

**ФАКУЛЬТЕТ ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ
КИЇВСЬКОГО НАЦІОНАЛЬНОГО УНІВЕРСИТЕТУ
ІМЕНІ ТАРАСА ШЕВЧЕНКА**

**Ольга КРАВЧЕНКО
Олена СІПКО**

**РОЗПОДІЛЕНІ СИСТЕМИ: ТЕОРІЯ ТА ПРАКТИКА.
ЧАСТИНА 1**

Навчальний посібник

Київ-2025

Рецензенти: д.т.н., доцент, завідувач кафедри штучного інтелекту Державного університету телекомунікацій Ольга ЗІНЧЕНКО, к.т.н., доцент, завідувач кафедри інтелектуальних технологій факультету інформаційних технологій Київського національного університету імені Тараса Шевченка Олег ІЛАРІОНОВ.

Рекомендовано до публікації кафедрою інформаційних систем та технологій, протокол № 4_25/26 від «16» жовтня 2025 р.

Рекомендовано до публікації Вченою радою факультету інформаційних технологій, протокол прот №6 від 8 грудня 2025 року

О.В. Кравченко, О.М. Сіпко

Розподілені системи: теорія та практика. Частина 1 [Електронний ресурс]: посібник для студентів освітнього ступеня «бакалавр» спеціальності F6 (126) «Інформаційні системи і технології», освітня програма «Програмні технології Інтернет речей» / уклад. О. Кравченко, О. Сіпко. – Київ : Київський національний університет імені Тараса Шевченка, 2025. – 206 с.

Анотація

Навчально-методичний посібник «Розподілені системи: теорія та практика. Частина 1» укладено для студентів освітнього ступеня «бакалавр» спеціальності F6 (126) – Інформаційні системи і технології, освітньої програми «Програмні технології Інтернет речей».

Посібник поєднує теоретичні засади побудови розподілених систем із практичними завданнями, спрямованими на формування професійних компетентностей у сфері сучасних інформаційних технологій. Матеріал охоплює базові принципи організації розподілених обчислень, архітектурні підходи до побудови систем, моделі взаємодії компонентів, механізми міжпроцесової комунікації, узгодження та забезпечення цілісності даних у середовищах з високим рівнем асинхронності та потенційними відмовами.

Під час підготовки видання було використано та частково адаптовано матеріали класичної праці Tanenbaum, Andrew S. та Van Steen, Maarten «Distributed Systems: Principles and Paradigms» (Prentice Hall, 2006), що є визнаним джерелом у галузі розподілених обчислень. Водночас зміст посібника розширено сучасними підходами, прикладами та концепціями, які відображають розвиток технологій розподілених систем, хмарних обчислень та Інтернету речей протягом останніх років.

Особливу увагу приділено прикладним аспектам – реалізації механізмів віддалених викликів процедур (Remote Procedure Call, RPC), систем обміну повідомленнями (Message Queuing), багатоадресної розсилки (Multicast), епідемічних алгоритмів поширення даних, а також принципам побудови надійних і масштабованих комунікаційних протоколів у розподіленому середовищі.

Практична частина містить типові завдання, вправи та ситуаційні приклади, що сприяють кращому засвоєнню теоретичних положень, розвитку аналітичного мислення та навичок моделювання розподілених процесів.

Посібник призначений для студентів факультетів інформаційних технологій, аспірантів і викладачів, які викладають або вивчають дисципліни у сфері розподілених систем, мережевих технологій, Інтернету речей і хмарних обчислень. Матеріал також може бути використаний у процесі підготовки бакалаврських і магістерських кваліфікаційних робіт.

Зміст

ВСТУП.....	5
Розділ 1. Основні поняття розподілених систем	8
1.1 Визначення розподіленої системи	9
1.2 Цілі	13
1.2.1 Підтримка спільного використання ресурсів	13
1.2.2 Прозорість розповсюдження	14
1.2.3 Відкритість	17
1.2.4 Масштабованість	18
1.2.5 Пастки.....	24
1.3 Типи розподілених систем.....	25
1.3.1 Розподілені обчислювальні системи	25
1.3.2 Розподілені інформаційні системи	32
1.3.3 Повсюдно поширені системи	37
1.3.4 Повсюдні обчислювальні системи.....	38
1.4 Підсумки.....	45
Контрольні питання до Розділу 1.....	46
Розділ 2. Архітектури	47
2.1 Архітектурні стилі.....	47
2.2 Архітектура проміжного програмного забезпечення	60
2.3 Архітектура системи	64
2.4 Приклади архітектур	77
2.5 Підсумки.....	83
Контрольні питання до Розділу 2.....	83
Розділ 3. Процеси взаємодії в розподілених системах.....	85
3.1 Потоки	85
3.2 Віртуалізація	94
3.3 Клієнти.....	99
3.4 Сервери.....	103
3.5 Міграція коду	112
3.6 Підсумки.....	116
Контрольні питання до Розділу 3.....	118
Розділ 4. Міжпроцесовий зв'язок в розподілених системах	119

4.1	Фундаменти.....	119
4.2	Віддалений виклик процедури	127
4.2.1	Приклад: DCE RPC.....	138
4.3	Комунікація, орієнтована на повідомлення	143
4.3.1	Приклад: система черги повідомлень IBM WebSphere	158
4.3.2	Приклад: Advanced Message Queuing Protocol (AMQP)	163
4.4	Багатоадресний зв'язок	167
4.5	Підсумки.....	174
	Контрольні питання до розділу 4.....	175
Розділ 5.	Практична частина.....	177
	Лабораторна робота № 1	177
	Лабораторна робота № 2	183
	Лабораторна робота № 3	190
	Лабораторна робота № 4.....	193
	ДЖЕРЕЛА	200

Сучасний розвиток інформаційних технологій характеризується безпрецедентним зростанням масштабів обчислень, обсягів даних і рівня взаємопов'язаності інформаційних систем. Усе частіше задачі, які раніше вирішувалися окремими комп'ютерами або локальними мережами, нині потребують координації десятків, сотень або навіть тисяч взаємодіючих вузлів, що спільно виконують обчислення, зберігають та обробляють інформацію, обслуговують користувачів, підтримують безперервність роботи сервісів. Саме такі системи отримали назву розподілені системи – один із найважливіших напрямів розвитку сучасної інформатики та прикладної програмної інженерії.

Розподілені системи сьогодні пронизують практично всі сфери людської діяльності. На їх основі функціонують хмарні сервіси, банківські платформи, телекомунікаційні мережі, соціальні медіа, системи електронної комерції, блокчейн-мережі, інфраструктури великих даних (Big Data) і середовища Інтернету речей (IoT). Кожна з таких систем є складною багаторівневою структурою, у якій окремі компоненти взаємодіють через мережу, мають власні ресурси та забезпечують спільне виконання завдань. На відміну від централізованих рішень, розподілені системи створюють можливість підвищення надійності, продуктивності та гнучкості, даючи змогу користувачам і сервісам взаємодіяти незалежно від місця їх фізичного розташування [1].

Необхідність створення таких систем зумовлена кількома факторами: зростанням складності сучасних інформаційних процесів, потребою у безперервному доступі до ресурсів, розподілом навантаження між різними вузлами, забезпеченням стійкості до відмов і потребою у масштабуванні при збільшенні кількості користувачів чи обсягу даних. Розподілені системи не лише змінюють архітектуру програмних засобів, але й формують нові підходи до організації обчислень, керування даними, забезпечення узгодженості, синхронізації й безпеки.

Підготовка фахівців, здатних розуміти й проєктувати такі системи, вимагає систематизованого викладення теоретичних і практичних засад цієї галузі. Саме цим завданням присвячено навчальний посібник «Розподілені системи: теорія та практика», перша частина якого пропонується до вашої уваги.

Перша частина посібника є теоретико-методологічним підґрунтям для вивчення дисципліни «Розподілені системи збору інформації». Вона зосереджена на базових поняттях, принципах побудови, архітектурних засадах і механізмах взаємодії компонентів, що становлять основу будь-якого розподіленого середовища. Основна мета цієї частини полягає у формуванні в студентів фундаментальних знань про структуру, властивості та поведінку розподілених систем, а також у розвитку здатності розуміти закономірності, що визначають їхню ефективність, узгодженість та стійкість до збоїв.

Матеріал викладено у логічній послідовності – від загальних визначень до більш конкретних архітектурних і технічних рішень. У першому розділі

розглянуто основні поняття розподілених систем, їх цілі, ключові властивості та класифікацію. Тут пояснюється сутність таких понять, як спільне використання ресурсів, прозорість розподілу, відкритість, масштабованість, а також аналізуються типові проблеми, які виникають при проєктуванні – зокрема пастки, пов'язані з часовими затримками, синхронізацією або узгодженням станів у розподіленому середовищі.

Другий розділ присвячено архітектурам розподілених систем. У ньому розкриваються основні архітектурні стилі, включаючи класичну клієнт–серверну модель, багаторівневі архітектури, сервісно-орієнтовані рішення, а також новітні підходи до побудови проміжного програмного забезпечення (middleware). Значну увагу приділено зв'язку між архітектурними принципами та практичними характеристиками систем – продуктивністю, надійністю, гнучкістю масштабування.

У третьому розділі досліджуються процеси взаємодії у розподілених системах, зокрема організація потоків, роль клієнтів і серверів, принципи віртуалізації та міграції коду. Розглядаються питання узгодження процесів, розподілу навантаження, забезпечення одночасного доступу до спільних ресурсів і реалізації відмовостійких обчислень.

Четвертий розділ присвячено міжпроцесовому зв'язку, який є фундаментом будь-якої розподіленої системи. Тут розглядаються різні моделі комунікації – віддалений виклик процедур (RPC), обмін повідомленнями, багатоадресна взаємодія, а також приклади промислових реалізацій, таких як IBM WebSphere Message Queue чи Advanced Message Queuing Protocol (AMQP). Цей розділ формує розуміння того, як розподілені процеси координують свою діяльність у спільному середовищі та підтримують узгодженість у роботі.

Останній, п'ятий розділ є практичною складовою першої частини посібника. У ньому запропоновано комплекс практичних робіт, спрямованих на закріплення теоретичних знань через моделювання, експериментальні дослідження та аналіз поведінки розподілених систем. Практичні завдання сприяють розвитку вмінь застосовувати теоретичні принципи до реальних сценаріїв, оцінювати властивості систем і знаходити оптимальні архітектурні рішення.

Першу частину посібника можна розглядати як вступ до подальшого, більш поглибленого вивчення тематики розподілених систем, зокрема питань координації процесів, синхронізації, відмовостійкості, безпеки та керування розподіленими ресурсами, що висвітлюватимуться у другій частині. Таким чином, запропонований матеріал створює міцну теоретичну основу, необхідну для опанування складніших концепцій і методів, які визначають сучасні підходи до побудови високонадійних і масштабованих інформаційних систем.

У контексті підготовки фахівців спеціальності «Інформаційні системи і технології» ця перша частина навчального посібника виконує подвійну роль: з одного боку, вона знайомить студентів із базовими теоретичними аспектами функціонування розподілених середовищ, а з іншого – формує практичну основу для подальшого застосування здобутих знань у наукових і прикладних проєктах.

Таким чином, перша частина посібника «Розподілені системи: теорія та практика» спрямована на формування фундаментального розуміння природи розподілених систем, їхніх архітектурних принципів і механізмів взаємодії. Вона покликана не лише передати знання, а й розвинути здатність мислити системно, аналізувати складні інформаційні процеси, бачити взаємозв'язок між теорією і практикою. Отримані знання стануть основою для подальшого вивчення дисципліни, дозволяючи майбутнім фахівцям упевнено орієнтуватися в сучасних технологіях і брати участь у розробленні ефективних, масштабованих і надійних розподілених систем.