

М. В. Васильківський, Д. В. Михалевський

Г. Г. Бортник

ТЕХНОЛОГІЇ

МЕРЕЖЕВОГО ПРОГРАМУВАННЯ

— та —

ПАРАЛЕЛЬНОЇ ОБРОБКИ ДАНИХ



Міністерство освіти і науки України
Вінницький національний технічний університет

**М. В. Васильківський, Д. В. Михалевський,
Г. Г. Бортник**

Технології мережевого програмування та паралельної обробки даних

Електронний навчальний посібник

Вінниця
ВНТУ
2026

**УДК 621.0
В19**

Рекомендовано до видання Вченою радою Вінницького національного технічного університету Міністерства освіти і науки України (Протокол № 10 від 26.02.2026 р..)

Рецензенти:

В. Г. Крижановський, доктор технічних наук, професор

С. М. Захарченко, кандидат технічних наук, професор

О. В. Осадчук, доктор технічних наук, професор

Васильківський, М. В.

В19 Технології мережевого програмування та паралельної обробки даних: навчальний посібник [Електронний ресурс] / Васильківський М. В., Михалевський Д. В., Бортник Г. Г. – Вінниця : ВНТУ, 2026. – (PDF, 134 с.)

ISBN 978-617-8927-01-1 (PDF)

У навчальному посібнику розглянуто сучасні підходи до проектування, реалізації та оптимізації мережевих застосунків у середовищі багатопотокової обробки інформації. Висвітлено принципи функціонування стека протоколів TCP/IP, особливості мережевого програмування мовою C++, методи синхронізації потоків і керування паралельними процесами. Значну увагу приділено підвищенню продуктивності, використанню сучасних бібліотек і фреймворків, а також питанням інформаційної безпеки та застосуванню захищених протоколів зв'язку. Теоретичний матеріал доповнено практичними прикладами програмного коду та рекомендаціями щодо розроблення мережевих застосунків.

Навчальний посібник призначений для здобувачів вищої освіти ІТ-спеціальностей, аспірантів, викладачів і фахівців у галузі мережевого та паралельного програмування.

УДК 621.0

ISBN 978-617-8927-01-1(PDF)

© ВНТУ, 2026

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ.....	4
ВСТУП.....	6
1 НАБІР ПРОТОКОЛІВ TCP/IP.....	7
1.1 Структура моделі TCP/IP.....	7
1.2 Протокол Інтернету (IP)	13
1.3 Протокол керування передаванням (TCP).....	18
1.4 Протокол користувацьких датаграм (UDP).....	25
1.5 Протоколи рівня застосунків	30
1.6 Мережеві інструменти та утиліти.....	38
1.7 Контрольні питання	46
2 АСИНХРОННА ТА СИНХРОННА КОМУНІКАЦІЯ.....	48
2.1 Визначення синхронної комунікації	48
2.2 Визначення асинхронної комунікації	55
2.3 Порівняльний аналіз методів передавання.....	59
2.4 Впровадження синхронного зв'язку на C++	64
2.5 Реалізація асинхронного оброблення даних в C++	72
2.6 Оцінювання продуктивності синхронних та асинхронних моделей оброблення даних.....	79
2.7 Контрольні питання	84
3 БАГАТОПОТОКОВІСТЬ У МЕРЕЖЕВИХ ДОДАТКАХ.....	86
3.1 Поняття багатопотоковості	86
3.2 Створення потоків у C++.....	92
3.3 Методи синхронізації потоків.....	98
3.4 Керування спільними даними та ресурсами у багатопотокових додатках.....	106
3.5 Багатопотоковість і мережеве введення/виведення (I/O).....	112
3.6 Реалізація багатопотокових мережевих додатків	120
3.7 Контрольні питання	128
ВИСНОВКИ.....	131
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	132

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ

API (Application Programming Interface) – інтерфейс програмування застосунків

Boost.Asio – бібліотека C++ для асинхронного введення/виведення

CPU (Central Processing Unit) – центральний процесор

C++ – мова програмування загального призначення

DDoS (Distributed Denial of Service) – розподілена відмова в обслуговуванні

DNS (Domain Name System) – система доменних імен

DoS (Denial of Service) – відмова в обслуговуванні

FTP (File Transfer Protocol) – протокол передавання файлів

HTTP (HyperText Transfer Protocol) – протокол передавання гіпертексту

HTTPS (HyperText Transfer Protocol Secure) – захищений протокол передавання гіпертексту

I/O (Input/Output) – введення/виведення даних

IP (Internet Protocol) – інтернет-протокол

IPC (Inter-Process Communication) – міжпроцесна взаємодія

JSON (JavaScript Object Notation) – формат обміну даними

LAN (Local Area Network) – локальна обчислювальна мережа

MAN (Metropolitan Area Network) – міська обчислювальна мережа

NAT (Network Address Translation) – перетворення мережевих адрес

OS (Operating System) – операційна система

OSI (Open Systems Interconnection) – еталонна модель взаємодії відкритих систем

POSIX (Portable Operating System Interface) – стандарт інтерфейсів операційних систем

QoS (Quality of Service) – якість обслуговування

RAM (Random Access Memory) – оперативна пам'ять

RPC (Remote Procedure Call) – віддалений виклик процедур

SDK (Software Development Kit) – набір засобів розробника

SSL (Secure Sockets Layer) – протокол захищеного з'єднання

STL (Standard Template Library) – стандартна бібліотека шаблонів C++

TBB (Threading Building Blocks) – бібліотека Intel для паралельного програмування

TCP (Transmission Control Protocol) – протокол керування передаванням

TLS (Transport Layer Security) – протокол захисту транспортного рівня

TOCTOU (Time Of Check To Time Of Use) – вразливість «час перевірки
— час використання»

UDP (User Datagram Protocol) – протокол користувацьких датаграм

URL (Uniform Resource Locator) – уніфікований локатор ресурсів

WAN (Wide Area Network) – глобальна обчислювальна мережа

XML (eXtensible Markup Language) – розширювана мова розмітки

ВСТУП

Сучасні інформаційно-комунікаційні системи функціонують на основі складних мережевих технологій, що забезпечують надійне, швидке та безпечне передавання даних між розподіленими обчислювальними ресурсами. Розвиток інтернет-технологій, хмарних сервісів, мобільних застосунків та систем Інтернету речей зумовлює зростання вимог до продуктивності, масштабованості та надійності мережевого програмного забезпечення. У цьому контексті особливої актуальності набуває підготовка фахівців, здатних проєктувати, реалізовувати та оптимізувати мережеві додатки з використанням сучасних протоколів і технологій паралельної обробки даних.

Навчальний посібник присвячений вивченню основ мережевого програмування, принципів функціонування набору протоколів TCP/IP, методів синхронної та асинхронної комунікації, а також застосуванню багатопотоковості в мережевих додатках мовою програмування C++. У посібнику поєднано теоретичні відомості з практичними прикладами, що сприяє формуванню цілісного уявлення про сучасні підходи до розробки мережевого програмного забезпечення.

Метою навчального посібника є формування у здобувачів освіти системних знань про архітектуру комп'ютерних мереж, принципи взаємодії протоколів, особливості організації мережевого введення/виведення та методи ефективного керування паралельними обчисленнями. Особлива увага приділяється питанням синхронізації потоків, обробки помилок, оптимізації продуктивності та забезпечення надійності багатопотокових мережевих систем.

Посібник структуровано відповідно до логіки поетапного засвоєння матеріалу – від базових протоколів і моделей передавання даних до складних механізмів асинхронної обробки та багатопотоковості. Навчальний матеріал супроводжується прикладами програмного коду, контрольними питаннями та практичними рекомендаціями, що сприяють закріпленню теоретичних знань і розвитку навичок практичного програмування.

Навчальний посібник призначений для здобувачів вищої освіти, які навчаються за спеціальностями у галузі інформаційних технологій, телекомунікацій та комп'ютерної інженерії, а також може бути корисним для викладачів, аспірантів і фахівців, що займаються розробкою та супроводом мережевих систем.

ВИСНОВКИ

Внаслідок опрацювання матеріалів навчального посібника узагальнено сучасні підходи до проектування, реалізації та оптимізації мережевих додатків у середовищі багатопотокової обробки даних. Розглянуто принципи функціонування стека протоколів TCP/IP, механізми синхронної та асинхронної комунікації; а методи керування паралельними процесами мовою програмування C++ формують цілісну систему знань, необхідну для підготовки фахівців у галузі інформаційно-комунікаційних технологій.

У посібнику обґрунтовано доцільність вибору моделей взаємодії залежно від вимог до продуктивності, надійності та масштабованості програмних систем. Показано, що синхронні підходи забезпечують детермінованість і передбачуваність обробки даних, тоді як асинхронні моделі сприяють підвищенню пропускної здатності та ефективному використанню обчислювальних ресурсів у розподілених середовищах.

Особливу увагу приділено питанням багатопотоковості, синхронізації доступу до спільних ресурсів і запобігання конфліктам виконання. Проаналізовано вплив різних стратегій блокування, безблокових алгоритмів та механізмів керування потоками на продуктивність і стабільність мережевих застосунків. Обґрунтовано необхідність балансування між рівнем координації процесів і пропускнуою здатністю системи.

Узагальнено можливості сучасних бібліотек і фреймворків для паралельного програмування, зокрема Boost.Asio та Intel TBB, а також визначено критерії їх вибору залежно від архітектури та функціональних вимог програмних рішень. Наголошено на важливості дотримання вимог інформаційної безпеки, використання захищених протоколів зв'язку та коректної синхронізації для запобігання вразливостям у багатопотокових середовищах.

Практична спрямованість посібника, поєднання теоретичних положень із прикладами програмного коду та рекомендаціями з проектування сприяють формуванню у здобувачів освіти стійких професійних компетентностей. Отримані знання та навички можуть бути ефективно використані під час розробки, супроводу й модернізації сучасних мережевих інформаційних систем.

Таким чином, навчальний посібник є комплексним джерелом знань із мережевого програмування та багатопотокової обробки даних, що забезпечує підготовку фахівців, здатних створювати надійні, масштабовані й безпечні програмні рішення відповідно до сучасних вимог цифрового середовища.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Kurose J. F., Ross K. W. Computer Networking: A Top-Down Approach. – 8th ed. – Pearson, 2021.
2. Peterson L., Davie B. Computer Networks: A Systems Approach. – 6th ed. – Morgan Kaufmann, 2021.
3. Tanenbaum A. S., Wetherall D. J. Computer Networks. – 6th ed. – Pearson, 2021.
4. Stallings W. Foundations of Modern Networking: SDN, NFV, QoE, IoT, and Cloud. – 2nd ed. – Pearson, 2020.
5. Stevens W. R., Fenner B., Rudoff A. UNIX Network Programming, Volume 1. – Reprint edition. – Addison-Wesley, 2021.
6. Kerrisk M. The Linux Programming Interface. – Updated edition. – No Starch Press, 2022.
7. Meyers S. Effective Modern C++. – Updated reprint. – O'Reilly Media, 2020.
8. Josuttis N. M. C++20 – The Complete Guide. – Addison-Wesley, 2022.
9. ISO/IEC 14882:2020. Programming Languages — C++ (C++20 Standard).
10. Boost.Asio Documentation. Networking TS and Asynchronous I/O. – 2023.
11. Beej J. Beej's Guide to Network Programming: Using Internet Sockets. – Online edition, 2023.
12. OpenSSL Project. OpenSSL Documentation: SSL/TLS Protocols. – 2023.
13. Rescorla E. The Transport Layer Security (TLS) Protocol Version 1.3. – RFC 8446, IETF, 2020.
14. IETF. RFC 9293 – Transmission Control Protocol (TCP). – 2022.
15. IETF. RFC 768 – User Datagram Protocol (UDP). – Updated reference, 2020+.
16. Coulouris G., Dollimore J., Kindberg T., Blair G. Distributed Systems: Concepts and Design. – 6th ed. – Pearson, 2024.
17. Souders S. High Performance Web Sites. – Updated digital edition. – O'Reilly, 2020.
18. Linux Foundation. Linux Networking Documentation. – 2023.
19. Microsoft. Windows Sockets 2 (WinSock) Documentation. – 2022.
20. Open Group. POSIX.1-2018 / 2022 Base Specifications.
21. Kubernetes Documentation. Networking Concepts. – 2023.
22. Cloudflare Research. Modern Internet Protocols and Performance. – 2021–2023.
23. ISO/IEC 27002:2022. Information Security Controls.
24. Васильківський М. В., Бортник Г. Г., Кичак В. М. Програмні технології в інфокомунікаційних системах : навчальний посібник для

студентів спеціальності 172 «Телекомунікації та радіотехніка» : електронний навчальний посібник комбінованого (локального та мережного) використання. Вінниця : ВНТУ, 2023. 141 с.

25. Васильківський М., Коломієць А., Будах М., Прикмета А., Олійник А. Технологічні аспекти впровадження програмно-керованих мереж 5G та 6G. *Комп'ютерно-інтегровані технології: освіта, наука, виробництво*. 2024. Вип. № 56. С. 335–344.

26. Васильківський М. , Коломієць А. , Грабчак Н. , Грицаюк Д. , Костянтин В. Програмні засоби Python моделювання телекомунікаційних пристроїв. *Комп'ютерно-інтегровані технології: освіта, наука, виробництво*. 2024. Вип. 55. С. 270–278.

27. Оптимізація програмно-конфігурованих літаючих мереж доступу / М. Васильківський, А. Прикмета, А. Олійник, Н. Ксьондз. *Комп'ютерно-інтегровані технології: освіта, наука, виробництво*. 2023. № 52. С. 128–139.

28. Оптимізація адаптивних радіосистем із використанням алгоритмів ШІ та МН / М. Васильківський, Д. Нікітович, Н. Грабчак, Н. Якубівська. *Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах*. 2023. № 2. С. 112–124.

29. Динамічна інформаційна мережа із вбудованим штучним інтелектом / М. Васильківський, О. Болдирева, Д. Онищук, Ю. Гнатенко. *Комп'ютерно-інтегровані технології: освіта, наука, виробництво*. 2023. № 50. С. 35–40.

30. Оптимізація інтелектуальних телекомунікаційних мереж / М. Васильківський, А. Прикмета, А. Олійник, Д. Нікітович. *Вісник Хмельницького національного університету. Серія «Технічні науки»*. 2023. № 1. (317). С. 33–41.

31. Дослідження архітектури штучного інтелекту для інфокомунікаційних мереж 6G / М. Васильківський, Г. Варгатюк, О. Болдирева. *Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах*. 2022. № 4. С. 62–70.

32. Mykhalevskiy D., Vasylkivskiy N., Horodetska O. Development of a mathematical model for estimating signal strength at the input of the 802.11 standard receiver. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2017. Vol. 6, Issue 9 (90). 38–43. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2017.114191>

33. Mykhalevskiy D.V., Kychak V.M. Development of Information Models for Increasing the Evaluation Efficiency of Wireless Channel Parameters of 802.11 Standard. *Latvian Journal of Physics and Technical Sciences*. 2019. 56(5), Pp. 22–32. DOI: 10.2478/lpts-2019-0028

Електронне навчальне видання

**Микола Володимирович Васильківський
Дмитро Валерійович Михалевський
Геннадій Григорович Бортник**

Технології мережевого програмування та паралельної обробки даних

Навчальний посібник

Рукопис оформив *М. Васильківський*

Редактор *Т. Старічек*

Оригінал-макет виготовила *Т. Старічек*

Підписано до видання 16.07.2026 р.

Гарнітура Times New Roman.

Зам. № P2026-092.

Видавець та виготовлювач

Вінницький національний технічний університет,

Редакційно-видавничий відділ.

ВНТУ, ГНК, к. 114.

Хмельницьке шосе, 95,

м. Вінниця, 21021.

press.vntu.edu.ua;

E-mail: rvv.vntu@gmail.com

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи

серія ДК № 3516 від 01.07.2009 р.