

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

Оновлено та 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 ОНП Прикладна математика
другого (магістерського) рівня вищої освіти для здобувачів з
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, Недашковська 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, 361. 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-paralelnykh-obchyslen-prykladna-matematyka-1-9
Інформація про дисципліну	Дисципліна «Методи паралельних обчислень» є нормативною дисципліною з спеціальності 113 – прикладна математика для ОНП «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, Anshul Gupta, George Karypis, Vipin Kumar. Introduction to Parallel Computing 2nd Edition. Addison-Wesley, 2003. (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-tutorial

	<p>3. Mukai H. Parallel algorithms for solving systems of nonlinear equations // Computers & Mathematics with Applications. – Vol. 7, Iss 3. – 1981. – P. 235-250.</p> <p>4. Ortega J. Introduction to Parallel and Vector Solution of Linear Systems, Plenum, New York, 1988.</p> <p>5. Pacheco P.S. An introduction to parallel programming Morgan Kaufmann; 1st edition, 2011</p> <p>6. Коцовський В.М. Теорія паралельних обчислень. – Ужгород: ПП«АУТДОР–Шарк», 2021. – 188 с</p> <p>Додаткова література</p> <p>7. Семеренко В.П. Технології паралельних обчислень: навчальний посібник. – Вінниця : ВНТУ, 2018. – 104 с.</p> <p>8. Matloff Norm. Programming on Parallel Machines http://heather.cs.ucdavis.edu/matloff/public_html/158/PLN/ParProcBook.pdf</p> <p>9. http://eprints.library.odku.edu.ua/id/eprint/695/1/RolshchikovVB_Distributed_Systems_Technology_And_Parallel_Computing_Module_1_KL_2018.pdf.</p>
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"> - ФК01. Знання принципів побудови математичних моделей, а також методів їх розв'язування. - ФК04. Знання сучасних технологій обчислень та програмування. - ФК05. Здатність розробляти та оптимізувати комп'ютерні програми зі складною логікою. <p>Програмні результати навчання:</p> <ul style="list-style-type: none"> - ПРН02. Застосовувати, модифікувати і досліджувати аналітичні та чисельні методи для розв'язування складних прикладних задач. - ПРН03. Розробляти та програмно реалізовувати алгоритми розв'язування складних прикладних задач. - ПРН04. Визначати найбільш ефективний чисельний метод розв'язування задачі з точки зору обчислювальних затрат та точності отриманих результатів.
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	Екзамен.

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, командні доповіді.																																											
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" data-bbox="453 707 1485 1272"> <thead> <tr> <th colspan="2" data-bbox="453 707 815 846">Оцінка за шкалою ECTS</th> <th data-bbox="815 707 967 846">Оцінка в балах</th> <th colspan="2" data-bbox="967 707 1485 745">Оцінка за національною шкалою</th> <th data-bbox="1297 745 1485 846" rowspan="2">залік</th> </tr> <tr> <th colspan="2"></th> <th></th> <th colspan="2" data-bbox="967 745 1297 846">Екзамен, диференційований залік</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td data-bbox="453 846 587 909">A</td> <td data-bbox="587 846 815 909">Відмінно</td> <td data-bbox="815 846 967 909">100 - 90</td> <td data-bbox="967 846 1201 909">Відмінно</td> <td data-bbox="1201 846 1297 909">5</td> <td data-bbox="1297 846 1485 1160" rowspan="4">зараховано</td> </tr> <tr> <td data-bbox="453 909 587 972">B</td> <td data-bbox="587 909 815 972">Дуже добре</td> <td data-bbox="815 909 967 972">81- 89</td> <td colspan="2" data-bbox="967 909 1201 972" rowspan="2">Добре</td> </tr> <tr> <td data-bbox="453 972 587 1034">C</td> <td data-bbox="587 972 815 1034">Добре</td> <td data-bbox="815 972 967 1034">71 -80</td> <td data-bbox="1201 909 1297 972">4</td> </tr> <tr> <td data-bbox="453 1034 587 1097">D</td> <td data-bbox="587 1034 815 1097">Задовільно</td> <td data-bbox="815 1034 967 1097">61 - 70</td> <td data-bbox="967 1034 1201 1097">Задовільно</td> <td data-bbox="1201 1034 1297 1097">3</td> </tr> <tr> <td data-bbox="453 1097 587 1160">E</td> <td data-bbox="587 1097 815 1160">Достатньо</td> <td data-bbox="815 1097 967 1160">51- 60</td> <td data-bbox="967 1097 1201 1160"></td> <td data-bbox="1201 1097 1297 1160"></td> <td data-bbox="1297 1097 1485 1160"></td> </tr> <tr> <td data-bbox="453 1160 587 1272">FX (F)</td> <td data-bbox="587 1160 815 1272">Незадовільно</td> <td data-bbox="815 1160 967 1272">0 - 50</td> <td data-bbox="967 1160 1201 1272">Незадовільно</td> <td data-bbox="1201 1160 1297 1272">2</td> <td data-bbox="1297 1160 1485 1272">не зараховано</td> </tr> </tbody> </table> <p>Поточне оцінювання: впродовж семестру студент може отримати 50 балів. З них:</p> <ul style="list-style-type: none"> - 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 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.). <p>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.</p> <p>Критерії оцінювання завдання №1:</p> <ul style="list-style-type: none"> 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 	Оцінка за шкалою ECTS		Оцінка в балах	Оцінка за національною шкалою		залік				Екзамен, диференційований залік		A	Відмінно	100 - 90	Відмінно	5	зараховано	B	Дуже добре	81- 89	Добре		C	Добре	71 -80	4	D	Задовільно	61 - 70	Задовільно	3	E	Достатньо	51- 60				FX (F)	Незадовільно	0 - 50	Незадовільно	2	не зараховано
Оцінка за шкалою ECTS		Оцінка в балах	Оцінка за національною шкалою		залік																																							
			Екзамен, диференційований залік																																									
A	Відмінно	100 - 90	Відмінно	5	зараховано																																							
B	Дуже добре	81- 89	Добре																																									
C	Добре	71 -80				4																																						
D	Задовільно	61 - 70	Задовільно	3																																								
E	Достатньо	51- 60																																										
FX (F)	Незадовільно	0 - 50	Незадовільно	2	не зараховано																																							

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
6 балів	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 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.

Відвідання занять є важливою складовою навчання. Очікується, що всі студенти відвідають усі лекції та лабораторні зайняття 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.

Література. Уся література, яку студенти не зможуть знайти самостійно,

	<p>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 запізнь 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>
Питання до екзамену.	<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 ijk-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.
Опитування	Анкету-оцінку з метою оцінювання якості курсу буде надано по завершенню курсу.

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	лекція (2 год.)	[1,5,6]	Опрацювання лекційного матеріалу (3год.)	1 тиждень

	паралельних обчислень і сфери застосування паралельних обчислень.				
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) (7год.)	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>Здача 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 зберігання. <i>Здача завдання №3</i> <i>Завдання №4. Реалізувати паралельний алгоритм LU-розкладу</i>	лабораторне (2 год.)	[1,4]	Виконання завдання № 4 (10год.)	під час заняття 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