

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 **12 "Інформаційні технології"**
Спеціальність **122 "Комп'ютерні науки"**
Освітній рівень **перший (бакалаврський)**
Освітні програми **"Комп'ютерні науки"**

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 ґрід-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 (ґрід) 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	Залік

Структурно-логічна схема вивчення навчальної дисципліни

Пререквізити	Постреквізити
Операційні системи	Дипломний проєкт
Комп'ютерні мережі	
Програмування	
Моделювання систем та методи оптимізації	

Компетентності та результати навчання за дисципліною

Компетентності	Результати навчання
ЗК1 Здатність до абстрактного мислення, аналізу та синтезу.	<p>ПР1. Застосовувати знання основних форм і законів абстрактно-логічного мислення, основ методології наукового пізнання, форм і методів вилучення, аналізу, обробки та синтезу інформації в предметній області комп'ютерних наук.</p>
ЗК7 Здатність до пошуку, оброблення та аналізу інформації з різних джерел.	
СК16. Здатність реалізовувати високопродуктивні обчислення на основі кластерних обчислювальних систем шляхом встановлення та налаштування відповідного програмного забезпечення для планування та розподілу завдань в пакетному та інтерактивному режимах, використання паралельних і розподілених обчислень при розробці й експлуатації розподілених систем з паралельною обробкою даних.	
СК1. Здатність до математичного формулювання та досліджування неперервних та дискретних математичних моделей, обґрунтування вибору методів і підходів для розв'язування теоретичних і прикладних задач у галузі комп'ютерних наук, аналізу та інтерпретування	<p>ПР4. Використовувати методи обчислювального інтелекту, машинного навчання, нейромережевої та нечіткої обробки даних, генетичного та еволюційного програмування для розв'язання задач розпізнавання, прогнозування, класифікації, ідентифікації об'єктів керування тощо.</p>
СК3. Здатність до логічного мислення, побудови логічних висновків, використання формальних мов і моделей алгоритмічних обчислень, проектування, розроблення й аналізу алгоритмів, оцінювання їх ефективності та складності, розв'язності та нерозв'язності алгоритмічних проблем для адекватного моделювання предметних областей і створення програмних та інформаційних систем.	<p>ПР5. Проектувати, розробляти та аналізувати алгоритми розв'язання обчислювальних та логічних задач, оцінювати ефективність та складність алгоритмів на основі застосування формальних моделей алгоритмів та обчислюваних функцій.</p>
СК7. Здатність застосовувати теоретичні та практичні основи методології та технології моделювання для дослідження характеристик і поведінки складних об'єктів і систем, проводити обчислювальні експерименти з обробкою й аналізом результатів.	<p>ПР9. Розробляти програмні моделі предметних середовищ, вибирати парадигму програмування з позицій зручності та якості застосування для реалізації методів та алгоритмів розв'язання задач в галузі комп'ютерних наук.</p>
ЗК1. Здатність до абстрактного мислення, аналізу та синтезу.	<p>ПР10. Використовувати інструментальні засоби розробки клієнт-серверних застосувань,</p>
ЗК2. Здатність застосовувати знання у практичних ситуаціях.	
ЗК3. Знання та розуміння предметної області та розуміння професійної діяльності.	
ЗК9. Здатність працювати в команді.	

ЗК10. Здатність бути критичним і самокритичним.	проекувати концептуальні, логічні та фізичні моделі баз даних, розробляти та оптимізувати запити до них із застосуванням мов веб-програмування.
ЗК11. Здатність приймати обґрунтовані рішення.	
ЗК12. Здатність оцінювати та забезпечувати якість виконуваних робіт.	
СК8. Здатність проектувати та розробляти програмне забезпечення із застосуванням різних парадигм програмування: узагальненого, об'єктно-орієнтованого, функціонального, логічного, з відповідними моделями, методами й алгоритмами обчислень, структурами даних і механізмами управління.	
СК11. Здатність до інтелектуального аналізу даних на основі методів обчислювального інтелекту включно з великими та погано структурованими даними, їхньої оперативної обробки та візуалізації результатів аналізу в процесі розв'язування прикладних задач.	ПР13. Володіти мовами системного програмування та методами розробки програм, що взаємодіють з компонентами комп'ютерних систем, знати мережні технології, архітектури комп'ютерних мереж, мати практичні навички технології адміністрування комп'ютерних мереж та їх програмного забезпечення.
ЗК1. Здатність до абстрактного мислення, аналізу та синтезу. ЗК2. Здатність застосовувати знання у практичних ситуаціях. СК10. Здатність застосовувати методології, технології та інструментальні засоби для управління процесами життєвого циклу інформаційних і програмних систем, продуктів і сервісів інформаційних технологій відповідно до вимог замовника.	ПР14. Виконувати установку та налаштування сервісів (служб) для управління та діагностики роботи комп'ютерних мереж різних рівнів (глобальних, корпоративних, локальних), знати стандарти дротових та бездротових мереж, використовувати інструментальні засоби для проектування та моделювання комп'ютерних мереж.
ЗК1. Здатність до абстрактного мислення, аналізу та синтезу. ЗК2. Здатність застосовувати знання у практичних ситуаціях. ЗК4 Здатність спілкуватися державною мовою як усно, так і письмово. ЗК5 Здатність спілкуватися іноземною мовою. ЗК8. Здатність генерувати нові ідеї (креативність). ЗК9. Здатність працювати в команді. ЗК12. Здатність оцінювати та забезпечувати якість виконуваних робіт.	ПР17. Виконувати паралельні та розподілені обчислення з використанням програмного забезпечення кластерних обчислювальних систем, застосовувати чисельні методи та алгоритми для їх застосування в паралельних архітектурах високопродуктивних систем, мови
СК14. Здатність застосовувати методи та засоби забезпечення інформаційної безпеки, розробляти й експлуатувати спеціальне програмне забезпечення захисту інформаційних ресурсів об'єктів критичної інформаційної інфраструктури.	

<p>СК15. Здатність до аналізу та функціонального моделювання бізнес-процесів, побудови та практичного застосування функціональних моделей організаційно-економічних і виробничо-технічних систем, методів оцінювання ризиків їх проектування.</p>	<p>паралельного програмування при розробці та експлуатації паралельного та розподіленого програмного забезпечення в цих системах</p>
---	--

Програма навчальної дисципліни

Змістовий модуль 1. Технології розподілених систем

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

1.1. Основні терміни та визначення.

Класифікація розподілених обчислювальних систем (РОС). Поняття та типи грид-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 (GRID-систем)

2.1. Організація оброблення даних у РОС. Типи ресурсів грид: 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 грид-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 (GRID-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. Багатопроекторні 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 розрахунків 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 багатопроцесорних 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 розподілюваної 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	Мах 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 розподіле	<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
них 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	<i>Аудиторна робота</i>			
	Лекція	Лекція з теми 3		
	Лабораторне заняття	Лабораторна робота № 1. Створення та налаштування вузлів обчислювального кластера.	Захист звіту з лабораторної роботи	18
<i>Самостійна робота</i>				
Питання та завдання до самостійного опрацювання	Опрацювання лекційного матеріалу. Підготовка до лабораторного заняття			
Тема 4. Інформаційні сервіси та системи РОС	<i>Аудиторна робота</i>			
	Лекція	Лекція з теми 4		
	Лабораторне заняття	Лабораторна робота № 2. Налаштування системи SLURM на обчислювальному кластері		
<i>Самостійна робота</i>				
Питання та завдання до самостійного опрацювання	Опрацювання лекційного матеріалу. Підготовка до лабораторного заняття			
Тема 5. Принципи	<i>Аудиторна робота</i>			
	Лекція	Лекція з теми 5		

Тема	Форми та види навчання		Форми оцінювання	Мак бал
роботи та організація роботи моніторинг ових систем у РОС	Лабораторне заняття	Лабораторна робота № 2. Налаштування системи SLURM на обчислювальному кластері.		
	<i>Самостійна робота</i>			
Тема 6. Поняття та класифікація паралельних обчислювальних систем (ПОС)	Питання та завдання до самостійного опрацювання	Опрацювання лекційного матеріалу. Підготовка до лабораторного заняття		
	<i>Аудиторна робота</i>			
Поняття та класифікація паралельних обчислювальних систем (ПОС)	Лекція	Лекція з теми 6		
	Лабораторне заняття	Лабораторна робота № 2. Налаштування системи SLURM на обчислювальному кластері.		
<i>Самостійна робота</i>				
Тема 7. Послідовна та паралельні моделі програмування	Питання та завдання до самостійного опрацювання	Опрацювання лекційного матеріалу. Підготовка до лабораторного заняття		
	<i>Аудиторна робота</i>			
Тема 7. 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	18
<i>Самостійна робота</i>				
Тема 8. Принципи виконання багатопотокових програм в ОС	Питання та завдання до самостійного опрацювання	Опрацювання лекційного матеріалу. Підготовка до лабораторного заняття		
	<i>Аудиторна робота</i>			
Тема 8. 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.		
<i>Самостійна робота</i>				
Тема 9. Графові	Питання та завдання до самостійного опрацювання	Опрацювання лекційного матеріалу. Підготовка до лабораторного заняття.		
	<i>Аудиторна робота</i>			
Тема 9. Графові	Лекція	Лекція з теми 9		

Тема	Форми та види навчання		Форми оцінювання	Мак бал	
Тема 10. Технологія OpenMP розпаралелювання програм.	моделі виконання паралельних програм	Лабораторне заняття	Лабораторна робота № 3. Дослідження побудови обчислювального кластеру та принципів роботи з ним.	Захист звіту з лабораторної роботи	20
	Самостійна робота				
		Питання та завдання до самостійного опрацювання	Опрацювання лекційного матеріалу. Підготовка до лабораторного заняття.		
	Аудиторна робота				
		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).		
	Самостійна робота				
		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).		
	Самостійна робота				
Тема 11. Програмні засоби реалізації OpenMP-програми		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).		
	Самостійна робота				
		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	22
Аудиторна робота					
Тема 12. Технологія паралельно		Лекція	Лекція з теми 12		
		Лабораторне заняття	Лабораторна робота № 5. Паралельне програмування в стандарті MPI.		

Тема	Форми та види навчання		Форми оцінювання	Мак бал
го програмування на основі MPI	<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.		
	<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	22
	<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 доступу до ресурсу: <https://web.corral.tacc.utexas.edu/CompEdu/pdf/pcse/EijkhoutParallelProgramming.pdf>

11. Introduction to Parallel Programming with MPI and OpenMP – Режим доступу до ресурсу: https://princetonuniversity.github.io/PUbootcamp/sessions/parallel-programming/Intro_PP_bootcamp_2018.pdf.