

**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 № 11 від 2 липня 2024 р.)

Завідуючий кафедрою



Роман ХАПКО

**Силабус з навчальної дисципліни**  
**«Методи паралельних обчислень»,**  
**що викладається в межах ОПП Системний аналіз**  
**другого (магістерського) рівня вищої освіти для здобувачів**  
**зі спеціальності 124 Системний аналіз**

Львів 2024 р.

<b>Назва дисципліни</b>	Методи паралельних обчислень
<b>Адреса викладання дисципліни</b>	Головний корпус ЛНУ ім. І. Франка м. Львів, вул. Університетська 1
<b>Факультет та кафедра, за якою закріплена дисципліна</b>	Факультет прикладної математики та інформатики Кафедра обчислювальної математики
<b>Галузь знань, шифр та назва спеціальності</b>	12 Інформаційні технології 124 Системний аналіз
<b>Викладачі дисципліни</b>	Ярмола Галина Петрівна, доцент кафедри обчислювальної математики,
<b>Контактна інформація викладачів</b>	<a href="mailto:halyna.yarmola@lnu.edu.ua">halyna.yarmola@lnu.edu.ua</a> ; <a href="https://ami.lnu.edu.ua/employee/yarmola">https://ami.lnu.edu.ua/employee/yarmola</a> ; Головний корпус ЛНУ ім. І. Франка, каб. 262, м. Львів, вул. Університетська, 1
<b>Консультації з питань навчання по дисципліні відбуваються</b>	Консультації в день проведення лекцій/лабораторних занять (за попередньою домовленістю).
<b>Сторінка курсу</b>	
<b>Інформація про дисципліну</b>	Дисципліна «Методи паралельних обчислень» є вибірковою дисципліною з спеціальності 124 – Системний аналіз для ОПП «Системний аналіз», яка викладається в 2-му семестрі (4 кредити ECTS).
<b>Коротка анотація дисципліни</b>	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.
<b>Мета та цілі дисципліни</b>	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.
<b>Література для вивчення дисципліни</b>	<b>Основна література</b> 1. Grama Ananth, Anshul Gupta, George Karypis, Vipin Kumar. Introduction to Parallel Computing 2nd Edition. Addison-Wesley, 2003. ( <a href="http://srmcse.weebly.com/uploads/8/9/0/9/8909020/introduction_to_parallel_computing_second_edition-ananth_grama.pdf">http://srmcse.weebly.com/uploads/8/9/0/9/8909020/introduction_to_parallel_computing_second_edition-ananth_grama.pdf</a> ) 2. Introduction to Parallel Computing Tutorial - <a href="https://hpc.llnl.gov/training/tutorials/introduction-parallel-computing-tutorial">https://hpc.llnl.gov/training/tutorials/introduction-parallel-computing-tutorial</a> 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, 2011

	<p>6. Коцовський В.М. Теорія паралельних обчислень. – Ужгород: ПП«АУТДОР–Шарк», 2021. – 188 с</p> <p><b>Додаткова література</b></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 <a href="http://heather.cs.ucdavis.edu/matloff/public_html/158/PLN/ParProcBook.pdf">http://heather.cs.ucdavis.edu/matloff/public_html/158/PLN/ParProcBook.pdf</a></p> <p>9. <a href="http://eprints.library.odeku.edu.ua/id/eprint/695/1/RolshchikovVB_Distributed_Systems_Technology_And_Parallel_Computing_Module_1_KL_2018.pdf">http://eprints.library.odeku.edu.ua/id/eprint/695/1/RolshchikovVB_Distributed_Systems_Technology_And_Parallel_Computing_Module_1_KL_2018.pdf</a>.</p> <p>10. Rauber T., Rüniger G. Parallel Programming Models. In: Parallel Programming. Springer, Cham, 2023. <a href="https://doi.org/10.1007/978-3-031-28924-8_3">https://doi.org/10.1007/978-3-031-28924-8_3</a>.</p>															
<b>Обсяг курсу</b>	Загальний обсяг: 120 годин (аудиторних занять: 32 год., з них 16 год. лекцій та 16 год. лабораторних робіт; самостійної роботи: 88 год).															
<b>Очікувані результати навчання</b>	<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>															
<b>Ключові слова</b>	Паралельні комп'ютери, багатоядерність, багатопроцесорність, паралельні обчислення, схеми з'єднань, граф алгоритму, шарова схема зберігання.															
<b>Формат курсу</b>	Очний. Проведення лекцій, лабораторних занять і консультацій.															
<b>Теми</b>	Подано нижче у таблиці Схеми курсу «Методи паралельних обчислень»															
<b>Підсумковий контроль, форма</b>	Залік.															
<b>Пререквізити</b>	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.															
<b>Навчальні методи та техніки, які будуть використовуватися під час викладання курсу</b>	Презентації, лекції (лекція-розповідь, лекція-бесіда). Індивідуальні завдання, командні доповіді.															
<b>Необхідне обладнання</b>	Комп'ютер із програмним забезпеченням Visual Studio, доступ до Internet мережі.															
<b>Критерії оцінювання (окремо для кожного виду навчальної діяльності)</b>	<p>Оцінювання проводиться за 100-бальною шкалою.</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2" rowspan="2">Оцінка за шкалою ECTS</th> <th rowspan="2">Оцінка в балах</th> <th colspan="3">Оцінка за національною шкалою</th> </tr> <tr> <th colspan="2">Екзамен, диференційований залік</th> <th>залік</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>A</td> <td>Відмінно</td> <td>100 - 90</td> <td>Відмінно</td> <td>5</td> <td></td> </tr> </tbody> </table>	Оцінка за шкалою ECTS		Оцінка в балах	Оцінка за національною шкалою			Екзамен, диференційований залік		залік	A	Відмінно	100 - 90	Відмінно	5	
Оцінка за шкалою ECTS					Оцінка в балах	Оцінка за національною шкалою										
		Екзамен, диференційований залік		залік												
A	Відмінно	100 - 90	Відмінно	5												

B	Дуже добре	81- 89	Добре	4	зараховано
C	Добре	71 -80			
D	Задовільно	61 - 70	Задовільно	3	
E	Достатньо	51- 60			
FX (F)	Незадовільно	0 - 50	Незадовільно	2	не зараховано

**Поточне оцінювання:** впродовж семестру студент може отримати 100 балів. З них:

- **за роботу на лабораторних заняттях:** максимальна кількість – **50** балів (5 завдань по 10б). Для кожного завдання встановлено терміни здачі. Роботи, які здаються із порушенням термінів без поважних причин, оцінюються на нижчу оцінку (кожне лабораторне заняття на 2б. менше).

- **колоквіум:** максимальна кількість – **50** балів (30 тестових завдань по 1б. та 4 теоретичних/практичних завдань по 5б.).

**Критерії оцінювання завдання №1 (доповідь):**

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

**5-9 бали** – студент повністю розкрив тему доповіді з незначними неточностями, схема доповіді логічна, відповідає на більшість запитань, які пов'язані з тематикою доповіді;

**1-4 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 (програмна реалізація алгоритмів):**

К-сть балів	Критерії оцінювання
<b>10 балів</b>	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;
<b>8-9 балів</b>	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;
<b>6-7 балів</b>	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;
<b>4-5 бали</b>	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;
<b>2-3 бали</b>	студент виконав завдання частково, алгоритм реалізовано з помилками, які самостійно не може виправити, переважно не відповідає на запитання;
<b>1 бал</b>	студент виконав завдання частково або з грубими помилками, які самостійно не може виправити, демонструє незнання матеріалу;
<b>0 балів</b>	студент не виконав завдання.

**Критерії оцінювання тестових завдань (колоквіум):**

**1 бал:** відповідь на завдання правильна;

**0 балів:** відповідь на завдання неправильна.

**Критерії оцінювання теоретичних/практичних завдань (колоквіум):**

<b>Колоквіум (5балів)</b>	<b>Критерії оцінювання</b>
<b>5 балів</b>	студент правильно виконав практичне завдання; вільно володіє навчальним матеріалом, чітко розкриває зміст теоретичних питань;
<b>4 бали</b>	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;
<b>3 бали</b>	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;
<b>1-2 бали</b>	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;
<b>0 балів</b>	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.

	<p><b>Відвідання занять</b> 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><b>Література.</b> 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><b>Політика виставлення балів.</b> Враховуються бали набрані на лабораторних заняттях (здача завдань) та на колоквіумі. 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>
<p><b>Питання до колоквіуму.</b></p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Паралельні комп'ютери.</li> <li>2. Типи пам'яті. Схеми з'єднань.</li> <li>3. Основні поняття паралелізму і векторизації.</li> <li>4. Етапи розробки паралельних алгоритмів.</li> <li>5. Аналіз потоків даних.</li> <li>6. Найпростіші паралельні алгоритми (сума векторів, сума послідовності чисел, часткові суми, скалярний добуток).</li> <li>7. Множення матриці на вектор.</li> <li>8. Множення матриць.</li> <li>9. Прямі методи розв'язування лінійних систем для паралельних комп'ютерів. LU-розклад і його іjk-форми.</li> <li>10. Шарова схема зберігання.</li> <li>11. Розв'язування трикутних систем.</li> <li>12. Ітераційні методи розв'язування СЛАР.</li> <li>13. Нелінійні рівняння і системи.</li> <li>14. Паралельні алгоритми сортування.</li> <li>15. Паралельні алгоритми на графах.</li> </ol>
<p><b>Опитування</b></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	<p><b>Тема 1.</b> Паралельні і векторні комп'ютери. Основні поняття. Паралельні комп'ютери. Етапи розробки паралельних алгоритмів. Актуальність використання паралельних обчислень і сфери застосування паралельних обчислень. Ієрархія пам'яті. Розділена і локальна пам'ять. Схеми з'єднань. Моделювання та аналіз паралельних обчислень. Основні поняття паралелізму і векторизації. Модель обчислень у вигляді графа «операції-операнди».</p>	лекція (2 год.)	[1,5,6]	Опрацювання лекційного матеріалу (5год.)	1 тиждень
	<p><b>Тема 1.</b> Етапи розробки паралельних алгоритмів. Аналіз потоків даних. Графи передування. Приклади програм.</p> <p><i>Завдання №1. Доповідь (групи). Багатопотоковість та розподілені процеси. Їх реалізація у різних мовах програмування.</i></p>	лабораторне (2 год.)	[4-6]	Підготувати доповідь (завдання № 1) (8год.)	під час заняття  2 тижні
2	<p><b>Тема 2.</b> Найпростіші паралельні алгоритми. Обчислення суми послідовності. Обчислення часткових сум послідовності. Обчислення скалярного добутку векторів.</p>	лекція (2 год.)	[1,4-6]	Опрацювання лекційного матеріалу (5год.)	1 тиждень
	<p>Задача завдання №1. Представлення доповідей</p>	лабораторне (2 год.)			під час заняття
3	<p><b>Тема 3.</b> Множення матриці на вектор. Множення матриць. Порівняння алгоритмів. Блочні алгоритми. Множення стрічкових матриць. Множення за діагоналями.</p>	лекція (2 год.)	[1,4,6]	Опрацювання лекційного матеріалу (5год.)	1 тиждень
	<p><b>Тема 2.</b> Алгоритм подвоєння та його модифікація. Алгоритми множення матриць (скалярних, середніх та зовнішніх добутків).</p>	лабораторне (2 год.)	[1,4,6]	Виконання завдання № 2 (9год.)	під час заняття

	<i>Завдання №2. Реалізувати модифікований алгоритм подвоєння для обчислення добутку <math>n</math> чисел (пошуку максимального числа)</i>				2 тижні
4	<b>Тема 4.</b> Прямі методи розв'язування лінійних систем для паралельних комп'ютерів. LU-розклад і його іжк-форми. Шарова схема зберігання.	лекція (2 год.)	[1,4,6]	Опрацювання лекційного матеріалу (5год.)	1 тиждень
	<b>Тема 3.</b> 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 (10год.)	під час заняття  4 тижні
5	<b>Тема 5.</b> Прямі методи розв'язування лінійних систем для паралельних комп'ютерів. Розв'язування трикутних систем. Ітераційні методи розв'язування лінійних систем для паралельних комп'ютерів.	лекція (2 год.)	[1,4,6]	Опрацювання лекційного матеріалу (5год.)	1 тиждень
	<b>Тема 4.</b> 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 (12год.)	під час заняття  2 тижні
6	<b>Тема 6.</b> Паралельні алгоритми розв'язування нелінійних рівнянь і систем	лекція (2 год.)	[3]	Опрацювання лекційного матеріалу (5год.)	1 тиждень
	<b>Тема 5.</b> Метод Ньютона та січних для розв'язування систем нелінійних рівнянь: розпаралелення обчислень. Паралельні алгоритми сортування та їх реалізація. <i>Здача завдання №4.</i>  <i>Завдання №5. Реалізувати паралельний алгоритм сортування.</i>	лабораторне (2 год.)	[1,3,4]	Виконання завдання № 5 (9год.)	під час заняття  2 тижні
7	<b>Тема 7.</b> Паралельні алгоритми сортування.	лекція (2 год.)	[1,4]	Опрацювання лекційного матеріалу	1 тиждень



				(5год.)	
	<i>Здача завдання №5.</i>	лабораторне (2 год)			під час заняття
<b>8</b>	<b>Тема 8.</b> Паралельні алгоритми на графах. Опрацювання графів. Задача пошуку всіх найкоротших шляхів. Задача знаходження мінімального кістяка дерева.	лекція (2 год.)	[1]	Опрацювання лекційного матеріалу (5год.)	1 тиждень
	<i>Колоквіум</i>	лабораторне (2 год.)			під час заняття