

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ КОРАБЛЕБУДУВАННЯ
імені адмірала Макарова

НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ
КОМП'ЮТЕРНИХ НАУК ТА УПРАВЛІННЯ ПРОЄКТАМИ

Кафедра інформаційних управляючих систем та технологій



"ЗАТВЕРДЖУЮ"

Проректор з НІПР
Сергій СЛОБОДЯН

РОБОЧА ПРОГРАМА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ
Program of the Discipline

Технології паралельних обчислень
Technologies of Parallel Computing

рівень вищої освіти: перший (бакалаврський)

тип дисципліни: обов'язкова

мова(и) викладання: українська

Миколаїв – 2025

Робоча програма навчальної дисципліни "Технології паралельних обчислень" є однією із складових комплексної підготовки здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти галузі знань Е "Інформаційні технології" спеціальності ЕЗ "Комп'ютерні науки" освітньої програми "Комп'ютерні науки".
"20" травня 2025 року. – 20 с.

Розробник: Альона ПАВЛЕНКО, старший викладач кафедри інформаційних управляючих систем та технологій, ННІКНУП НУК.

Проект робочої програми навчальної дисципліни "Технології паралельних обчислень" узгоджено з гарантом освітньої програми «Комп'ютерні науки»
Гарант освітньої програми "Комп'ютерні науки"
канд. техн. наук, доцент кафедри інформаційних управляючих систем та технологій _____ /Анатолій ГАЙДА/

Проект робочої програми навчальної дисципліни "Технології паралельних обчислень" розглянуто на засіданні кафедри інформаційних управляючих систем та технологій
Протокол №5 від "21" травня 2025 р.
Завідувач кафедри _____ /Ігор МИХЕЛІСВ/

Проект робочої програми навчальної дисципліни "Технології паралельних обчислень" розглянуто методичною радою Навчально-наукового інституту комп'ютерних наук та управління проєктами
Протокол №5 від "21" травня 2025 р.
Голова _____ /Тетяна ФАРІОНОВА/

Проект робочої програми навчальної дисципліни "Технології паралельних обчислень" погоджено з навчальним відділом
Начальник відділу _____ /Андрій ЛАБАРТКАВА/

Робоча програма навчальної дисципліни "Технології паралельних обчислень" затверджена Навчально-методичною радою НУК.
Протокол №6 від "25" червня 2025 р.
Голова НМР НУК _____ /Сергій СЛОБОДЯН/

© Альона Павленко, 2025 рік
© НУК, 2025 рік

Зміст

Вступ.....	4
1. Опис навчальної дисципліни	6
2. Мета вивчення навчальної дисципліни	7
3. Передумови для вивчення дисципліни	7
4. Очікувані результати навчання	8
5. Програма навчальної дисципліни.....	9
6. Методи навчання, засоби діагностики результатів навчання та методи їх демонстрування	12
7. Форми поточного та підсумкового контролю.....	13
8. Критерії оцінювання результатів навчання.....	16
9. Інструменти, обладнання та програмне забезпечення, використання яких передбачає навчальна дисципліна	17
10. Рекомендовані джерела інформації	18
11. Зміни та доповнення	20

Вступ

Анотація

Навчальна дисципліна "Технології паралельних обчислень" є однією із складових комплексної підготовки здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти галузі знань F "Інформаційні технології" спеціальності F3 "Комп'ютерні науки" освітньої програми "Комп'ютерні науки".

Дисципліна спрямована на вивчення фундаментальних принципів організації та проектування паралельних обчислень у сучасних обчислювальних системах. Розглядаються моделі паралельних обчислень, архітектури багатопроцесорних систем зі спільною та розподіленою пам'яттю, а також основи ефективного використання багатоядерних процесорів. Особлива увага приділяється практичному програмуванню паралельних задач мовою Java із використанням потоків виконання, механізмів синхронізації, а також сучасних засобів паралельного програмування. У результаті вивчення дисципліни здобувачі набувають компетентностей щодо розробки, аналізу та оптимізації паралельних програм, оцінювання їх продуктивності, масштабованості та ефективності із застосуванням сучасних методів профілювання та аналізу обчислювальних систем.

Ключові слова: комп'ютерні науки, паралельні обчислення, багатопотокове програмування, Java, конкурентність, синхронізація потоків, багатоядерні системи, архітектури пам'яті, Fork/Join, Executor Framework, продуктивність обчислень, масштабованість, HPC.

Abstract

The educational discipline "Technologies of parallel computing" is one of the components of the comprehensive training of applicants of the first (bachelor's) level of higher education in the field of knowledge F "Information technologies" specialty F3 "Computer science" of the educational program "Computer" computer sciences".

The discipline is aimed at studying the fundamental principles of organization and design of parallel computing in modern computing systems. It covers models of parallel computation, architectures of multiprocessor systems with shared and distributed memory, as well as the fundamentals of efficient utilization of multicore processors. Special attention is paid to practical programming of parallel tasks in Java using execution threads, synchronization mechanisms, and modern parallel programming tools. As a result of studying the discipline, students acquire competencies in the development, analysis, and optimization of parallel programs, as well as in evaluating their performance, scalability, and efficiency using modern profiling and computational system analysis methods.

Keywords: computer science, parallel computing, multithreaded programming, Java, concurrency, thread synchronization, multicore systems, memory architectures, Fork/Join, Executor Framework, computational performance, scalability, HPC.

1. Опис навчальної дисципліни

Таблиця 1.1.

Опис навчальної дисципліни

Найменування показників	Галузь знань, спеціальність (освітня програма), освітній рівень	Характеристика навчальної дисципліни	
		Денна форма навчання	Заочна форма навчання
Кількість кредитів – 4	Галузь знань: <i>F "Інформаційні технології"</i>	Обов'язкова	
Модулів – 1		Рік підготовки:	
Змістових модулів – 3		3-й	3-й
Електронна адреса РПНД на сайті Університету:	Спеціальність <i>F3 «Комп'ютерні науки»</i> Освітня програма <i>Комп'ютерні науки</i>	Семестр	
Індивідуальне науково-дослідне завдання (не заплановано)		5-й	5-й
		Лекцій	
		15 год.	6 год.
Загальна кількість годин – 120		Практичні, семінарські	
		- год.	- год.
		Лабораторні	
		30 год.	14 год.
Тижневих годин для денної форми навчання: аудиторних – 3; самостійної роботи студента – 5.	Освітній рівень: <i>перший (бакалаврський)</i>	Самостійна робота	
		75 год.	100 год.
		Індивідуальні завдання: - год.	
		Вид контролю: екзамен	
		Форма контролю: комбінована	

2. Мета вивчення навчальної дисципліни

Робоча програма навчальної дисципліни "Технології паралельних обчислень" складена відповідно до освітньо-професійної програми підготовки здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти галузі знань F "Інформаційні технології" спеціальності F3 «Комп'ютерні науки» освітньої програми (ОП) «Комп'ютерні науки». Для зазначеної ОП дисципліна є **обов'язковою**.

Метою вивчення дисципліни "Технології паралельних обчислень" є формування у студентів відповідно до освітньо-професійної програми таких компетентностей:

ЗК1. Здатність до абстрактного мислення, аналізу та синтезу.

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

СК4. Здатність використовувати сучасні методи математичного моделювання об'єктів, процесів і явищ, розробляти моделі й алгоритми чисельного розв'язування задач математичного моделювання, враховувати похибки наближеного чисельного розв'язування професійних задач.

СК5. Здатність здійснювати формалізований опис задач дослідження операцій в організаційно-технічних і соціально-економічних системах різного призначення, визначати їх оптимальні розв'язки, будувати моделі оптимального управління з урахуванням змін економічної ситуації, оптимізувати процеси управління в системах різного призначення та рівня ієрархії.

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.

3. Передумови для вивчення дисципліни

Курс «Технології паралельних обчислень» базується на дисциплінах «Алгоритмізація та програмування», «Структури та організація даних», «Технології

об'єктно-орієнтованого проектування», «Організація баз даних та знань». Для розуміння тематики дисципліни студенти повинні мати знання з основ програмування та алгоритмічних мов, досвід використання систем та інструментальних засобів програмування, знати об'єктно-орієнтовані мови програмування.

4. Очікувані результати навчання

Вивчення навчальної дисципліни передбачає формування та розвиток у студентів таких результатів навчання:

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.

ПР5. Проєктувати, розробляти та аналізувати алгоритми розв'язання обчислювальних та логічних задач, оцінювати ефективність та складність алгоритмів на основі застосування формальних моделей алгоритмів та обчислюваних функцій.

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.

ПР17. Виконувати паралельні та розподілені обчислення, застосовувати чисельні методи та алгоритми для паралельних структур, мови паралельного програмування при розробці та експлуатації паралельного та розподіленого програмного забезпечення.

5. Програма навчальної дисципліни

Модуль 1.

Змістовий модуль 1. Основи паралельних обчислень.

Тема 1. Вступ до паралельних обчислень.

Поняття паралельних та розподілених обчислень. Відмінності між конкурентним, паралельним і розподіленим виконанням програм. Області застосування паралельних обчислень. Основні моделі обчислень. Класифікація задач, що піддаються паралелізації [1, 2, 3].

Тема 2. Архітектури та апаратні засоби паралельних обчислювальних систем.

Класифікація багатопроцесорних обчислювальних систем. Архітектури високопродуктивних обчислень. Багатоядерні процесори та багатопроцесорні системи. Архітектури SIMD та MIMD. Системи зі спільною та розподіленою пам'яттю як моделі організації паралельних обчислень. Апаратні засоби високопродуктивних обчислень [1, 7].

Тема 3. Теоретичні основи та базові алгоритми паралельних обчислень.

Основні поняття теорії паралельних обчислень. Типи паралелізму. Декомпозиція задач. Залежності даних. Побудова паралельних алгоритмів. Принципи розподілу обчислювального навантаження. Основні показники ефективності паралельних алгоритмів [1, 3].

Змістовий модуль 2. Паралельне програмування.

Тема 4. Засоби розробки паралельних програм мовою Java.

Програмні засоби підтримки паралельних обчислень. Потoki виконання у Java. Клас Thread та інтерфейс Runnable. Життєвий цикл потоків. Організація багатопотокового виконання програм [5, 6].

Тема 5. Синхронізація потоків та спільне використання ресурсів.

Проблеми синхронізації у багатопотокових системах. Спільне використання ресурсів. Засоби синхронізації потоків у Java. Блокування та механізми взає-

много виключення. Deadlock, livelock, starvation та race condition. Бар'єри синхронізації та засоби координації потоків [5, 6, 10].

Тема 6. Сучасні засоби паралельного програмування мовою Java.

Executor Framework. Пули потоків. Fork/Join Framework. Parallel Streams. Concurrent Collections. Асинхронне виконання задач. Організація високопродуктивних багатопотокових застосунків [5, 6].

Змістовий модуль 3. Ефективність та сучасні технології паралельних обчислень.

Тема 7. Оцінка ефективності паралельних обчислень.

Показники продуктивності паралельних систем. Прискорення та ефективність паралельних алгоритмів. Закони Амдала та Густафсона. Масштабованість паралельних програм. Аналіз продуктивності та оптимізація паралельних застосунків [1, 2, 3].

Тема 8. Сучасні технології високопродуктивних обчислень.

Кластерні системи та високопродуктивні обчислення. Основи організації обчислень у системах з розподіленою пам'яттю. Огляд MPI. Паралельні обчислення на сучасних архітектурах процесорів. Перспективні напрями розвитку паралельних технологій [7, 9, 10].

Таблиця 5.1.

Тематичний план навчальної дисципліни

Назви змістових модулів і тем	Кількість годин									
	денна форма					заочна форма				
	усього	у тому числі				усього	у тому числі			
		лек	прак	лаб	с.р.		лек	прак	лаб	с.р.
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Модуль 1 Технології паралельних обчислень										
Змістовий модуль 1. Основи паралельних обчислень.										
Тема 1. Вступ до паралельних обчислень.	7	2	0	0	5	10	0	0	0	10
Тема 2. Архітектури та апаратні засоби паралельних обчислювальних систем.	7	2	0	0	5	10	0	0	0	10

Продовження таблиці 5.1										
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Тема 3. Теоретичні основи та базові алгоритми паралельних обчислень.	12	2	0	2	8	13	1	0	2	10
Разом за змістовим модулем 1	26	6	0	2	18	33	1	0	2	30
Змістовий модуль 2. Паралельне програмування.										
Тема 4. Засоби розробки паралельних програм мовою Java.	20	2	0	6	12	17	1	0	2	14
Тема 5. Синхронізація потоків та спільне використання ресурсів.	20	2	0	6	12	19	1	0	2	16
Тема 6. Сучасні засоби паралельного програмування мовою Java.	22	2	0	8	12	17	1	0	2	14
Разом за змістовим модулем 2	62	6	0	20	36	53	3	0	6	44
Змістовний модуль 3. Ефективність та сучасні технології паралельних обчислень.										
Тема 7. Оцінка ефективності паралельних обчислень.	17	2	0	4	11	18	1	0	3	14
Тема 8. Сучасні технології високопродуктивних обчислень.	15	1	0	4	10	16	1	0	3	12
Разом за змістовим модулем 3	32	3	0	8	21	34	2	0	6	26
Усього годин	120	15	0	30	75	120	6	0	14	100

Таблиця 5.2

Теми лабораторних занять

№ з/п	Назва теми	Кількість годин (денна)	Кількість годин (заочна)
Змістовий модуль 1. Основи паралельних обчислень.			
1	Багатопотокові програми Java	2	2
Разом за змістовим модулем 1		2	2
Змістовий модуль 2. Паралельне програмування.			
2	Синхронізація потоків	6	2
3	Executor Framework і пул потоків	6	2
4	Fork/Join і рекурсивна декомпозиція задач	8	2
Разом за змістовим модулем 2		20	6
Змістовний модуль 3. Ефективність та сучасні технології паралельних обчислень.			
5	Асинхронні обчислення (CompletableFuture)	4	3
6	Оцінка ефективності	4	3
Разом за змістовим модулем 3		8	6
Разом		30	14

Теми практичних занять

Не заплановані.

Самостійна робота

Таблиця 5.3

Завдання для самостійної роботи

№ з/п	Назва теми	Кількість Годин	
		Денна форма	Заочна форма
1	Підготовка до лекцій	8	10
2	Підготовка до лабораторних робіт	12	30
3	Вивчення рекомендованої літератури, термінів і основних понять з тем навчальної дисципліни	20	30
4	Підготовка до модульних контрольних робіт	35	30
	Разом	75	100

Індивідуальне науково-дослідне завдання

Не заплановано.

6. Методи навчання, засоби діагностики результатів навчання та методи їх демонстрування

Набуття здобувачами компетенцій забезпечується через засвоєння навчального матеріалу у вигляді лекційних, лабораторних занять, самостійної роботи студентів та контрольних тестових робіт програмованого типу.

Основними методами навчання з дисципліни є:

1. **Пояснювально-ілюстративний метод**, коли знання не просто повідомляють, а пояснюють, обґрунтовують, коментують. Робиться все, щоб було менше механічного запам'ятовування, а більше розуміння сутності. Метод навчання пов'язаний з використанням засобів наочності.

2. Проблемний метод, основа якого полягає в утворенні у навчальному процесі пошукових ситуацій. Проблемний метод навчання розвиває активність, самостійність, творчі здібності.

3. Репродуктивний метод навчання, спрямований на відтворення учнем способів діяльності за визначеним учителем алгоритмом.

Як наочний матеріал на лекціях застосовуються мультимедійні слайди та лекційні демонстрації.

Для зручної та ефективної організації навчального процесу, зроблено Classroom з навчальної дисципліни, де розташовані завдання до лабораторних робіт та супроводжувальні матеріали. Доступ до класу надається на першому лабораторному занятті за університетською електронною поштою.

З метою роз'яснення найбільш складних питань дисципліни та підвищення якості виконання лабораторних завдань проводяться групові та індивідуальні консультації за розкладом кафедри.

Під час карантину заняття повністю проводяться дистанційно у Classroom.

Засобами діагностики результатів навчання та **методами їх демонстрування** є:

- виконання завдань лабораторних робіт;
- оформлення звітів лабораторних робіт, захист лабораторних робіт;
- розв'язання завдань;
- контрольні тестові роботи програмованого типу.

7. Форми поточного та підсумкового контролю

Досягнення студента оцінюються за 100-бальною системою університету.

Підсумкова оцінка навчального курсу включає в себе оцінки з поточного контролю та результату складання екзамену.

Поточний контроль проводиться на кожному лабораторному занятті, за результатами виконання завдань самостійної роботи та у вигляді модульної контрольної роботи по завершенню змістовного модулю. Він передбачає оцінювання теоретичної підготовки здобувачів вищої освіти із зазначеної теми (у тому числі, самостійно опрацьованого матеріалу) під час виконання завдань лабораторних робіт.

Форма контролю **комбінована**:

- письмова (оформлення звітів, письмові відповіді на контрольні питання виконання завдань);

- усна (відповіді на контрольні питання до лабораторних робіт, захист рефератів);
- тестова (модульні контрольні тестові роботи програмованого типу, виконання завдань).

Виходячи з того, що головною метою курсу є формування практичних навичок, вирішальним фактором підсумкового оцінювання є якість виконання лабораторних робіт, які є допуском до модульних контрольних тестових робіт програмованого типу.

Оцінка за лабораторну роботу складається з оцінки якості виконання завдань лабораторної роботи (табл. 7.1) та оцінки захисту – оформлення звіту, усні та письмові відповіді на контрольні питання (табл. 7.2).

Максимальна оцінка з тих що студент отримав на екзамені та за виконання поточних семестрових лабораторних робіт виставляється в екзаменаційну відомість.

Таблиця 7.1

Форми контролю виконання лабораторних робіт, їх оцінювання

Виконання лабораторних робіт	Критерії оцінювання
5	Робота виконана у встановлений термін. Виконана самостійно, чітко сформульовані цілі, завдання та гіпотеза досліджень. Застосовувалися коректні методи обробки отриманих результатів. У висновках проведена коректна інтерпретація результатів
4	Робота виконана у встановлений термін. Студент виконує лабораторну роботу згідно з інструкцією, іноді після консультації викладача; описує спостереження; в цілому правильно складає звіт та робить висновки.
3	Робота виконана з порушенням встановлених термінів. Студент виконує лабораторну роботу згідно з інструкцією, іноді після консультації викладача; описує спостереження; складає звіт, що містить неточності у висновках та помилки.
2	Робота виконана з порушенням встановлених термінів. Студент виконує лабораторну згідно з інструкцією; складений звіт містить неточності у висновках та помилки.
1	Робота виконана з порушенням встановлених термінів. Студент виконує лабораторну під керівництвом викладача; складений звіт містить неточності у висновках та помилки.
0	Робота не виконувалася.

Таблиця 7.2

Форми контролю захисту лабораторних робіт, їх оцінювання

Захист лабораторних робіт	Критерії оцінювання
5	Відповідь правильна, повна, логічна, містить аналіз, систематизацію, узагальнення, використані міжпредметні зв'язки, містить аргументовані висновки.
4	Відповідь в цілому правильна, достатньо повна, логічна; допущені несуттєві помилки та неточності у викладенні матеріалу
3	Відповідь частково правильна, містить неточності, недостатньо обґрунтована.
2	Відповідь має суттєві помилки, аргументи несформульовані, використовуються невірна термінологія.
1	Відповідь містить значну кількість суттєвих помилок, не обґрунтована.
0	Студент не дає відповіді.

Максимальна оцінка студента за виконання та захист лабораторних робіт - 60 балів (6 лабораторних робіт по 5+5 балів).

Максимальна оцінка студента за модульні контрольні тестові роботи програмованого типу 30 балів (3 модульні контрольні тестові роботи програмованого типу по 10 балів).

Таблиця 7.3

Розподіл балів за формами контролю

Форма контролю	Максимальна кількість балів	
	Денна форма	Заочна форма
Виконання лабораторних робіт	6 x 5 балів = 30 балів	6 x 5 балів = 30 балів
Захист лабораторних робіт	6 x 5 балів = 30 балів	6 x 5 балів = 30 балів
Виконання модульних контрольних тестових робіт	3 x 10 балів = 30 балів	3 x 10 балів = 30 балів
Всього	100	100

8. Критерії оцінювання результатів навчання

Таблиця 8.1

Критерії оцінювання результатів навчання

		Денна форма		Заочна форма	
		Вид роботи	Бали	Вид роботи	Бали
ЗМ 1	Т 3	Лабораторна № 1	5	Лабораторна № 1	5
	Т 3	Захист лабораторної роботи № 1	5	Захист лабораторної роботи № 1	5
	МК1	Модульна контрольна робота № 1	10	Модульна контрольна робота № 1	10
ЗМ 2	Т 4	Лабораторна № 2	5	Лабораторна № 2	5
	Т 4	Захист лабораторної роботи № 2	5	Захист лабораторної роботи № 2	5
	Т 5	Лабораторна № 3	5	Лабораторна № 3	5
	Т 5	Захист лабораторної роботи № 3	5	Захист лабораторної роботи № 3	5
	Т 6	Лабораторна № 4	5	Лабораторна № 4	5
	Т 6	Захист лабораторної роботи № 4	5	Захист лабораторної роботи № 4	5
	МК2	Модульна контрольна тестова робота № 2	10	Модульна контрольна тестова робота № 2	10
ЗМ 3	Т 7	Лабораторна № 5	5	Лабораторна № 5	5
	Т 7	Захист лабораторної роботи № 5	5	Захист лабораторної роботи № 5	5
	Т 8	Лабораторна № 6	5	Лабораторна № 6	5
	Т 8	Захист лабораторної роботи № 6	5	Захист лабораторної роботи № 6	5
	МК3	Модульна контрольна тестова робота № 3	10	Модульна контрольна тестова робота № 3	10
Сума			100	Сума	100

9. Інструменти, обладнання та програмне забезпечення, використання яких передбачає навчальна дисципліна

Технічні засоби навчання: мультимедійний проєктор, персональні комп'ютери з підключенням до мережі Інтернет.

Комп'ютерні засоби навчання: Google Workspace.

10. Рекомендовані джерела інформації

Основна

1. Минайленко Р.М. Паралельні та розподілені обчислення : навч. посіб. – Кропивницький : Видавець Лисенко В.Ф., 2021. – 153 с.
2. Семеренко В.П. Технології паралельних обчислень : навч. посіб. – Вінниця : ВНТУ, 2018. – 104 с.
3. Жуков І., Корочкін О. Паралельні та розподілені обчислення : навч. посіб. – Київ : Корнійчук, 2014. – 284 с.
4. Кузьма К.Т., Мельник О.В. Паралельні та розподілені обчислення : навч. посіб. – Миколаїв : ФОП Швець В.М., 2020. – 172 с.
5. Cay S. Horstmann. Modern Concurrency in Java. – Manning Publications, 2024. – 480 p.
6. Jay Wang. Java Concurrency and Parallelism. – Packt Publishing, 2024. – 496 p.

Допоміжна

7. Maarten van Steen, Andrew S. Tanenbaum. Distributed Systems (3rd ed.). – Pearson, 2017. – 596 p.
8. Raoul-Gabriel Urma, Mario Fusco, Alan Mycroft. Java 8 in Action. – Manning, 2015. – 424 p.
9. Unmesh Joshi. Patterns of Distributed Systems. – Addison-Wesley, 2023. – 464 p.
10. Andrew S. Tanenbaum, Herbert Bos. Modern Operating Systems. – Pearson, 2015. – 1100+ p.
11. Philip Meitiner, Pradeeka Seneviratne. Beginning Data Science, IoT, and AI on Single Board Computers. – Apress, 2020. – 334 p.
12. Освітньо-професійна програма «Комп'ютерні науки» підготовки здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти галузі знань F"Інформаційні технології" спеціальності F3 «Комп'ютерні науки» [Режим доступу: <https://nuos.edu.ua/wp-content/uploads/2025/09/F3.Kompjuterni-nauki.Bakalavr.Osvitnya-programa.2025.pdf>]

Інформаційні ресурси в Internet

13. Argonne National Laboratory, Center for Computational Science and Technology [Electronic resource]. – Access mode: <http://www.mcs.anl.gov>
14. Netlib Mathematical Software Repository [Electronic resource]. – Access mode: <http://netlib.org>
15. National Institute of Standards and Technology (NIST) – Standards and Guidelines [Electronic resource]. – Access mode: <https://www.nist.gov>
16. OpenMP Official Documentation [Electronic resource]. – Access mode: <https://www.openmp.org>
17. OpenJDK Documentation (Java Concurrency and Parallelism API) [Electronic resource]. – Access mode: <https://openjdk.org>

11. Зміни та доповнення