

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ЕКОНОМІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІМЕНІ СЕМЕНА КУЗНЕЦЯ

ЗАТВЕРДЖЕНО

на засіданні кафедри
інформаційних систем
Протокол № 1 від 22.08.2023 р.

ПОГОДЖЕНО

Проректор з навчально-методичної роботи

Каріна НЕМАШКАЛО



РОЗПОДІЛЕНІ ТА ПАРАЛЕЛЬНІ ОБЧИСЛЕННЯ

робоча програма навчальної дисципліни (РПНД)

Галузь знань 12 "Інформаційні технології"
Спеціальність 121 "Інженерія програмного забезпечення"
Освітній рівень перший (бакалаврський)
Освітня програма "Інженерія програмного забезпечення "

Статус дисципліни обов'язкова
Мова викладання, навчання та оцінювання українська

Розробник:

д.т.н., професор

підписано КЕП

Сергій МІНУХІН

Завідувач кафедри

інформаційних систем

Дмитро БОНДАРЕНКО

Гарант програми

Олег ФРОЛОВ

Харків
2024

ВСТУП

Умови зростання обсягів даних й 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 згідно зі стандартами та архітектурами розподілених обчислювальних систем (РОС) з використанням паралельного програмування.

Технології розподілених систем та паралельних обчислень є основою побудови розподілених ІС - від рівня обчислювального кластера до рівня доменів грид-систем і сервісів 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 завдань у різних предметних областях.

Навчальна дисципліна "Розподілені та паралельні обчислення" вивчається здобувачами спеціальності 121 "Інженерія програмного забезпечення" усіх форм навчання на 4 курсі протягом сьомого семестру. Вивчення дисципліни "Розподілені та паралельні обчислення" передбачає набуття теоретичних знань та опанування практичними навичками, пов'язаними з використанням технологій щодо виконання трудомістських обчислювальних процесів. Дисципліна спрямована на формування у здобувачів загальних основ щодо розуміння сутності паралельних та розподілених обчислень, оволодіння базовими концепціями програмування в рамках парадигм паралельних та розподілених обчислень.

Метою викладання навчальної дисципліни "Розподілені та паралельні обчислення" є надання здобувачам вищої освіти 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 щодо запуску та виконання завдань на обчислювальному кластері й використання технологій і засобів паралельного програмування за існуючими стандартами.

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 програм (застосунків) на кластері;
- ознайомлення з основними парадигмами паралельного програмування у високопродуктивних обчислювальних 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.

Об'єктом навчальної дисципліни є обчислювальні процеси у розподілених системах з використанням паралельного програмування для підвищення якості управління підприємствами та установами на основі сучасних інформаційних технологій щодо виконання трудомістських завдань.

Результати навчання та компетентності, які формує навчальна дисципліна, подано в табл. 1.

Таблиця 1

Результати навчання та компетентності, які формує навчальна дисципліна

Результати навчання	Компетентності, якими повинен оволодіти здобувач вищої освіти
PH06	СК3, СК11
PH07	СК11, СК13, СК14
PH13	СК3, СК14
PH18	СК3
PH25	ЗК1, ЗК2, СК13, СК15

де, PH06. Уміння вибирати та використовувати відповідну задачі методологію створення програмного забезпечення.

PH07. Знати і застосовувати на практиці фундаментальні концепції, парадигми і основні принципи функціонування мовних, інструментальних і обчислювальних засобів інженерії програмного забезпечення.

PH13. Знати і застосовувати методи розробки алгоритмів, конструювання програмного забезпечення та структур даних і знань.

PH18. Знати та вміння застосовувати інформаційні технології обробки, зберігання та передачі даних.

PH25. Мати знання та навички щодо розроблення програмного забезпечення з використанням технологій розподіленої обробки даних та стандартів паралельних обчислень на кластерних обчислювальних системах.

ЗК01. Здатність до абстрактного мислення, аналізу та синтезу.

ЗК02. Здатність застосовувати знання у практичних ситуаціях.

СК03. Здатність розробляти архітектури, модулі та компоненти програмних систем.

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.

СК15. Здатність використовувати технології та засоби розподіленої обробки даних та паралельних обчислень при розробленні програмного забезпечення.

ПРОГРАМА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

Зміст навчальної дисципліни

Змістовий модуль 1. Технології розподілених систем.

Тема 1. Поняття та класифікація розподілених обчислювальних систем (РОС). 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. Основні терміни та визначення. Напрями застосування новітніх інформаційних технологій у системах колективного використання ресурсів інформаційних систем (ІС).

1.2. Склад та призначення рівнів відкритої архітектури РОС.

Склад та функції 5-рівневої архітектури РОС: рівень застосунку, 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 (на прикладі грід-системи).

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

2.2. Поняття та призначення рівнів 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 та рівнів планувальників завдань у РОС.

3.3. Поняття та класифікація типів та рівнів систем управління ресурсами у РОС.

Тема 4. Інформаційні сервіси та системи РОС. Призначення та побудова інформаційних систем у РОС. Організація інформаційних систем на основі технологій 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».

4.2. Організація моделі даних на основі реляційної моделі R-GMA. Особливості реалізації моделі даних MDS в системі Globus Toolkit.

4.3. 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.

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

Змістовий модуль 2. Технології паралельних обчислень.

Тема 6. Поняття та класифікація паралельних обчислювальних систем (ПОС). Багатопроесорні та багатокомп'ютерні системи. Класифікація Флінна. Принципи організації роботи ПОС.

6.1. Класифікації ПОС.

6.2. Парадигми програмування в ПОС. Паралелізм завдань та паралелізм даних.

6.3. Принципи побудови та організація роботи ПОС зі спільною і розподіленою пам'яттю.

6.4. Типи та основні характеристики топологій середовищ передавання даних.

Тема 7. Моделі паралельного програмування.

7.1. Графові моделі паралельного програмування. Поняття та представлення графа для реалізації паралельної програми. Інформаційні та алгоритмічні залежності.

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

7.3. Парадигма передачі повідомлень між фрагментами програми та результатами. Багатопоточність як засіб реалізації паралельної програми на багатопроесорних та багатоядерних архітектурах.

Тема 8. Виконання багатопотокових програм в ОС.

8.1. Поняття процесу та потоку. Управління потоками та процесами в ОС.

8.2. Засоби обміну даними в ПОС: передача повідомлень у системах з розподіленою пам'яттю. Спільні змінні у системах зі спільною пам'яттю.

Тема 9. Паралельне програмування на основі OpenMP.

9.1. Функціональне налагодження OpenMP-програми.

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

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

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

Тема 10. Паралельне програмування на основі MPI.

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

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

10.3. 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.

10.4. Застосування OpenMPI для розв'язку наукових та інженерних задач.

Перелік лабораторних занять за навчальною дисципліною наведено в табл. 2.

Таблиця 2

Перелік лабораторних занять

Назва теми	Зміст
Тема 1-3, 6. Лабораторна робота № 1	Створення та налаштування вузлів обчислювального кластера.
Тема 1-3, 5. Лабораторна робота № 2	Налаштування системи SLURM на обчислювальному кластері
Тема 1-4, 6. Лабораторна робота № 3	Дослідження побудови обчислювального кластеру та принципів роботи з ним.
Тема 7-9. Лабораторна робота № 4	Паралельне програмування в відкритому стандарті OpenMP та його застосування при розв'язанні системи лінійних алгебраїчних рівнянь (СЛАР).
Тема 7, 8, 10. Лабораторна робота № 5	Паралельне програмування в стандарті MPI.

Перелік самостійної роботи за навчальною дисципліною наведено в табл. 3.

Таблиця 3

Перелік самостійної роботи

Назва теми	Зміст
Тема 1 - 10	Вивчення лекційного матеріалу
Тема 1 - 10	Підготовка до лабораторних занять
Тема 1 - 10	Підготовка до екзамену

Кількість годин лекційних, лабораторних занять та годин самостійної роботи наведено в робочому плані (технологічній карті) з навчальної дисципліни.

МЕТОДИ НАВЧАННЯ

У процесі викладання навчальної дисципліни для набуття визначених результатів навчання, активізації освітнього процесу передбачено застосування таких методів навчання, як:

Словесні (лекції (Тема 1-10), проблемна лекція (Тема 7, 8), лекція-провокація (Тема 3)).

Наочні (демонстрація (Тема 1-10)).

Лабораторна робота (Тема 1 – 10).

ФОРМИ ТА МЕТОДИ ОЦІНЮВАННЯ

Університет використовує 100 бальну накопичувальну систему оцінювання результатів навчання здобувачів вищої освіти.

Поточний контроль здійснюється під час проведення лекційних, лабораторних занять і має на меті перевірку рівня підготовленості здобувача вищої освіти до виконання конкретної роботи і оцінюється сумою набраних балів:

– для дисциплін з формою семестрового контролю **екзамен (іспит):** максимальна сума – 60 балів; мінімальна сума, що дозволяє здобувачу вищої освіти скласти **екзамен (іспит) – 35 балів.**

Підсумковий контроль включає семестровий контроль та атестацію здобувача вищої освіти.

Семестровий контроль проводиться у формі семестрового екзамену (іспиту). Складання семестрового екзамену (іспиту) здійснюється під час екзаменаційної сесії.

Максимальна сума балів, яку може отримати здобувач вищої освіти під час екзамену (іспиту) – 40 балів. Мінімальна сума, за якою екзамен (іспит) вважається складеним – 25 балів.

Підсумкова оцінка за навчальною дисципліною визначається сумуванням балів за поточний та підсумковий контроль.

Під час викладання навчальної дисципліни використовуються наступні контрольні заходи:

Поточний контроль: захист лабораторних робіт (54 бали), письмова контрольна робота (6 балів).

Семестровий контроль: Екзамен (40 балів)

Більш детальну інформацію щодо системи оцінювання наведено в робочому плані (технологічній карті) з навчальної дисципліни.

Приклад екзаменаційного білета та критерії оцінювання для навчальної дисципліни.

Приклад екзаменаційного білета

Харківський національний економічний університет імені Семена Кузнеця

Перший (бакалаврський) рівень

Спеціальність «Інженерія програмного забезпечення»

Освітньо-професійна програма «Інженерія програмного забезпечення».

Семестр 7

Навчальна дисципліна «Розподілені та паралельні обчислення»

ЕКЗАМЕНАЦІЙНИЙ БІЛЕТ № 1

Завдання 1 (діагностичне, 10 балів).

Навести та охарактеризувати склад сервісів відкритої архітектури Open Grid Service Architecture. Наведіть її відмінності у порівнянні з 5-ти рівневою архітектурою розподілених обчислювальних систем.

Завдання 2 (евристичне, 15 балів).

Реалізувати на базі відкритого стандарту OpenMP розв'язання задачі: створити дві матриці розмірності 60 x 60 кожна. Заповнити їх випадковими числами. Вивести значення отриманих матриць. Скласти отримані матриці за допомогою 3-х секцій. Вивести кількість потоків та підсумкову матрицю.

Завдання 3 (евристичне, 15 балів).

Реалізувати на базі технології OpenMPI розв'язання задачі: створити два одновимірних масиви розмірністю 30 в процесах 0 та 3 відповідно. Заповнити їх випадковими числами. Вивести номери процесів і отримані масиви. Передати значення процесів 0 та 3 процесу 1. В процесі 1 розрахувати їх скалярний добуток та повернути результат процесу 0. Вивести номер процесу та результат.

Затверджено на засіданні кафедри інформаційних систем протокол № 1 від « 22 » 08 2023 р.

Екзаменатор

д.т.н., проф. Мінухін С.В.

Зав. кафедрою

к.т.н., доц. Бондаренко Д.О.

Критерії оцінювання

Підсумкові бали за екзамен складаються із суми балів за виконання всіх завдань, що округлені до цілого числа за правилами математики.

Алгоритм вирішення кожного завдання включає окремі етапи, які відрізняються за складністю, трудомісткістю та значенням для розв'язання завдання. Тому окремі завдання та етапи їх розв'язання оцінюються відокремлене один від одного таким чином.

Завдання 1.

Дане завдання оцінюється за 10-бальною шкалою.

Оцінка 10 балів ставиться, якщо здобувачем в повному обсязі наведено склад сервісів відкритої архітектури Open Grid Service Architecture та здійснено порівняння її з 5-ти рівневою архітектурою відповідно до визначених особливостей.

Оцінка 9 балів ставиться, якщо здобувачем в повному обсязі наведено склад сервісів відкритої архітектури Open Grid Service Architecture. Проте у відповіді є певні неточності у визначенні відмінностей у зрівнянні з 5-ти рівневою архітектурою РОС.

Оцінка 8 балів ставиться, якщо здобувачем не в повному обсязі наведено склад сервісів відкритої архітектури Open Grid Service Architecture. Здійснене порівняння з особливостями 5-ти рівневої архітектури РОС, але є неточності щодо їх обґрунтування.

Оцінка 7 балів ставиться, якщо здобувачем не в повному обсязі наведено склад сервісів відкритої архітектури Open Grid Service Architecture. Не в повному обсязі охарактеризовано склад рівнів 5-ти рівневої архітектури.

Оцінка 6 балів ставиться, якщо здобувачем не в повному обсязі та з помилками наведено склад сервісів відкритої архітектури Open Grid Service Architecture. Не в повному обсязі охарактеризовано склад рівнів 5-ти рівневої архітектури РОС.

Оцінка 5 балів ставиться, якщо здобувачем не в повному обсязі та з помилками наведено склад сервісів відкритої архітектури Open Grid Service Architecture. Не в повному обсязі та з неточностями охарактеризовано рівні 5-ти рівневої архітектури ПОС.

Оцінка 4 бали ставиться, якщо здобувачем з помилками наведено склад сервісів відкритої архітектури Open Grid Service Architecture. Не в повному обсязі та з помилками наведено рівні 5-ти рівневої архітектури ПОС.

Оцінка 3 бали ставиться, якщо здобувачем з помилками наведено склад сервісів відкритої архітектури Open Grid Service Architecture. Наявна значна кількість помилок та неточностей при описі 5-ти рівневої архітектури ПОС.

Оцінка 2 бали ставиться, якщо здобувачем невірно наведено склад сервісів відкритої архітектури Open Grid Service Architecture. Наявна значна кількість помилок та неточностей при описі 5-ти рівневої архітектури ПОС.

Оцінка 1 бал ставиться, якщо здобувачем невірно наведено склад сервісів відкритої архітектури Open Grid Service Architecture. Наявний невірний опис рівнів 5-ти рівневої архітектури ПОС.

Оцінка 0 балів ставиться за невиконання завдання загалом.

Завдання 2.

Дане завдання оцінюється за 15-бальною шкалою.

За повністю правильно виконане завдання 1 здобувач отримує оцінку 15 балів, яка складається з наступного:

при наявності програмного коду для рішення задачі без розпаралелення в OpenMP здобувач отримує 3 (три) бали;

при наявності директив розпаралелювання та функцій відкритого стандарту OpenMP в програмі згідно з вказаними у завдання здобувач отримує 3 (три) бали;

при наявності результатів компіляції програми на кластері здобувач отримує 3 (три) бали;

при наявності скрипта для запуску завдання в пакетному режимі на кластері згідно з умовами завдання здобувач отримує 1 (один) бал;

при наявності правильних отриманих результатів виконання завдання на основі використання відкритого стандарту OpenMP у вигляді звіту від менеджера ресурсів здобувач отримує 5 (п'ять) балів.

За відсутності виконання певних пунктів оцінка за це завдання знижується на зазначену кількість балів за відповідним пунктом.

Завдання 3.

Дане завдання оцінюється за 15-бальною шкалою.

За повністю правильно виконане завдання 3 здобувач отримує оцінку 15 балів, яка складається з наступного:

при наявності програмного коду для рішення задачі без розпаралелювання в MPI здобувач отримує 3 (три) бали;

при наявності функцій MPI для розпаралелювання та передачі даних згідно з умовами завдання здобувач отримує 3 (три) бали;

при наявності результатів компіляції програми на кластері здобувач отримує 3 (три) бали;

при наявності скрипта для запуску завдання в пакетному режимі на кластері згідно з умовами завдання здобувач отримує 1 (один) бал;

при наявності правильних результатів виконання завдання на основі використання технології MPI у вигляді звіту від менеджера ресурсів здобувач отримує 5 (п'ять) балів.

За відсутності виконання певних пунктів оцінка за це завдання знижується на зазначену кількість балів за відповідним пунктом.

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. Минайленко Р. М. Паралельні та розподілені обчислення: навч. посіб. – Кропивницький : Видавець Лисенко В. Ф., 2021. – 153 с.
3. Коцовський В. М. Теорія паралельних обчислень: навчальний посібник. / В. М. Коцовський. – Ужгород: ПП «АУТДОР-Шарк», 2021. – 188 с. http://195.230.140.114/jspui/bitstream/123456789/10630/1/Par_rozp_obch_2021.pdf.
4. Комп'ютерні мережі. Лабораторний практикум для студентів спеціальності 122 "Комп'ютерні науки" освітньої програми "Комп'ютерні науки" першого (бакалаврського) рівня [Електронний ресурс] / уклад. С. В. Мінухін, В. П. Коцюба, Ю. В. Савін; Харківський національний економічний університет ім. С. Кузнеця. – Електрон. текстові дан. (9,03 МБ). — Харків : ХНЕУ ім. С. Кузнеця, 2023. – 121 с. – Загол. з титул. екрану. <http://www.repository.hneu.edu.ua/handle/123456789/30794>.
5. Наконечна О. А., Ярмоленко Т. А., Алексеєнко В. В., Якимчук Б. М. Інструктивно-методичні рекомендації з дисципліни «Технології розподілених систем та паралельних обчислень» / уклад.: Оксана Наконечна, Тетяна Ярмоленко, Вікторія Алексеєнко, Богданна Якимчук. Житомир: Вид-во ЖДУ ім. Івана Франка, 2023. – 74 с.
6. Інформатика в сфері комунікацій [Електронний ресурс] : навч.-практ. посіб. : у 3-х ч. Ч. 3 : Використання web-технологій у сфері комунікацій / С. Г. Удовенко, В. А. Затхей, О. В. Гороховатський [та ін.] ; за заг. ред. С. Г. Удовенка; Харківський національний економічний університет ім. С. Кузнеця. - Електрон. текстові дан. (10.5 МБ). - Харків : ХНЕУ ім. С. Кузнеця, 2020. - 154 с. : іл. - Загол. з титул. екрану. - Бібліогр.: с. 153. <http://www.repository.hneu.edu.ua/handle/123456789/24506>.

Додаткова

7. Сучасні інформаційні технології та системи [Електронний ресурс] : монографія / Н. Г. Аксак, Л. Е. Гризун, С. В. Мінухін [та ін.] ; за заг. ред. Пономаренка В. С. – Харків : ХНЕУ ім. С. Кузнеця, 2022. – 270 с. <http://www.repository.hneu.edu.ua/handle/123456789/29233>.
8. Голубничий, Д. Ю. Операційні системи [Електронний ресурс] : навч. посіб. / Д. Ю. Голубничий, А. В. Холодкова ; Харківський національний економічний університет ім. С. Кузнеця. - Електрон. текстові дан. (12,5 МБ). - Харків : ХНЕУ ім. С. Кузнеця, 2018. - 316 с. : іл. - Загол. з титул. екрану. - Бібліогр.: с. 313-315. <http://www.repository.hneu.edu.ua/handle/123456789/23844>.
9. Klemm M., Cownie J. High Performance Parallel Runtimes: Design and Implementation. – Walter de Gruyter GmbH & Co KG, 2021.

Інформаційні ресурси

10. Сайт персональної навчальної системи з навчальної дисципліни «Розподілені та паралельні обчислення» - <https://pns.hneu.edu.ua/course/view.php?id=3833>.

11. The OpenMP API specification for parallel programming. – Режим доступу до ресурсу: <http://openmp.org/wp/openmp-specifications/>.

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

13. Eijkhout Victor. Parallel Programming in MPI and OpenMP. 2nd edition 2022. – Режим доступу до ресурсу : <https://web.corral.tacc.utexas.edu/CompEdu/pdf/pcse/EijkhoutParallelProgramming.pdf>.