

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Львівський національний університет імені Івана Франка
Факультет прикладної математики та інформатики
Кафедра обчислювальної математики

Затверджено

на засіданні
кафедри обчислювальної математики
факультету прикладної математики та
інформатики
Львівського національного університету
імені Івана Франка
(протокол № 6 від 21 грудня 2023 р.)

Завідувач кафедри



Роман ХАПКО

Силабус з навчальної дисципліни
«Методи паралельних обчислень»,
що викладається в межах ОПІ Прикладна математика
другого (магістерського) рівня вищої освіти для здобувачів
зі спеціальності 113 Прикладна математика

Львів 2023 р.

Назва дисципліни	Методи паралельних обчислень
Адреса викладання дисципліни	Головний корпус ЛНУ ім. І. Франка м. Львів, вул. Університетська 1
Факультет та кафедра, за якою закріплена дисципліна	Факультет прикладної математики та інформатики Кафедра обчислювальної математики
Галузь знань, шифр та назва спеціальності	11 Математика та статистика 113 Прикладна математика
Викладачі дисципліни	Ярмола Галина Петрівна, доцент кафедри обчислювальної математики, Недашківська Анастасія Миколаївна, доцент кафедри обчислювальної математики.
Контактна інформація викладачів	halyna.yarmola@lnu.edu.ua ; https://ami.lnu.edu.ua/employee/yarmola ; anastasiya.nedashkovska@lnu.edu.ua , https://ami.lnu.edu.ua/employee/nedashkovska . Головний корпус ЛНУ ім. І. Франка, каб. 262. м. Львів, вул. Університетська, 1
Консультації з питань навчання по дисципліні відбуваються	Консультації в день проведення лекцій/лабораторних занять (за попередньою домовленістю).
Сторінка курсу	https://ami.lnu.edu.ua/course/metody-paralelnyh-obchyslen-prykladna-matematyka
Інформація про дисципліну	Дисципліна “Методи паралельних обчислень” є нормативною дисципліною з спеціальності 113 – прикладна математика для освітньої програми Прикладна математика, яка викладається в 2-му семестрі (4,5 кредити ECTS).
Коротка анотація дисципліни	Курс розроблено таким чином, щоб ознайомити студентів з підходами до розпаралелювання алгоритмів для розв’язування різних класів задач і дослідження основних показників паралельних алгоритмів та роз’яснити нюанси реалізації цих алгоритмів.
Мета та цілі дисципліни	Метою вивчення нормативної дисципліни “Методи паралельних обчислень” є освоєння студентами основ розпаралелювання обчислень в алгоритмах, аналізу показників паралельних алгоритмів та принципів програмної реалізації паралельних алгоритмів.
Література для вивчення дисципліни	Основна література 1. Grama Ananth (Author), Anshul Gupta (Author), George Karypis (Author), Vipin Kumar (Author) Introduction to Parallel Computing 2nd Edition. Addison-Wesley, 2003 664 p. (http://srmcse.weebly.com/uploads/8/9/0/9/8909020/introduction_to_parallel_computing_second_edition-ananth_grama..pdf) 2. Introduction to Parallel Computing Tutorial - https://hpc.llnl.gov/training/tutorials/introduction-parallel-computing-

	<p>tutorial</p> <ol style="list-style-type: none"> 3. Mukai H. Parallel algorithms for solving systems of nonlinear equations // Computers & Mathematics with Applications. – Vol. 7, Iss 3. – 1981. – P. 235-250. 4. Ortega J. Introduction to Parallel and Vector Solution of Linear Systems, Plenum, New York (1988). 5. Pacheco P.S. An introduction to parallel programming Morgan Kaufmann; 1st edition (January 21, 2011) 392 p 6. Коцовський В.М. Теорія паралельних обчислень. – Ужгород: ПП«АУТДОР–Шарк», 2021. – 188 с <p>Додаткова література</p> <ol style="list-style-type: none"> 7. Семеренко В.П. Технології паралельних обчислень: навчальний посібник. – Вінниця : ВНТУ, 2018. – 104 с. 8. Matloff Norm. Programming on Parallel Machines http://heather.cs.ucdavis.edu/matloff/public_html/158/PLN/ParProcBook.pdf 9. http://eprints.library.odeku.edu.ua/id/eprint/695/1/RolshchikovVB_Distributed_Systems_Technology_And_Parallel_Computing_Module_1_KL_2018.pdf. 10. Rauber T., Rünger G. Parallel Programming Models. In: Parallel Programming. Springer, Cham, 2023. https://doi.org/10.1007/978-3-031-28924-8_3.
Обсяг курсу	Загальний обсяг: 135 годин (аудиторних занять: 48 год., з них 32 год. лекцій та 16 год. лабораторних робіт; самостійної роботи: 87 год).
Очікувані результати навчання	<p>Після завершення цього курсу студент буде :</p> <p>Знати підходи до розпаралелювання базових алгоритмів та деяких чисельних методів.</p> <p>Вміти: виконувати елементарні вправи з розпаралелювання алгоритмів; реалізовувати (програмно) паралельні алгоритми.</p> <p>Курс забезпечує набуття таких компетентностей та програмних результатів навчання:</p> <p>Загальні компетентності:</p> <ul style="list-style-type: none"> - ЗК01. Здатність до абстрактного мислення, аналізу та синтезу. - ЗК04. Здатність генерувати нові ідеї (креативність). <p>Спеціальні компетентності:</p> <ul style="list-style-type: none"> - СК01. Знання принципів побудови та дослідження математичних моделей, а також чисельних методів їх розв'язування. - СК05. Здатність програмної реалізації алгоритмів на одній з мов програмування. - СК06. Здатність розробити архітектуру та дизайн програм, використовуючи необхідні структури даних. - СК07. Здатність відлагоджувати комп'ютерні програми зі складною логікою. - СК08. Валідація та верифікація отриманих результатів. - СК09. Здатність підвищувати ефективність обчислювальних схем та алгоритмів. - СК13. Знання сучасних та перспективних технологій обчислень та програмування. <p>Програмні результати навчання:</p> <ul style="list-style-type: none"> - ПРН02. Застосовувати, модифікувати і досліджувати чисельні методи для розв'язування прикладних задач. - ПРН03. Розробляти та програмно реалізовувати алгоритми розв'язування прикладних задач.

	<ul style="list-style-type: none"> - ПРН06. Визначати найбільш ефективний метод розв'язування задачі з точки зору обчислювальних затрат та точності отриманих результатів. - ПРН13. Розуміти, аналізувати і застосовувати на практиці актуальні та перспективні моделі обчислень, а також технології програмування. 																																				
Ключові слова	Паралельні комп'ютери, багатоядерність, багатопроцесорність, паралельні обчислення, схеми з'єднань, граф алгоритму, шарова схема зберігання.																																				
Формат курсу	Очний. Проведення лекцій, лабораторних занять і консультацій.																																				
Теми	Подано нижче у таблиці Схема курсу «Методи паралельних обчислень»																																				
Підсумковий контроль, форма	Іспит.																																				
Пререквізити	Для вивчення курсу студенти потребують базових знань з програмування, алгебри, алгоритмів сортування, графів і алгоритмів їх обробки, чисельних методів лінійної алгебри, розв'язування нелінійних рівнянь та систем, чисельного інтегрування.																																				
Навчальні методи та техніки, які будуть використовуватися під час викладання курсу	Презентації, лекції (лекція-розповідь, лекція-бесіда) Індивідуальні завдання.																																				
Необхідне обладнання	Комп'ютер із програмним забезпеченням Visual Studio, доступ до Internet мережі.																																				
Критерії оцінювання (окремо для кожного виду навчальної діяльності)	<p>Оцінювання проводиться за 100-бальною шкалою.</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <thead> <tr> <th colspan="2" rowspan="2">Оцінка за шкалою ECTS</th> <th rowspan="2">Оцінка в балах</th> <th colspan="2">Оцінка за національною шкалою</th> <th rowspan="2">залик</th> </tr> <tr> <th colspan="2">Екзамен, диференційований залик</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>A</td> <td>Відмінно</td> <td>100 - 90</td> <td>Відмінно</td> <td>5</td> <td rowspan="4">зараховано</td> </tr> <tr> <td>B</td> <td>Дуже добре</td> <td>81- 89</td> <td rowspan="2">Добре</td> <td rowspan="2">4</td> </tr> <tr> <td>C</td> <td>Добре</td> <td>71 -80</td> </tr> <tr> <td>D</td> <td>Задовільно</td> <td>61 - 70</td> </tr> <tr> <td>E</td> <td>Достатньо</td> <td>51- 60</td> <td>Задовільно</td> <td>3</td> <td rowspan="2">не зараховано</td> </tr> <tr> <td>FX (F)</td> <td>Незадовільно</td> <td>0 - 50</td> <td>Незадовільно</td> <td>2</td> </tr> </tbody> </table> <p>Поточне оцінювання: впродовж семестру студент може отримати 50 балів. З них: - за роботу на лабораторних заняттях: максимальна кількість– 35 балів (завдання №1 – 5б, завдання № 2, 5 – 6б, завдання №3 – 8б, завдання № 4 – 10б). Для кожного завдання встановлено терміни здачі. Роботи, які</p>	Оцінка за шкалою ECTS		Оцінка в балах	Оцінка за національною шкалою		залик	Екзамен, диференційований залик		A	Відмінно	100 - 90	Відмінно	5	зараховано	B	Дуже добре	81- 89	Добре	4	C	Добре	71 -80	D	Задовільно	61 - 70	E	Достатньо	51- 60	Задовільно	3	не зараховано	FX (F)	Незадовільно	0 - 50	Незадовільно	2
Оцінка за шкалою ECTS					Оцінка в балах	Оцінка за національною шкалою		залик																													
		Екзамен, диференційований залик																																			
A	Відмінно	100 - 90	Відмінно	5	зараховано																																
B	Дуже добре	81- 89	Добре	4																																	
C	Добре	71 -80																																			
D	Задовільно	61 - 70																																			
E	Достатньо	51- 60	Задовільно	3	не зараховано																																
FX (F)	Незадовільно	0 - 50	Незадовільно	2																																	

здаються із порушенням термінів без поважних причин, оцінюються на нижчу оцінку (кожне лабораторне заняття на 1-2б. менше).

- **колоквіум:** максимальна кількість– **15** балів (10 тестових завдань по 1б. та 1 практичне завдання – 5б.).

Підсумкове оцінювання проводиться у вигляді письмового екзамену (50 балів: 20 тестових завдань по 1б. та 3 теоретичні/практичні завдання по 10б.).

Загалом протягом семестру 100 балів.

Критерії оцінювання завдання №1:

5 балів – студент повністю розкрив тему доповіді, схема доповіді логічна, впевнено відповідає на всі запитання, які пов'язані з тематикою доповіді та демонструє глибокі знання;

3-4 бали – студент повністю розкрив тему доповіді з незначними неточностями, схема доповіді логічна, відповідає на більшість запитань, які пов'язані з тематикою доповіді;

1-2 бали – студент в основному розкрив тему доповіді з незначними неточностями, демонструє слабкі знання, відповідає лише на окремі запитання, які пов'язані з тематикою доповіді;

0 балів – студент не підготував доповіді або тему доповіді не розкрито і під час захисту студент не може відповісти на жодне запитання за тематикою доповіді.

Критерії оцінювання завдань №2-5:

№ 2, 5 (6балів)	№ 3 (8балів)	№ 4 (10балів)	Критерії оцінювання
6балів	8 балів	10 балів	студент повністю виконав умови завдання, алгоритм реалізовано правильно, відповідає на всі запитання, пов'язані з тематикою завдання, проводить чіткий аналіз та порівняння отриманих результатів, пропонує інші підходи до вирішення поставленого завдання;
5 балів	6-7 балів	8-9 балів	студент повністю виконав умови завдання, на деякі запитання, алгоритм реалізовано правильно, пов'язані з тематикою завдання, відповідає з незначними неточностями, проводить аналіз отриманих результатів з незначними неточностями;
4 бали	4-5 балів	6-7 балів	студент виконав завдання з незначними помилками, але самостійно їх виправляє, якщо на них вкаже викладач, на деякі запитання, пов'язані з тематикою завдання, відповідає з неточностями, проводить аналіз отриманих результатів з неточностями;
3 бали	3 бали	4-5 бали	студент виконав завдання частково, алгоритм реалізовано з помилками, які частково може виправити, якщо на них вкаже викладач, на запитання відповідає з помилками, проводить

			аналіз отриманих результатів з помилками;
2 бали	2 бали	2-3 бали	студент виконав завдання частково, алгоритм реалізовано з помилками, які самостійно не може виправити, переважно не відповідає на запитання;
1 бал			студент виконав завдання частково або з грубими помилками, які самостійно не може виправити, демонструє незнання матеріалу;
0 балів			студент не виконав завдання.

Критерії оцінювання тестових завдань (колоквіум, екзамен):

1 бал: відповідь на завдання правильна;

0 балів: відповідь на завдання неправильна.

Критерії оцінювання теоретичних/практичних завдань (колоквіум, екзамен):

Колоквіум (5балів)	Екзамен (10балів)	Критерії оцінювання
5 балів	10 балів	студент правильно виконав практичне завдання; вільно володіє навчальним матеріалом, чітко розкриває зміст теоретичних питань;
4 бали	7-9 балів	студент виконав завдання з незначними помилками (на кінцевому етапі), але алгоритм розв'язування знає і вміє його застосовувати;; добре володіє навчальним матеріалом, розкриває повністю зміст теоретичних питань з незначними неточностями;
3 бали	4-6 балів	студент виконав завдання з помилками, алгоритм виконання, в основному, знає; володіє навчальним матеріалом на достатньому рівні, розкриває зміст теоретичних питань невичерпно та з неточностями, виникають труднощі під час аналізу матеріалу;
1-2 бали	1-3 бали	студент виконав лише частину завдання або повністю, але зі значними помилками; частково знає теоретичний матеріал (основні поняття, твердження, нескладні алгоритми), розкриває зміст питань зі значними помилками;
0 балів		студент не володіє навчальним матеріалом і не виконав завдання.

Академічна доброчесність: Очікується, що роботи студентів будуть їх оригінальними дослідженнями чи міркуваннями. Відсутність посилань на

	<p>використані джерела, фабрикування джерел, списування, втручання в роботу інших студентів становлять, але не обмежують, приклади можливої академічної недоброчесності. Виявлення ознак академічної недоброчесності в письмовій роботі студента є підставою для її незарахування викладачем, незалежно від масштабів плагіату чи обману.</p> <p>Відвідання занять є важливою складовою навчання. Очікується, що всі студенти відвідають усі лекції та лабораторні заняття курсу. Студенти повинні інформувати викладача про неможливість відвідати заняття. У будь-якому випадку студенти зобов'язані дотримуватися термінів визначених для виконання всіх видів письмових робіт та індивідуальних завдань, передбачених курсом.</p> <p>Література. Уся література, яку студенти не зможуть знайти самостійно, буде надана викладачем виключно в освітніх цілях без права її передачі третім особам. Студенти заохочуються до використання також й іншої літератури та джерел, яких немає серед рекомендованих.</p> <p>Політика виставлення балів. Враховуються бали набрані на лабораторних заняттях (здача завдань), колоквиум та бали підсумкового оцінювання. При цьому обов'язково враховуються присутність на заняттях та активність студента під час лабораторного заняття; недопустимість пропусків та запізнень на заняття; користування мобільним телефоном, планшетом чи іншими мобільними пристроями під час заняття в цілях не пов'язаних з навчанням; списування та плагіат; несвоєчасне виконання поставленого завдання і т. ін.</p> <p>Жодні форми порушення академічної доброчесності не толеруються.</p>
<p>Питання до екзамену.</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Паралельні комп'ютери. 2. Типи пам'яті. Схеми з'єднань. 3. Основні поняття паралелізму і векторизації. 4. Етапи розробки паралельних алгоритмів. 5. Аналіз потоків даних. 6. Найпростіші паралельні алгоритми (сума векторів, сума послідовності чисел, часткові суми, скалярний добуток). 7. Множення матриці на вектор. 8. Множення матриць. 9. Прямі методи розв'язування лінійних систем для паралельних комп'ютерів. LU-розклад і його іjk-форми. 10. Шарова схема зберігання. 11. Розв'язування трикутних систем. 12. Ітераційні методи розв'язування СЛАР. 13. Розклад Холецького. Метод Хаусхолдера. Метод Гівенса. 14. Алгебраїчна проблема власних значень. 15. Нелінійні рівняння і системи. 16. Паралельні алгоритми наближеного обчислення інтегралів. 17. Швидке перетворення Фур'є: розпаралелення обчислень. 18. Паралельні алгоритми сортування. 19. Паралельні алгоритми на графах.
<p>Опитування</p>	<p>Анкету-оцінку з метою оцінювання якості курсу буде надано по завершенню курсу.</p>

Схема курсу «Методи паралельних обчислень»

Тиждень	Тема, план, короткі тези	Форма діяльності (заняття)	Література. Ресурси в інтернеті	Завдання, год.	Термін виконання
1	Тема 1. Паралельні і векторні комп'ютери. Основні поняття. Паралельні комп'ютери. Етапи розробки паралельних алгоритмів. Актуальність використання паралельних обчислень і сфери застосування паралельних обчислень.	лекція (2 год.)	[1,5,6]	Опрацювання лекційного матеріалу (3год.)	1 тиждень
2	Тема 2. Ієрархія пам'яті. Розділена і локальна пам'ять. Схеми з'єднань.	лекція (2 год.)	[1,5,6]	Опрацювання лекційного матеріалу (3год.)	1 тиждень
	Тема 1. Етапи розробки паралельних алгоритмів. Аналіз потоків даних. Графи передування. Приклади програм. <i>Завдання №1. Доповідь (групи). Багатопотоковість та розподілені процеси. Їх реалізація у різних мовах програмування.</i>	лабораторне (2 год.)	[4-6]	Підготувати доповідь (завдання № 1) (8год.)	під час заняття 2 тижні
3	Тема 3. Моделювання та аналіз паралельних обчислень. Основні поняття паралелізму і векторизації. Модель обчислень у вигляді графа «операції-операнди».	лекція (2 год.)	[4-6]	Опрацювання лекційного матеріалу (3год.)	1 тиждень
4	Тема 4. Найпростіші паралельні алгоритми. Обчислення суми послідовності. Обчислення часткових сум послідовності. Обчислення скалярного добутку векторів.	лекція (2 год.)	[1,4,6]	Опрацювання лекційного матеріалу (3год.)	1 тиждень
	Здача завдання №1. Представлення доповідей	лабораторне (2 год.)			під час заняття
5	Тема 5. Множення матриці на вектор. Розгортання циклів.	лекція (2 год.)	[1,4,6]	Опрацювання лекційного матеріалу (3год.)	1 тиждень
6	Тема 6. Множення матриць. Порівняння алгоритмів. Блочні алгоритми.	лекція (2 год.)	[1,4,6]	Опрацювання лекційного матеріалу (3год.)	1 тиждень

	Тема 2. Алгоритм подвоєння та його модифікація. Алгоритми множення матриць (скалярних, середніх та зовнішніх добутків). <i>Завдання №2. Реалізувати модифікований алгоритм подвоєння для обчислення добутку n чисел (пошуку максимального числа)</i>	лабораторне (2 год.)	[1,4,6]	Виконання завдання № 2 (6год.)	під час заняття 2 тижні
7	Тема 7. Множення матриць. Стрічкові матриці. Множення за діагоналями.	лекція (2 год.)	[4]	Опрацювання лекційного матеріалу (3год.)	1 тиждень
8	Тема 8. Прямі методи розв'язування лінійних систем для паралельних комп'ютерів. LU-розклад і його іjk-форми. Шарова схема зберігання.	лекція (2 год.)	[1,4,6]	Опрацювання лекційного матеріалу (3год.)	1 тиждень
	Тема 3. Блочні алгоритми множення матриць. <i>Задача завдання №2.</i> <i>Завдання №3. Реалізувати паралельні алгоритми для множення матриць</i>	лабораторне (2 год.)	[1,4]	Виконання завдання № 3 (8год.)	під час заняття 4 тижні
9	Тема 9. Прямі методи розв'язування лінійних систем для паралельних комп'ютерів. Розв'язування трикутних систем.	лекція (2 год.)	[1,4,6]	Опрацювання лекційного матеріалу (3год.)	1 тиждень
10	Тема 10. Прямі методи розв'язування лінійних систем для паралельних комп'ютерів. Розклад Холецького. Метод Хаусхолдера. Метод Гівенса.	лекція (2 год.)	[4]	Опрацювання лекційного матеріалу (3год.)	1 тиждень
	Колоквіум	лабораторне (2 год.)			під час заняття
11	Тема 11. Ітераційні методи розв'язування лінійних систем для паралельних комп'ютерів.	лекція (2 год.)	[4]	Опрацювання лекційного матеріалу (3год.)	1 тиждень
12	Тема 12. Алгебраїчна проблема власних значень.	лекція (2 год.)	[4]	Опрацювання лекційного матеріалу (3год.)	1 тиждень
	Тема 4. LU-розклад та його паралельна реалізація. Схеми	лабораторне	[1,4]	Виконання завдання № 4	під час заняття

	зберігання. <i>Здача завдання №3</i> <i>Завдання №4. Реалізувати паралельний алгоритм LU-розкладу</i>	(2 год.)		(10год.)	2 тижні
13	Тема 13. Паралельні алгоритми розв'язування нелінійних рівнянь і систем	лекція (2 год.)	[3]	Опрацювання лекційного матеріалу (3год.)	1 тиждень
14	Тема 14. Паралельні алгоритми сортування.	лекція (2 год.)	[1,4]	Опрацювання лекційного матеріалу (3год.)	1 тиждень
	Тема 5. Паралельні алгоритми сортування та їх реалізація. <i>Здача завдання №4.</i> <i>Завдання №5. Реалізувати паралельний алгоритм сортування.</i>	лабораторне (2 год.)	[1,4]	Виконання завдання № 5 (8год.)	під час заняття 2 тижні
15	Тема 15. Квадратурні формули та швидке перетворення Фур'є	лекція (2 год.)	[1,4]	Опрацювання лекційного матеріалу (3год.)	1 тиждень
16	Тема 16. Паралельні алгоритми на графах. Опрацювання графів. Задача пошуку всіх найкоротших шляхів. Задача знаходження мінімального кістяка дерева.	лекція (2 год.)	[1]	Опрацювання лекційного матеріалу (3год.)	1 тиждень
	Тема 5. Метод Ньютона та січних для розв'язування систем нелінійних рівнянь: розпаралелення обчислень. <i>Здача завдання №5.</i>	лабораторне (2 год.)	[3]		під час заняття