

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ЕКОНОМІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
ІМЕНІ СЕМЕНА КУЗНЕЦЯ

"ЗАТВЕРДЖУЮ"

Проректор з навчально-методичної роботи

Каріна НЕМАШКАЛО



**РОЗПОДІЛЕНІ ТА ПАРАЛЕЛЬНІ ОБЧИСЛЕННЯ**

**робоча програма навчальної дисципліни**

Галузь знань  
Спеціальність  
Освітній рівень  
Освітні програми

**12 "Інформаційні технології"**  
**121 "Інженерія програмного забезпечення"**  
**перший (бакалаврський)**  
**"Інженерія програмного забезпечення"**

Статус дисципліни  
Мова викладання, навчання та оцінювання

**обов'язкова**  
**українська**

Завідувач кафедри  
інформаційних систем

*Ірина УШАКОВА*

Харків  
2023

ЗАТВЕРДЖЕНО

на засіданні кафедри інформаційних систем  
Протокол № 1 від 26.08.2022 р.

Розробники:

Мінухін С.В., доктор технічних наук, професор;

Савін Ю.В., викладач кафедри інформаційних систем.

**Лист оновлення та перезатвердження  
робочої програми навчальної дисципліни**

Навчальний рік	Дата засідання кафедри – розробника РПНД	Номер протоколу	Підпис завідувача кафедри

### Анотація навчальної дисципліни

Умови зростання обсягів даних і збільшення залежності бізнес-процесів підприємств від потоків даних визначають потреби створення розподілених інформаційних систем (РІС) різних рівнів, які повинні забезпечити достатній рівень оперативності оброблення даних в умовах масштабованості систем та збільшення інтенсивності даних на оброблення. Такі завдання вирішуються на основі розроблення РІС, що використовують відповідні технології та програмне забезпечення відповідно до стандартів та архітектур розподілених обчислювальних систем (РОС) з використанням паралельних технологій програмування.

Технології розподілених систем та паралельних обчислень є основою побудови розподілених ІС від рівня обчислювального кластера до рівня доменів грид-систем і платформ хмарних обчислень. Принципи побудови, методи та технології створення, розгортання РОС та застосування паралельних обчислень є основою для розв'язання складних з точки зору обчислень трудомістких задач у різних предметних областях.

Вивчення дисципліни "Розподілені та паралельні обчислення" передбачає набуття теоретичних знань та опанування практичними навичками, пов'язаними з виконанням різноманітних обчислювальних процесів. Дисципліна спрямована на формування у студентів загальних основ взаємодії паралельних та розподілених обчислень, оволодіння базовими концепціями програмування в рамках парадигм паралельного та розподіленого обчислення.

**Метою** навчальної дисципліни "Розподілені та паралельні обчислення" є надання здобувачам вищої освіти системи спеціальних знань і придбання практичних умінь і навичок з питань використання технологій РОС, встановлення та налаштування відповідного програмного забезпечення запуску та виконання завдань на обчислювальному кластері й використання технологій і засобів паралельного програмування.

**Завданнями** навчальної дисципліни є:

ознайомлення з основними принципами побудови та технологіями оброблення інформації в РОС;

ознайомлення зі стандартами розподілених обчислювальних систем й програмним забезпеченням для налаштування систем керування ресурсами та завданнями в РОС;

встановлення та конфігурування програмного забезпечення обчислювального кластера, отримання практичних навичок роботи щодо створення та запуску додатків на кластері;

ознайомлення з основними парадигмами паралельного програмування у високопродуктивних системах - рівнів РОС (GRID) і обчислювального кластера;

вивчення технологій паралельного програмування - OpenMP та MPI - та їхніх реалізацій при виконанні практичних завдань;

оволодіння практичними навичками застосування паралельного програмування для розв'язання наукових та інженерних завдань.

**Предметом** навчальної дисципліни є стандарти, технології та методи розроблення та реалізації технологій розподілених та паралельних обчислень для розв'язання наукових та інженерних завдань.

### Характеристика навчальної дисципліни

Курс	4
Семестр	7
Кількість кредитів ECTS	6
Форма підсумкового контролю	Іспит

### Структурно-логічна схема вивчення навчальної дисципліни

Пререквізити	Постреквізити
Операційні системи	Дипломний проєкт
Архітектура комп'ютерів та комп'ютерних мереж	
Програмування	

## Компетентності та результати навчання за дисципліною

Компетентності	Результати навчання
СК11. Здатність реалізовувати фази та ітерації життєвого циклу програмних систем та інформаційних технологій на основі відповідних моделей і підходів розробки програмного забезпечення. СК13. Здатність обґрунтовано обирати та освоювати інструментарій з розробки та супроводження програмного забезпечення. СК14. Здатність до алгоритмічного та логічного мислення	РН7. Знати і застосовувати на практиці фундаментальні концепції, парадигми і основні принципи функціонування мовних, інструментальних і обчислювальних засобів інженерії програмного забезпечення
СК14. Здатність до алгоритмічного та логічного мислення	РН13. Знати і застосовувати методи розробки алгоритмів, конструювання програмного забезпечення та структур даних і знань

### Програма навчальної дисципліни

#### Змістовий модуль 1. Технології розподілених систем

##### Тема 1. Класифікація грід-систем. Склад та призначення рівнів відкритої архітектури грід.

###### 1.1. Основні терміни та визначення.

Класифікація розподілених обчислювальних систем (РОС). Поняття та типи грід-систем. Мультикластерні системи та обчислювальні кластери.

###### 1.2. Склад та призначення відкритої архітектури РОС.

Склад та функції 5-рівневої архітектури РОС: рівень додатку, колективний рівень, рівень зв'язності, рівень доступу, апаратний рівень. Тенденції розвитку сучасних архітектур РОС.

##### Тема 2. Принципи організації оброблення даних в розподілених системах. Поняття та склад проміжного програмного забезпечення РОС (грід-систем)

2.1. Організація оброблення даних у РОС. Типи ресурсів грід: обчислювальні ресурси, зберігання даних, інформаційні ресурси (каталоги), мережні ресурси.

2.2. Поняття та склад шару проміжного програмного забезпечення РОС.

##### Тема 3. Архітектура OGSA для РОС. Поняття та класифікація систем управління ресурсами. Планувальники завдань: Локальні системи управління ресурсами.

3.1. Архітектура OGSA. OGSA - стандарт підтримки угод Open Grid Services Infrastructure (OGSI). Типи сервісів. Основні стандартні інтерфейси грід-сервісів.

3.2. Поняття та класифікація типів систем керування ресурсами та планувальників завдань.

##### Тема 4. Інформаційні сервіси та системи РОС. Склад та призначення інформаційних систем. Організація інформаційних систем на основі R-GMA та MDS.

4.1. Поняття інформаційного сервісу РОС. Моделі даних та доступу до інформаційних служб РОС. Завдання інформаційного сервісу та інформаційної систем РОС. Інформаційний сервіс як основа реалізації парадигми «постачальник-користувач». Організація моделі даних на основі реляційної моделі R-GMA. Особливості реалізації моделі даних MDS в системі Globus Toolkit.

4.2. Типи інформаційних сервісів. Семантичний інформаційний сервіс.

##### Тема 5. Принципи роботи та організація роботи моніторингових систем у РОС.

5.1. Особливості рішення завдань моніторингу стану вузлів, завдань та сервісів у РОС (грід-системах).

5.2. Завдання системи моніторингу. Моніторинг РОС на базі Nagios, Icinga, Ganglia.

## **Змістовий модуль 2. Технології паралельних обчислень у РОС**

### **Тема 6. Поняття та класифікація паралельних обчислювальних систем (ПОС). Класифікація Флінна. Багатопроесорні та багатокомп'ютерні системи. Суперкомп'ютери.**

6.1. Поняття паралельної обчислювальної системи (ПОС). Парадигми програмування в ПОС. Паралелізм завдань та паралелізм даних.

6.2. Принципи побудови ПОС зі спільною і розподіленою пам'яттю. Типи топологій середовищ передавання даних.

6.3. Основні характеристики топологій ПОС та їх розрахунок для вибору певної архітектури системи паралельних обчислень.

### **Тема 7. Послідовна та паралельні моделі програмування.**

7.1. Етапи розроблення паралельної програми (алгоритму). Багатопотокові програми.

7.2. Етапи розроблення паралельної програми: визначення глобальних та локальних змінних. Парадигма передачі повідомлень між фрагментами програми та результатами.

Багатопоточність як засіб реалізації паралельної програми на багатопроесорних та багатоядерних архітектурах.

### **Тема 8. Принципи виконання багатопотокових програм в ОС.**

8.1. Поняття процесу та потоку. Управління потоками та процесами в ОС. Засоби обміну даними в ПОС: передача повідомлень у системах з розподіленою пам'яттю і спільні змінні у системах зі спільною пам'яттю.

### **Тема 9. Графові моделі виконання паралельних програм.**

9.1. Поняття та представлення графа для виконання паралельної програми. Паралельно-ярусна організація паралельної програми. Інформаційні та алгоритмічні залежності. Склад дій, що відбуваються у вершинах графа. Склад дій, що відбуваються у дугах графу.

9.2. Застосування моделі графу при виконанні програм паралельних обчислень.

### **Тема 10. Технологія OpenMP розпаралелювання програм.**

10.1. Принципи організації виконання OpenMP-програми. Базова модель розгалуження програми гілок програми - Fork and Join. Модель розподіляємої пам'яті.

### **Тема 11. Програмні засоби реалізації OpenMP-програми.**

11.1. Функціональне налагодження OpenMP-програми.

11.2. Основні поняття: директиви, функції та клаузи. Поняття структурного блоку. Директива parallel. Змінні оточення, які керують виконанням OpenMP-програм. Класи змінних.

11.3. Директиви для визначення паралельної області. Директива for, директива sections, директива single, директива workshare.

11.4. Директиви для розподілу обчислень всередині паралельної області: директиви for, sections, single. Бібліотека функцій OpenMP. Компіляція OpenMP-програми.

11.5. Стандарт OpenMP 5.2.

### **Тема 12. Технологія паралельного програмування на основі MPI.**

12.1. Сутність передачі повідомлень: процеси взаємодіють за допомогою відправки та прийому повідомлень.

12.2. Стандарти MPI 1.1, MPI 2.0, MPI 2.1, MPI 2.2, MPI 3.0.

12.3. Функції колективної зв'язку: синхронізація (barrier). Колективні взаємодії. Типи комунікаторів. Блокові паралельні алгоритми, особливості реалізації з використанням функцій MPI. Функції підтримки розподілених операцій: виконання глобальних операцій з поверненням.

12.4. Застосування OpenMPI для розв'язку типових задач: сортування, розв'язку СЛАР.

## **Методи навчання та викладання**

У процесі викладання навчальної дисципліни «Розподілені та паралельні обчислення» для реалізації визначених компетентностей освітньої програми та активізації освітнього процесу на

лекційних і лабораторних заняттях передбачено застосування таких методів навчання як: міні-лекції, групова робота, кейс-технології.

Під час проведення лекційних та лабораторних занять використовуються: пояснювально-ілюстративний, репродуктивні, проблемне викладання, частково-пошуковий, дослідницький методи викладання.

### Порядок оцінювання результатів навчання

Система оцінювання сформованих компетентностей у студентів враховує види занять, які згідно з програмою навчальної дисципліни передбачають лекційні, та лабораторні, а також виконання самостійної роботи. Оцінювання сформованих компетентностей у студентів здійснюється за накопичувальною 100-бальною системою. Контрольні заходи включають:

**поточний** контроль, що здійснюється протягом семестру під час проведення лекційних, лабораторних і контрольних робіт, виконання індивідуального завдання;

**підсумковий/семестровий** контроль, що проводиться у формі **іспиту**, відповідно до графіку навчального процесу. Максимальна кількість балів за іспит складає 40 балів. Мінімальна кількість балів, яку потрібно отримати за іспит, складає 25 балів.

*Поточний контроль* з даної навчальної дисципліни проводиться в таких формах:

**Лабораторних робіт** – має на меті перевірку рівня підготовленості студента до виконання конкретної роботи. Оцінювання передбачає захист звітів з лабораторної роботи за умови відповідності рівня знань студента критеріям, що висуваються. Максимальна загальна кількість балів складає 60 балів.

Студента слід **вважати атестованим**, якщо сума балів, одержаних за результатами підсумкової/семестрової перевірки успішності, дорівнює або перевищує 60.

Підсумкова оцінка з навчальної дисципліни розраховується як сума отриманих студентом балів за виконання лабораторних робіт, контрольної роботи та індивідуального завдання. Сумарний результат у балах за семестр складає: "60 і більше балів – зараховано", "59 і менше балів – не зараховано" та заноситься у залікову "Відомість обліку успішності" навчальної дисципліни.

Форми оцінювання та розподіл балів наведено у таблиці "Рейтинг-план навчальної дисципліни".

### Рейтинг-план навчальної дисципліни

Тема	Форми та види навчання		Форми оцінювання	Мак бал
Тема 1. Класифікація грид-систем. Склад та призначення рівнів відкритої архітектур и грид.	<i>Аудиторна робота</i>			
	Лекція	Лекція з теми 1		
	Лабораторне заняття	Лабораторна робота № 1. Створення та налаштування вузлів обчислювального кластера.		
	<i>Самостійна робота</i>			
	Питання та завдання до самостійного опрацювання	Опрацювання лекційного матеріалу. Підготовка до лабораторного заняття		
Тема 2. Принципи організації оброблення даних в	<i>Аудиторна робота</i>			
	Лекція	Лекція з теми 2		
	Лабораторне заняття	Лабораторна робота № 1. Створення та налаштування вузлів обчислювального кластера.		
	<i>Самостійна робота</i>			

Тема	Форми та види навчання		Форми оцінювання	Мак бал
розподілені системах. Поняття та склад проміжного програмного забезпечення РОС	Питання та завдання до самостійного опрацювання	Опрацювання лекційного матеріалу. Підготовка до лабораторного заняття		
Тема 3. Архітектура OGSA для РОС. Поняття та класифікація систем управління ресурсами. Планувальники завдань: Локальні системи управління ресурсами.	<b>Аудиторна робота</b>			
	Лекція	Лекція з теми 3		
	Лабораторне заняття	Лабораторна робота № 1. Створення та налаштування вузлів обчислювального кластера.	Захист звіту з лабораторної роботи	12
	<b>Самостійна робота</b>			
Питання та завдання до самостійного опрацювання	Опрацювання лекційного матеріалу. Підготовка до лабораторного заняття			
Тема 4. Інформаційні сервіси та системи РОС	<b>Аудиторна робота</b>			
	Лекція	Лекція з теми 4		
	Лабораторне заняття	Лабораторна робота № 2. Налаштування системи SLURM на обчислювальному кластері		
	<b>Самостійна робота</b>			
Питання та завдання до самостійного опрацювання	Опрацювання лекційного матеріалу. Підготовка до лабораторного заняття			
Тема 5. Принципи роботи та організація роботи моніто-	<b>Аудиторна робота</b>			
	Лекція	Лекція з теми 5		
	Лабораторне заняття	Лабораторна робота № 2. Налаштування системи SLURM на обчислювальному кластері.		
	<b>Самостійна робота</b>			

Тема	Форми та види навчання		Форми оцінювання	Мак бал
рингових систем у РОС	Питання та завдання до самостійного опрацювання	Опрацювання лекційного матеріалу. Підготовка до лабораторного заняття		
Тема 6.	<b>Аудиторна робота</b>			
Поняття та класифікація паралельних обчислювальних систем (ПОС).	Лекція	Лекція з теми 6		
	Лабораторне заняття	Лабораторна робота № 2. Налаштування системи SLURM на обчислювальному кластері.	Захист звіту з лабораторної роботи	12
	<b>Самостійна робота</b>			
	Питання та завдання до самостійного опрацювання	Опрацювання лекційного матеріалу. Підготовка до лабораторного заняття		
Тема 7.	<b>Аудиторна робота</b>			
Послідовна та паралельні моделі програмування	Лекція	Лекція з теми 6		
	Лабораторне заняття	Лабораторна робота № 2. Налаштування системи SLURM на обчислювальному кластері.	Захист звіту з лабораторної роботи	12
	<b>Самостійна робота</b>			
	Питання та завдання до самостійного опрацювання	Опрацювання лекційного матеріалу. Підготовка до лабораторного заняття		
Тема 8.	<b>Аудиторна робота</b>			
Принципи виконання багатопотокових програм в ОС	Лекція	Лекція з теми 8		
	Лабораторне заняття	Лабораторна робота № 3. Дослідження побудови обчислювального кластеру та принципів роботи з ним.		
	<b>Самостійна робота</b>			
	Питання та завдання до самостійного опрацювання	Опрацювання лекційного матеріалу. Підготовка до лабораторного заняття.		
Тема 9.	<b>Аудиторна робота</b>			
Графові моделі виконання паралельних програм.	Лекція	Лекція з теми 9		
	Лабораторне заняття	Лабораторна робота № 3. Дослідження побудови обчислювального кластеру та принципів роботи з ним.	Захист звіту з лабораторної роботи	12
	<b>Самостійна робота</b>			



Тема	Форми та види навчання		Форми оцінювання	Мак бал
	Питання та завдання до самостійного опрацювання	Опрацювання лекційного матеріалу. Підготовка до лабораторного заняття.		
Тема 10. Технологія OpenMP розпаралелювання програм.	<b>Аудиторна робота</b>			
	Лекція	Лекція з теми 10		
	Лабораторне заняття	Лабораторна робота № 4. Паралельне програмування в відкритому стандарті OpenMP та його застосування при розв'язанні системи лінійних алгебраїчних рівнянь (СЛАР).		
	<b>Самостійна робота</b>			
Тема 11. Програмні засоби реалізації OpenMP-програми.	Питання та завдання до самостійного опрацювання	Опрацювання лекційного матеріалу. Підготовка до лабораторного заняття		
	<b>Аудиторна робота</b>			
	Лекція	Лекція з теми 11		
	Лабораторне заняття	Лабораторна робота № 4. Паралельне програмування в відкритому стандарті OpenMP та його застосування при розв'язанні системи лінійних алгебраїчних рівнянь (СЛАР).		
	<b>Самостійна робота</b>			
	Питання та завдання до самостійного опрацювання	Опрацювання лекційного матеріалу. Підготовка до лабораторного заняття		
	Лабораторне заняття	Лабораторна робота № 4. Паралельне програмування в відкритому стандарті OpenMP та його застосування при розв'язанні системи лінійних алгебраїчних рівнянь (СЛАР).	Захист звіту з лабораторної роботи	12
Тема 12. Технологія паралельного програмування на основі MPI	<b>Самостійна робота</b>			
	Питання та завдання до самостійного опрацювання	Опрацювання лекційного матеріалу. Підготовка до лабораторного заняття		
	Лабораторне заняття	Лабораторна робота № 5. Паралельне програмування в стандарті MPI.		
	<b>Самостійна робота</b>			
	Питання та завдання до самостійного опрацювання	Опрацювання лекційного матеріалу. Підготовка до лабораторного заняття		
	Лабораторне заняття	Лабораторна робота № 5. Паралельне програмування в стандарті MPI.		

Тема	Форми та види навчання	Форми оцінювання	Мак бал
<i>Самостійна робота</i>			
Питання та завдання до самостійного опрацювання	Опрацювання лекційного матеріалу. Підготовка до лабораторного заняття		
Лабораторне заняття	Лабораторна робота № 5. Паралельне програмування в стандарті MPI.	Захист звіту з лабораторної роботи	12
<i>Самостійна робота</i>			
Питання та завдання до самостійного опрацювання	Опрацювання лекційного матеріалу. Підготовка до лабораторного заняття		

### Рекомендована література

#### Основна

1. Малашонок Г. І., Сідько А. А. Паралельні обчислення на розподіленій пам'яті: OpenMPI, Java, Math Partner : підручник. / Г. І. Малашонок, А. А. Сідько. – Київ : НаУКМА, 2020. – 266 с.
2. Коцовський В. М. Теорія паралельних обчислень: навчальний посібник. / В. М. Коцовський - Ужгород: ПП «АУТДОР-Шарк», 2021. - 188 с.
3. Корочкін О.В. Паралельні та розподілені обчислення. Вибрані розділи: Навч. посібник. / О.В. Корочкін, О.В. Русанова.– Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2020. – 123 с. [Електронний ресурс] - режим доступу : [https://ela.kpi.ua/bitstream/123456789/48224/1/ Paralelni%20.pdf](https://ela.kpi.ua/bitstream/123456789/48224/1/Paralelni%20.pdf).
4. Семеренко В. П. Технології паралельних обчислень : навчальний посібник / В. П. Семеренко. – Вінниця : ВНТУ, 2018. – 104 с.

#### Додаткова

5. Kurgalin S., Borzunov S. A Practical Approach to High-Performance Computing// Springer, 2019. - 206 p.
6. Adamatzky A., Akl S., Sirakoulis G. From Parallel to Emergent Computing // CRC Press, 2019. - 628 p.
7. Lorenzon A., Filho A. Parallel Computing Hits the Power Wall: Principles, Challenges, and a Survey of Solutions // SpringerBriefs in Computer Science, 2019 - 88 p.

#### Інформаційні ресурси в Інтернет

8. The OpenMP API specification for parallel programming. – Режим доступу до ресурсу: <http://openmp.org/wp/openmp-specifications/>.
9. Victor Eijkhout. Parallel Programming in MPI and OpenMP. 2016. – Режим доступу до ресурсу : [https:// bitbucket.org/VictorEijkhout/parallel-computing-book/src](https://bitbucket.org/VictorEijkhout/parallel-computing-book/src).

10. Parallel Programming in MPI and OpenMP. – Режим доступа до ресурсу:  
<https://web.corral.tacc.utexas.edu/CompEdu/pdf/pcese/EijkhoutParallelProgramming.pdf>

11. Introduction to Parallel Programming with MPI and OpenMP – Режим доступа до ресурсу:  
[https://princetonuniversity.github.io/PUbootcamp/sessions/parallel-programming/Intro\\_PPbootcamp\\_2018.pdf](https://princetonuniversity.github.io/PUbootcamp/sessions/parallel-programming/Intro_PPbootcamp_2018.pdf).