ATM.

ЛКМ є мережами закритого типу. Доступ до них дозволений тільки обмеженому колу користувачів, для яких робота в такій мережі безпосередньо пов'язана з їх професійною діяльністю. ГКМ є відкритими й орієнтованими на обслуговування будь-яких користувачів.

Ще виділяють так звані *персональні мережі (Personal Area Network, PAN)*. На відміну від LAN та WAN, персональна мережа функціонує на досить короткій відстані (зазвичай до 10 метрів). PAN фактично дозволяє об'єднати комунікаційні пристрої однієї людини (звідси й назва). Найбільш раннім і простим прикладом персональної мережі Bluetooth є бездротовий головний і стільниковий телефони.

За належністю розрізняють такі мережі:

- *відомчі* – належать одній організації та розташовуються на її території;

- *державні* – використовуються у державних структурах.

За швидкістю передавання інформації КМ поділяються на:

- *низькошвидкісні* (до 10 Мбіт/с);
- *середньошвидкісні* (до 100 Мбіт/с);
- *високошвидкісні* (понад 100 Мбіт/с).

Очевидно, з часом швидкості мереж, що належать до цих груп, змінюватимуться.

Для визначення швидкості передавання даних у мережі широко вико-

ристовується *бод* – одиниця швидкості передавання сигналу, вимірюється числом дискретних переходів або подій за секунду. Якщо кожна подія є одним бітом – бод еквівалентний біт/с (bits per second, bps). В реальних комунікаціях це часто не виконується (на відміну від бодів бітами за секунду вимірюється ефективний об'єм інформації без врахування службових бітів (стартові, стопові, парності), які використовуються у випадку асинхронного передавання). Тому термін „бод” часто неправильно використовують у значенні „біт/с”. Дійсно, швидкість зміни сигналу залежить від типу модуляції. Наприклад, у модемах використовується квадратурна модуляція, і однією зміною рівня сигналу може кодуватися кілька (до 16) бітів інформації. Наприклад, при швидкості зміни сигналу 2400 бод швидкість передавання може дорівнювати 9600 біт/с, завдяки тому, що в кожному часовому інтервалі надсилається 4 біти [1].

За типом середовища передавання мережі поділяються на:

- *дротові* – коаксіальні, на скрученій парі, оптоволоконні;
- *бездротові* – з передаванням інформації по радіоканалах, в інфрачервоному діапазоні.

За способом комутації мережі поділяють на мережі з комутацією пакетів та комутацією каналів. В свою чергу, техніка комутації пакетів має кілька варіантів, що відрізняються способом просування пакетів, це такі мережі, як:

- *дейтаграмні* (наприклад, Ethernet);
- *на основі логічних з'єднань* (наприклад, IP-мережі, що використовують на транспортному рівні протокол TCP);
- *на основі віртуальних каналів* (наприклад, MPLS- мережі).

За топологією мережі поділяють на *повнозв'язні* та *неповнозв'язні*. Останні, в свою чергу можуть бути *коміркові* типу „загальна шина”, „зірка”, „кільце”, а також *змішаного типу*. Оскільки топології КМ є окремою, досить важливою темою – детальніше це питання розглядається у підрозділі 2.1 даного посібника.

За ознакою первинності КМ поділяють на:

- *первинні* – це так звані допоміжні мережі, потрібні для гнучкого створення постійних фізичних двоточкових каналів для інших комп'ютерних і телефонних мереж. Первинні мережі, згідно з семирівневою моделлю ISO/OSI (ця модель розглядається у третьому розділі даного посібника) виконують функції фізичного рівня мереж, але, на відміну від кабелів, ще містять додаткове комунікаційне обладнання, яке завдяки конфігуруванню дозволяє створювати певні фізичні канали між кінцевими точками мережі;

- *накладені* – це усі інші, крім первинних мереж, які надають послуги кінцевим користувачам і використовують первинні мережі. Так, комп'ютерні, телевізійні та телефонні мережі є накладеними.

Залежно від типу користувачів, яким призначаються послуги, мережі КМ поділяють на:

- *мережі операторів зв'язку* – надають публічні послуги. Традиційними такими послугами, є, наприклад, оренда каналів зв'язку, послуги телефонії, доступ до Інтернет, електронна пошта, Web-хостинг, IP-телефонія тощо;

- *корпоративні мережі* – є об'єднанням кількох мереж, кожна з яких може бути побудована за різними технічними, програмними та інформаційними принципами. Корпоративна мережа надає послуги тільки співробітникам підприємства, якому вона й належить. Хоча формально корпоративна мережа може бути будь-якого розміру, під такою мережею розуміють мережу крупного підприємства, що складається з ряду ЛКМ, об'єднаних за допомогою ГKM.

Залежно від функціональної ролі у складеній мережі КМ поділяють на:

- *мережі доступу* – надають доступ індивідуальним і корпоративним абонентам, тобто розширюють ГKM безпосередньо до приміщень її клієнтів;

- *магістральні мережі* – є найшвидкіснішою частиною ГKM, яка з'єднує мережі доступу у єдину мережу;

- *мережі агрегування трафіка* – агрегують дані від багаточисельних мереж доступу з метою їх компактного передавання по невеликій кількості каналів зв'язку в магістраль. Мережі агрегування використовуються тільки у великих глобальних мережах, де допомагають магістральній мережі обробляти трафік, що надходить від великої кількості мереж доступу.

За організацією взаємодії комп'ютерів мережі поділяють на *однорангові* (Peer-to-Peer Network) і з *виділеним сервером* (Dedicated Server Network).

Всі комп'ютери однорангової мережі рівноправні. Будь-який користувач мережі може одержати доступ до даних, що зберігаються на будь-якому іншому комп'ютері. Однорангові КМ можуть бути організовані на базі таких вже застарілих ОС, як LANtastic, Windows 3.11, Novell Netware Lite. Зазначені програми працюють як з DOS, так і з Windows. Однорангові мережі можуть бути організовані також і на базі всіх сучасних ОС Windows.

Переваги однорангових мереж:

- найпростіші в установленні та експлуатації;
- ОС DOS і Windows мають всі необхідні функції, що дозволяють будувати однорангову мережу.

До недоліку можна віднести ускладнення захисту інформації. Отже, даний спосіб організації мережі використовується для мереж з невеликою

кількістю (зазвичай, до 10) комп'ютерів і там, де питання захисту даних не є принциповим.

В ієрархічній мережі при її інсталяції заздалегідь виділяються один або кілька комп'ютерів (серверів), які керують обміном даних по мережі та розподілом ресурсів. Будь-який комп'ютер, що має доступ до послуг сервера, називають клієнтом мережі або робочою станцією. Сам сервер може бути клієнтом тільки сервера більш високого рівня ієрархії. Тому ієрархічні мережі іноді називаються мережами з виділеними серверами.

До недоліків ієрархічної мережі, порівняно з одноранговими мережами, відносять:

- необхідність додаткової ОС для сервера;
- більш висока складність установа й модернізації мережі;
- необхідність виділення окремого комп'ютера як сервера.

Розрізняють дві технології використання сервера: *файл-сервер* та *клієнт-сервер*.

У першій моделі використовується *файловий сервер*, на якому зберігається більшість програм і даних. На вимогу користувача йому надсилається необхідна програма та дані. Оброблення інформації виконується на робочій станції.

В системах з архітектурою клієнт-сервер обмін даними здійснюється між *додатком-клієнтом* (front-end) і *додатком-сервером* (back-end). Зберігання даних та їх оброблення здійснюється на потужному сервері, що виконує також контроль за доступом до ресурсів і даних. Робоча станція одержує тільки результати запиту. Розробники додатків з оброблення інформації, зазвичай, використовують цю технологію.

1.4 Вимоги до комп'ютерних мереж

Головною вимогою, що висувається до КМ, є виконання мережею її основної функції – забезпечення користувачам можливості доступу до ресурсів усіх розділюваних комп'ютерів, що входять до її складу. Всі інші вимоги: *продуктивність, надійність, сумісність, керованість, захищеність, розширюваність і масштабованість* пов'язані з якістю виконання цієї основної задачі [1, 4, 7].

Хоч усі ці вимоги досить важливі, часто поняття якості обслуговування КМ трактується вужче – воно враховує лише дві найважливіші характеристики мережі: *продуктивність* і *надійність*. Незалежно від вибраного показника якості обслуговування КМ є два підходи до його забезпечення.

Перший підхід полягає в тому, що у певній мережі користувачу гарантується дотримання деякої числової величини показника якості обслуговування (наприклад, технології Frame Relay і АТМ дозволяють будувати мережі, що гарантують якість обслуговування та продуктивність).

ЛІТЕРАТУРА

1. Олифер В. Г. Компьютерные сети. Принципы, технологии, протоколы : учебник для вузов. [4-е изд., перераб. и доп.] / В. Г. Олифер, Н. А. Олифер – СПб. : Питер, 2010. – 944 с.
2. Зайченко О. Ю. Комп'ютерні мережі : навч. посіб. [для студ. вищ. навч. закл.] / О. Ю. Зайченко, Ю. П. Зайченко. – Київ : Вид. дім „Слово”, 2010. – 520 с.
3. Буров Є. Комп'ютерні мережі. [2-е вид., оновл. і допов.] / Буров Є. – Львів : „Магнолія 2006”, 2010. – 262 с.
4. Рональд Бодчер. Программа сетевой академии Cisco CCNA 1 и 2. [3-е изд.] : [пер. с англ.] / Рональд Бодчер, К. Р. Киркендаль. – М. : Изд. дом „Вильямс”, 2005. – 1186 с.
5. Рональд Бодчер. Программа сетевой академии Cisco CCNA 3 и 4. [3-е изд.] : [пер. с англ.] / Рональд Бодчер, К. Р. Киркендаль. – М. : Изд. дом „Вильямс”, 2007. – 944 с.
6. Таненбаум Э. Компьютерные сети. [4-е изд.] : [пер. с англ.] / Таненбаум Э. – СПб. : Питер, 2003. – 992 с.
7. Столлингс В. Компьютерные системы передачи данных. [7-е изд.] : [пер. с англ.] / Столлингс В. – М. : Изд. дом „Вильямс”, 2003. – 720 с.
8. Спортак М. Компьютерные сети и сетевые технологии. / М. Спортак, Ф. Папас – ООО „ТИД ДС”, 2002. – 736 с.
9. Шиндер Д. Основы компьютерных сетей : [пер. с англ.] / Шиндер Д. – М. : Изд. дом „Вильямс”, 2002. – 656 с.
10. Кульгин М. В. Компьютерные сети. Практика построения. Для профессионалов. [2-е изд.] / Кульгин М. В. – СПб. : Питер, 2003. – 462 с.
11. Столлингс В. Современные компьютерные сети. [2-е изд.] / Столлингс В. – СПб. : Питер, 2003. – 783 с.
12. Закер К. Компьютерные сети. Модернизация и поиск неисправностей / Закер К. : [пер. с англ.] – СПб. : Питер, 2003. – 1008 с.
13. Камер Д. Компьютерные сети и Internet. Разработка приложений для Internet / Камер Д. : пер. с англ. – М. : изд. дом „Вильямс”, 2002. – 640 с.
14. Кларк К. Принципы коммутации в локальных сетях CISCO / К. Кларк, К. Гамильтон : [пер. с англ.] – М. : Изд. дом „Вильямс”, 2003. – 976 с.
15. Пакет К. Создание масштабируемых сетей Cisco / К. Пакет, Д. Тир : [пер. с англ.] – М. : Изд. дом „Вильямс”, 2002. – 792 с.
16. Хилл Б. Полный справочник по CISCO / Хилл Б. : [пер. с англ.] – М. : Изд. дом „Вильямс”, 2008. – 1088 с.
17. Арсенюк І. Р. Комп'ютерні мережі : [навч. посіб. для студ. спец. "Інтелект. системи прийняття рішень", "Програмне забезпечення автоматизованих систем" та "Захист інформації в комп'ютерних системах та мережах"] / І. Р. Арсенюк, А. А. Яровий. – Вінниця : ВНТУ, 2009. – Ч. 1. – 116 с.
18. Арсенюк І. Р. Комп'ютерні мережі : [Електронний ресурс] : [навч. посіб. для студ. спец. "Інтелект. системи прийняття рішень", "Програмне забезпечення автоматизованих систем" та "Захист інформації в комп'ютерних

системах та мережах"] / І. Р. Арсенюк, А. А. Яровий. – Вінниця : ВНТУ, 2010.
– Ч. 2. – 145 с. – Режим доступу: <http://lib.vntu.lan/documents/000817.pdf>.

Навчальне видання

**Арсенюк Ігор Ростиславович
Яровий Андрій Анатолійович
Івасюк Ігор Дмитрович**

КОМП'ЮТЕРНІ МЕРЕЖІ

Навчальний посібник

Редактор Т. Старічек

Оригінал-макет підготовлено І. Арсенюком

Підписано до друку 29.04.2013 р.
Формат 29,7×42¼. Папір офсетний.
Гарнітура Times New Roman.
Друк різнографічний. Ум. друк. арк. 17,8.
Наклад 300 (1-й запуск 1-100) прим. Зам. № 2013-087.

Вінницький національний технічний університет,
навчально-методичний відділ ВНТУ.
21021, м. Вінниця, Хмельницьке шосе, 95,
ВНТУ, ГНК к. 114.
Тел. (0432) 59-85-32.
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи
серія ДК № 3516 від 01.07.2009 р.

Віддруковано у Вінницькому національному технічному університеті
в комп'ютерному інформаційно-видавничому центрі.
21021, м. Вінниця, Хмельницьке шосе, 95,
ВНТУ, ГНК, к. 114.
Тел. (0432) 59-87-38.
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи
серія ДК № 3516 від 01.07.2009 р.