МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ОДЕСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ІМЕНІ І. І. МЕЧНИКОВА
Кафедра Комп’ютерних систем та технологій

**ЗАТВЕРДЖУЮ**
Проректор з науково-педагогічної роботи

_____

«_____» _____ 20___ р.

# РОБОЧА ПРОГРАМА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

# ОП25 РОЗПОДІЛЕНІ СИСТЕМИ ТА ПАРАЛЕЛЬНІ ОБЧИСЛЕННЯ

Рівень вищої освіти: Перший (бакалаврський)

Галузь знань: 12 «Інформаційні технології»

Спеціальність: 122 «Комп’ютерні науки»

Освітньо-професійна програма: «Комп’ютерні науки»

ОНУ
2023

Робоча програма навчальної дисципліни «Розподілені системи та паралельні обчислення». Одеса: ОНУ, 2023. 17 с.

Розробник: ст. викладач кафедри комп'ютерних систем та технологій Мартинович Лариса Ярославівна.

Робоча програма затверджена на засіданні кафедри комп'ютерних систем та технологій

Протокол № 1 від. "  " серпня 2023 р.

Завідувач кафедри _____ Юрій ГУНЧЕНКО

Погоджено із гарантом ОПП/ОНП Комп'ютерні науки

_____ (Алла КАМЄНЄВА)

Схвалено навчально-методичною комісією (НМК)_____ факультету
Протокол № ___ від. "____"_____20___ р.

Голова НМК _____ (Алла РАЧИНСЬКА)

Переглянуто та затверджено на засіданні кафедри комп'ютерних систем та технологій
Протокол № ___ від. "____"_____20__ р.
Завідувач кафедри _____ (_____)
(підпис) (Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

## 1. Опис навчальної дисципліни

<table>
<tr><td rowspan="2">Найменування показників</td><td rowspan="2">Галузь знань, спеціальність, спеціалізація, рівень вищої освіти</td><td colspan="2">Характеристика навчальної дисципліни</td></tr>
<tr><td>денна форма навчання</td><td>заочна форма навчання</td></tr>
<tr><td rowspan="13">Загальна кількість:<br>кредитів – 5<br><br>годин – 150<br><br>змістових модулів – 2</td><td rowspan="13">Галузь знань<br><u>12 Інформаційні технології</u><br><br>Спеціальність<br><u>_122 Комп’ютерні науки</u><br><br>Спеціалізації:<br>бакалавр з комп’ютерних наук<br><br>Рівень вищої освіти:<br>перший (бакалаврський)</td><td colspan="2">за вибором<br>(ВНЗ/студента)</td></tr>
<tr><td colspan="2">Рік підготовки:</td></tr>
<tr><td>4-й</td><td>-й</td></tr>
<tr><td colspan="2">Семестр</td></tr>
<tr><td>8-й</td><td>-й</td></tr>
<tr><td colspan="2">Лекції</td></tr>
<tr><td>36 год.</td><td>год.</td></tr>
<tr><td colspan="2">Практичні, семінарські</td></tr>
<tr><td>0 год.</td><td>год.</td></tr>
<tr><td colspan="2">Лабораторні</td></tr>
<tr><td>24 год.</td><td>год.</td></tr>
<tr><td colspan="2">Самостійна робота</td></tr>
<tr><td>90 год.</td><td>год.</td></tr>
<tr><td colspan="2">У т.ч КР – 55 год.</td></tr>
<tr><td colspan="2">Форма підсумкового контролю:<br>КР, іспит</td></tr>
</table>

## 2. Мета та завдання навчальної дисципліни

**Метою** викладання дисципліни є вивчення студентами принципів побудови паралельних та розподіденних програмних додатків для різноманітних комп'ютерних систем, а також придбання практичних навичків щодо створення, тестування та експлуатації параллельного програмного продукту з використанням сучасних пакетів та стандартів паралельного програмування.

**Завдання:**

1. ознайомлення студентів з основними парадигмами паралельного програмування;
2. вивчення стандартів паралельного програмування (таких як MPI та OpenMP) та їх реалізацій;
3. придбання практичних навиків використання пакетів паралельного програмування;
4. підготовка до виконання дипломних проектів та кваліфікаційних робіт, тематика яки пов'язана з дослідженням та проектуванням паралельних алгоритмів прикладних задач.

Процес вивчення дисципліни спрямований на формування елементів наступних **компетентностей**:

ІК. Здатність розв'язувати складні спеціалізовані задачі та практичні проблеми у галузі комп'ютерних наук або у процесі навчання, що передбачає застосування теорій та методів інформаційних технологій і характеризується комплексністю та невизначеністю умов.

Загальні компетентності

ЗК1. Здатність до абстрактного мислення, аналізу та синтезу.

ЗК2. Здатність застосовувати знання у практичних ситуаціях.

ЗК3. Знання та розуміння предметної області та розуміння професійної діяльності.

Спеціальні:

СК9. Здатність реалізувати багаторівневу обчислювальну модель на основі архітектури клієнт-сервер, включаючи бази даних, знань і сховища даних, виконувати розподілену обробку великих наборів даних на кластерах стандартних серверів для забезпечення обчислювальних потреб користувачів, у тому числі на хмарних сервісах.

Програмні результати навчання (ПРН):

ПР11. Володіти навичками управління життєвим циклом програмного забезпечення, продуктів і сервісів інформаційних технологій відповідно до вимог і обмежень замовника, вміти розробляти проектну документацію (техніко-економічне обґрунтування, технічне завдання, бізнес-план, угоду, договір, контракт).

У результаті вивчення навчальної дисципліни здобувач вищої освіти повинен

**знати:**

1. основні парадигми паралельного та розподіленого програмування;
2. основні прийоми написання паралельних програм з використанням процесів ОС UNIX;
3. основні прийоми написання паралельних програм з використанням потоків стандарту POSIX;
4. технології OpenMP, MPI написання паралельних програм:

**вміти:**

1. створювати паралельні алгоритми для розв’язування різноманітних задач;
2. аналізувати ефективність паралельного алгоритму;
3. реалізувати паралельний алгоритм для копьютерних систем з різними паралельними архітектурами;

## 3. Зміст навчальної дисципліни

### Змістовий модуль 1. Основи паралельних та розподілених обчислень

**Тема 1. Вступ до предмету.** Паралелізм. Два основних підходи до досягнення паралелізму: паралельне програмування, розподілене програмування. Найпростіша модель паралельного програмування PRAM. Найпростіша модель розподіленого програмування. Процес проектування паралельних і розподілених програм: декомпозиція, зв'язок, синхронізація. Базові рівні програмного паралелізму. Середовища для паралельного і розподіленого програмування.

**Тема 2. Класифікація паралельних обчислювальних систем**: SMP-системи, кластери, MMP-системи. Системи із загальною й розподіленою пам'яттю. Архітектура NUMA та ccNUMA. Організація когерентності багаторівневої ієрархічної пам'яті в SMP-системах.

**Тема 3. Головні парадигми паралельного програмування.** Ітеративний паралелізм (множення матриць). Рекурсивний паралелізм(адаптивна квадратура). «Виробники та споживачі» (конвейєри). Проблеми паралельного і розподіленого програмування: «гонка» даних, нескінченна відстрочка, взаємоблокіровка, труднощі організації зв'язку. Типові задачі синхронізації паралельних процесів: задача взаємного виключення, «виробник-споживач», «читачі-письменники».

**Тема 4. Паралельне програмування з використанням потоків стандарту POSIX.** Створення потоку. Атрибути потоку. Очікувані й від’єднанні потоки. Скасування потоку: асинхронне скасовування, синхронне скасовування, потоки, які не можна скасувати. Потокові дані. Оброблювач очищення. Очищення потокових даних у C++. Потокові семафори. Мютекси. Умовні змінні POSIX. Приклад використання мютексів і потокових семафорів.

### Змістовий модуль 2. Технології паралельних та розподілених обчислень

**Тема 5. Технологія паралельного програмування OpenMP.** Призначення OpenMP. Модель OpenMP-додатка. Директива паралельної обрабки parallel. Директива розподілення роботи for. Директиви розподілення роботи sections та

section. Директиви single та master. Директиви tasks та taskwait. Директиви синхронізації barrier, ordered, critical, atomic. Спільні та приватні змінні. Функції середовища виконання. Функції блокування та синхронізації. Змінні оточення. Алгоритми планування паралельного виконання циклів (static, dynamic, guided, runtime scheduling).

**Тема 6. Технологія розподіленого програмування MPI.** Призначення MPI. Модель MPI-додатка. Комунікатори. Функції ініціалізації й завершення роботи. Етапи передачі повідомлень між паралельними процесами MPI. Типи даних MPI. Функції передачі повідомлень між процесами типу «один-одному». Колективні комунікації. Розподілені операції в MPI. Створення нових типів даних MPI. Створення розподілених операцій. Топології процесів. Створення декартової топології процесів в MPI-додатках. Приклад використання декартової топології процесів.

**Тема 7. Моделювання та аналіз паралельних обчислень.** Модель обчислень у вигляді графа "операції-операнди". Граф інформаційних залежностей послідовного алгоритму. Опис схеми паралельного виконання алгоритму. Характеристики часу виконання паралельного алгоритму. Теореми про оцінки часу виконання паралельного алгоритму. Показники ефективності паралельного алгоритму. Каскадна схема сумування. Модифікована каскадна схема сумування. Оцінка максимально допустимого паралелізму (закон Амдаля, ефект Амдаля, закон Густавсона – Барсиса). Аналіз масштабованості паралельних обчислень.

## 4. Структура навчальної дисципліни

| Т Е М А | Кількість годин | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Денна форма | | | | | Заочна форма | | | | |
| | Всього | У тому числі | | | | Всього | У тому числі | | | |
| | | л | п/с | лаб | ср | | л | п/с | лаб | ср |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 |
| **Змістовий модуль 1. Основи паралельних та розподілених обчислень** | | | | | | | | | | |
| Тема 1. Вступ до предмету. | 7 | 2 | | | 5 | | | | | |
| Тема 2. Класифікація паралельних обчислювальних систем: | 7 | 2 | | | 5 | | | | | |
| Тема 3. Головні парадигми паралельного програмування. | 9 | 4 | | | 5 | | | | | |
| Тема 4. Паралельне програмування: потоки стандарту POSIX | 19 | 8 | | 6 | 5 | | | | | |
| **Змістовий модуль 2. Технології паралельних та розподілених обчислень** | | | | | | | | | | |
| Тема 5. Технологія паралельного програмування OpenMP. | 19 | 8 | | 6 | 5 | | | | | |
| Тема 6. Технологія розподіленого програмування MPI | 19 | 8 | | 6 | 5 | | | | | |
| Тема 7. Моделювання та аналіз параллельних обчислень. | 15 | 4 | | 6 | 5 | | | | | |
| Курсова робота | 55 | | | | 55 | | | | | |
| Усього за курс | 150 | 36 | | 24 | 90 | | | | | |

## 5. Теми семінарських занять

Семінарські заняття не передбачено

## 6. Теми практичних занять

Практичні заняття не передбачено

## 7. Теми лабораторних занять

| № з/п | Назва теми | Кількість годин |
|---|---|---|
| **Змістовий модуль 1. Основи паралельних та розподілених обчислень** | | |
| 1 | Створення та очікування завершення потоку. Очікувані та від'єднані потоки | 2 |

| | | |
|---|---|---|
| 2 | Використання мютексів та потокових семафорів | 2 |
| 3 | Синхронізація потоків з умовними (сигнальними) змінними | 2 |
| **Змістовий модуль 2. Технології паралельних та розподілених обчислень** | | |
| 4 | Технологія OpenMP. Директиви OpenMP. | 2 |
| 5 | Технологія OpenMP. Загальні та приватні змінні | 2 |
| 6 | Технологія OpenMP. Потокобезпечні функції | 2 |
| 7 | Технологія MPI. Обмін повідомленнями між двома процесами | 2 |
| 8 | Технологія MPI. Створення типів даних і глобальних операцій | 2 |
| 9 | Топологія процесів MPI | 2 |

## 8. Самостійна робота

| № з/п | Назва теми / види завдань | Кількість годин |
|---|---|---|
| **Змістовий модуль 1. Основи паралельних та розподілених обчислень** | | |
| 1 | Вступ до предмету / підготовка до лекцій | 5 |
| 2 | Класифікація паралельних обчислювальних систем/ підготовка до лекцій, лабораторних занять | 5 |
| 3 | Головні парадигми паралельного програмування/ підготовка до лекцій, лабораторних занять | 5 |
| 4 | Паралельне програмування: потоки стандарту POSIX/ підготовка до лекцій, лабораторних занять | 5 |
| **Змістовий модуль 2. Технології паралельних та розподілених обчислень** | | |
| 5 | Технологія паралельного програмування OpenMP/ підготовка до лекцій, лабораторних занять | 5 |
| 6 | Технологія розподіленого програмування MPI/ підготовка до лекцій, лабораторних занять | 5 |
| 7 | Моделювання та аналіз параллельних обчислень/ підготовка до лекцій, лабораторних занять | 5 |

Самостійна робота оформлюється у вигляді доповіді та виконання індивідуального завдання, обговорення та оцінювання яких здійснюється на поточному та підсумковому контролі.

В рамках самостійної роботи передбачається виконання курсової роботи (КР) за темою «Написання паралельних додатків з використанням потоків».

Самостійна робота здобувачів забезпечується засобами Google Workspace for Education.

Навчально-методичне забезпечення: робоча програма навчальної дисципліни; навчально-методичні матеріали для лекцій та лабораторних робіт, конспекти (тексти, схеми) лекцій; мультимедійні презентації;

Критерії оцінювання виконання самостійної роботи:

– своєчасність виконання;

– доброчесність та коректність у представлені текстів, презентацій та посилань (у разі доведеного плагіату бали за роботу анулюються);

– повнота, грамотність і коректність розкриття основних положень;

– творчий підхід до постановки і реалізації завдання;

– відповідність формальним критеріям (структура, послідовність, логічність, мовна грамотність, якість оформлення тощо).

– вміння застосовувати теоретичні знання для рішення практичних завдань.

## 9. Методи навчання

Лекції з використанням мультимедійного презентаційного матеріалу та лабораторні роботи з використанням сучасного програмного забезпечення.

## 10. Форми контролю і методи оцінювання

**Поточний контроль.** На лабораторних заняттях проводиться усне опитування студентів. За результатами виконання лабораторних робіт студент оформляє звіт. Звіт перевіряється викладачем в присутності студента в формі співбесіди. Для зарахування звіту студент також повинен відповісти на 2 запитання екзаменатора за темою лабораторної роботи з переліку, наведеному у п. 11. Таким чином, оцінюючи звіт за лабораторною роботою, викладач оцінює рівень практичної та теоретичної підготовки студента за темою.

**Підсумковий контроль.** Залік виставляється за сумою балів, які студент отримав за звіти з лабораторних робіт.

При оцінюванні в балах рівня засвоєння матеріалу використовуються **загальні критерії оцінювання навчальних досягнень здобувачів вищої освіти**:

| Оцінка за національною шкалою | Теоретична підготовка | Практична підготовка |
|---|---|---|
| | Здобувач освіти | |
| Відмінно | у повному обсязі володіє навчальним матеріалом, вільно, самостійно та аргументовано його викладає під час усних виступів та письмових відповідей; глибоко та всебічно розкриває зміст теоретичних питань, використовуючи при цьому | глибоко та всебічно розкриває сутність практичних/ розрахункових завдань, використовуючи при цьому нормативну, обов’язкову та додаткову літературу; може аргументовано обрати раціональний спосіб виконання завдання й оцінити результати власної практичної діяльності; |

| | | |
|---|---|---|
| | нормативну, обов’язкову та додаткову літературу; робить самостійні висновки, виявляє причинно-наслідкові зв’язки; самостійно знаходить додаткову інформацію та використовує її для реалізації поставлених перед ним завдань. Здобувач здатен виділяти суттєві ознаки вивченого за допомогою операцій синтезу, аналізу, виявляти причинно-наслідкові зв’язки, формувати висновки і узагальнення, вільно оперувати фактами та відомостями. | виконує творчі завдання та ініціює нові шляхи їх виконання; вільно використовує набуті теоретичні знання при аналізі практичного матеріалу; проявляє творчий підхід до виконання індивідуальних та колективних завдань при самостійній роботі. |
| Добре | достатньо повно володіє навчальним матеріалом, обґрунтовано його викладає під час усних виступів та письмових відповідей, використовуючи при цьому нормативну та обов’язкову літературу; при представленні деяких питань не вистачає достатньої глибини та аргументації, застосовує знання для розв’язання стандартних ситуацій; самостійно аналізує, узагальнює і систематизує навчальну інформацію, але допускаються при цьому окремі несуттєві неточності та незначні помилки. | правильно вирішив більшість розрахункових /тестових завдань за зразком; має стійкі навички виконання завдання |
| Задовільно | володіє навчальним матеріалом на репродуктивному рівні або відтворює певну частину навчального матеріалу з | може використовувати знання в стандартних ситуаціях, має елементарні, нестійкі навички виконання завдання. Правильно вирішив половину |

| | | |
|---|---|---|
| | елементами логічних зв’язків, знає основні поняття навчального матеріалу; має ускладнення під час виділення суттєвих ознак вивченого; під час виявлення причинно-наслідкових зв’язків і формулювання висновків. | розрахункових/тестових завдань. Здобувач має ускладнення під час виділення суттєвих ознак вивченого; під час виявлення причинно-наслідкових зв’язків і формулювання висновків. |
| Незадовільно з можливістю повторного складання | володіє навчальним матеріалом поверхово й фрагментарно (без аргументації та обґрунтування); безсистемно виокремлює випадкові ознаки вивченого; не вміє робити найпростіші операції аналізу і синтезу; робити узагальнення, висновки; під час відповіді допускаються суттєві помилки | недостатньо розкриває сутність практичних завдань, допускаючи при цьому суттєві неточності, правильно вирішив окремі розрахункові/тестові завдання за допомогою викладача, відсутні сформовані уміння та навички. |
| Незадовільно з обов’язковим повторним вивченням дисципліни | не володіє навчальним матеріалом | виконує лише елементи завдання, потребує постійної допомоги викладача |

## 11. Питання для поточного та періодичного контролю

1. Два основних підходи до досягнення паралелізму: паралельне програмування, розподілене програмування.
2. Найпростіша модель паралельного програмування PRAM.
3. Найпростіша модель розподіленого програмування.
4. Процес проектування паралельних і розподілених програм: декомпозиція, зв'язок, синхронізація.
5. Базові рівні програмного паралелізму.
6. Середовища для паралельного і розподіленого програмування.
7. SMP-системи, кластери, MMP-системи.
8. Системи із загальною й розподіленою пам'яттю.
9. Архітектура NUMA та ccNUMA.

10. Організація когерентності багаторівневої ієрархічної пам'яті в SMP - системах.
11. Ітеративний паралелізм (множення матриць).
12. Рекурсивний паралелізм(адаптивна квадратура). «Виробники та споживачі» (конвейери).
13. Проблеми паралельного і розподіленого програмування: «гонка» даних, нескінченна відстрочка, взаємоблокіровка, труднощі організації зв'язку.
14. Типові задачі синхронізації паралельних процесів: задача взаємного виключення, «виробник-споживач», «читачі-письменники».
15. Створення потоку. Атрибути потоку.
16. Очікувані й від’єднанні потоки.
17. Скасування потоку: асинхронне скасовування, синхронне скасовування, потоки, які не можна скасувати.
18. Потокові дані. Оброблювач очищення. Очищення потокових даних у C++.
19. Потокові семафори. Мютекси.
20. Умовні змінні POSIX. Приклад використання мютексів і потокових семафорів.
21. Призначення OpenMP. Модель OpenMP-додатка.
22. Директива паралельної обрабки parallel.
23. Директива розподілення роботи for.
24. Директиви розподілення роботи sections та section.
25. Директиви single та master.
26. Директиви tasks та taskwait.
27. Директиви синхронізації barrier, ordered, critical, atomic.
28. Спільні та приватні змінні.
29. Функції середовища виконання.
30. Функції блокування та синхронізації.
31. Змінні оточення OpenMP.
32. Алгоритми планування паралельного виконання циклів (static, dynamic, guided, runtime scheduling).
33. Призначення MPI. Модель MPI-додатка.
34. Комунікатори. Функції ініціалізації й завершення роботи.
35. Етапи передачі повідомлень між паралельними процесами MPI.
36. Типи даних MPI.
37. Функції передачі повідомлень між процесами типу «один-одному».
38. Колективні комунікації.
39. Розподілені операції в MPI.
40. Створення нових типів даних MPI.
41. Створення розподілених операцій.
42. Топології процесів.
43. Створення декартової топології процесів в MPI-додатках.
44. Приклад використання декартової топології процесів.
45. Модель обчислень у вигляді графа "операції-операнди".

46. Граф інформаційних залежностей послідовного алгоритму.
47. Опис схеми паралельного виконання алгоритму.
48. Характеристики часу виконання паралельного алгоритму.
49. Теореми про оцінки часу виконання паралельного алгоритму. Показники ефективності паралельного алгоритму.
50. Каскадна схема сумування.
51. Модифікована каскадна схема сумування.
52. Оцінка максимально допустимого паралелізму (закон Амдаля, ефект Амдаля, закон Густавсона – Барсиса).
53. Аналіз масштабованості паралельних обчислень.

## 12. Розподіл балів, які отримують здобувачі

| Поточний та періодичний контроль | | | | | | | Підсумковий контроль (іспит) | Сума балів |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Змістовий модуль 1 | | | | Змістовий модуль 2 | | | | |
| Т1 | Т2 | Т3 | Т4 | Т5 | Т6 | Т7 | 35 | 100 |
| 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | | |
| Контрольна робота за змістовим модулем 1 - 15 | | | | Контрольна робота за змістовим модулем 2 - 15 | | | | |

## ФОРМУВАЛЬНЕ ОЦІНЮВАННЯ

| Види навчальної роботи | Бали за одне заняття (завдання) | Кількість завдань | Сумарна кількість балів |
|---|---|---|---|
| **Змістовий модуль 1.** | | | |
| Виконання і захист лабораторних робіт | 5 | 2 | 0-10 |
| Контрольна робота за змістовим модулем | | | 0-15 |
| **Усього за змістовим модулем 1** | | | **0-25** |
| **Змістовий модуль 2.** | | | |
| Виконання і захист лабораторних робіт | 5 | 5 | 0-25 |
| Контрольна робота за змістовим модулем | | | 0-15 |
| **Усього за змістовим модулем 2** | | | **0-40** |
| Підсумковий контроль (іспит) | | | **0-35** |
| **Підсумкова сума балів** | | | **0-100** |

Т1, Т2 ... Т7 – теми змістових модулів.

**Шкала оцінювання: національна та ECTS**

| Сума балів за всі види навчальної діяльності | Оцінка ECTS | Оцінка за національною шкалою | |
|---|---|---|---|
| | | для екзаену, курсового проекту (роботи), практики | для заліку |
| 90-100 | A | відмінно | зараховано |
| 85-89 | B | добре | |
| 75-84 | C | | |
| 70-74 | D | задовільно | |
| 60-69 | E | | |
| 35-59 | FX | незадовільно з можливістю повторного складання | не зараховано з можливістю повторного складання |
| 0-34 | F | незадовільно з обов’язковим повторним вивченням дисципліни | не зараховано з обов’язковим повторним вивченням дисципліни |

## 13 Навчально-методичне забезпечення

1. Конспект лекцій; комплекс навчально-методичного забезпечення дисципліни; нормативні документи; презентаційні матеріали.
2. Литвинов О.А., Мартинович Л.Я., Пономарьов І.В. "Технології паралельної обробки інформації: OpenMP та MPI". / Литвинов О.А., Мартинович Л.Я., Пономарьов І.В. – Дніпро: ДНУ, 2017. – 124 с.
3. Вербіцький В. В., Максимов А. Л. Паралельне програмування з використанням технології OpenMP: метод. вказівки. Одеса : Одес. нац. ун-т ім. І. І. Мечникова, 2022. – 47 с.

## 14. Рекомендована література

**Основна**

1. Pacheco P. An Introduction to Parallel Programming / Elsevier, 2011. 392 p.
2. Rauber Th., Runger G. Parallel Programming For Multicore and Cluster Systems / Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2010. 463 p.
3. Schmidt B., González-Domínguez J., Hundt Ch., Schlarb M. Parallel Programming. Concepts and Practice / Publisher: Katey Birtcher, 2018. 405 p.
4. Trobec R., Slivnik B., Bulić P., Robič B. Introduction to Parallel Computing. From Algorithms to Programming on State-of-the-Art Platforms / Springer Nature Switzerland AG, 2018. 259 p.
5. Robey R., Zamora Y. Parallel and High Performance Computing / Manning, Shelter Island, 2021. 705 p.
6. Weinzierl T. Principles of Parallel Scientific Computing: A First Guide to Numerical Concepts and Programming Methods: Undergraduate Topics in Computer Science. / Springer Nature Switzerland AG, 2022. 314 p.

**Додаткова**

1. Chapman B., Jost G., Ruud van der Pas. Using OpenMP: portable shared memory parallel programming / The MIT Press, 2007. 378 p.
2. Förster M. Algorithmic Differentiation of Pragma-Defined Parallel Regions: Differentiating Computer Programs Containing OpenMP / Springer Fachmedien Wiesbaden, 2014. 411 p.
3. OpenMP: Application Program Interface Version 5.0. (https://www.openmp.org/wp-content/uploads/OpenMP-API-Specification-5.0.pdf)
4. Ruud van der Pas, Stotzer E., Terboven Chr. Using OpenMP-The Next Step. Affinity, Accelerators, Tasking, and SIMD / The MIT Press, 2017. 381 p.
5. Mattson T. G., He Y. H., Koniges A. E. The OpenMP common core : making OpenMP simple again / Cambridge, Massachusetts : The MIT Press, 2019. 277 p.
6. Foster I. Desinging and building parallel program / Addison-Westly, 1995.
7. Shir M., Otto St. MPI: The complete reference / MIT Press, 1996.

## 15. Інформаційні ресурси

1. http://nbuv.gov.ua - Сайт національної бібліотеки України імені В.І. Вернадського.
2. http://www.dnpb.gov.ua/ - Сайт державної науково-педагогічної бібліотеки України імені В.О. Сухомлинського.
3. http://www.lib.onu.edu.ua/ - Сайт бібліотеки ОНУ імені І.І. Мечнікова.
4. http:// odnb.odessa.ua/ - Сайт Одеської національної наукової бібліотеки.
5. http:// korolenko.kharkov.com/ - Сайт Харківської державної наукової бібліотеки імені В.Г. Короленко.
6. The MPI Forum, which is the standardization forum for the Message Passing Interface (MPI). – Режим доступу: https://www.mpi-forum.org
7. Argonne National Laboratory, Center for Computational Science and Technology. – Режим доступу: http://www.mcs.anl.gov
8. CACR (Center of Advanced Computing Research). – Режим доступу: http://www.cacr.caltech.edu
9. Netlib is a collection of mathematical software, papers, and databases. – Режим доступу:http://netlib.org