

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

Затверджено

На засіданні
кафедри інформаційних систем
факультету прикладної математики та
інформатики
Львівського національного університету
імені Івана Франка
(протокол № 1 від 28.08. 2023 р.)



Завідувач кафедри Георгій ШИНКАРЕНКО

Силабус з навчальної дисципліни
Адаптивні методи аналізу числових моделей
що викладається в межах ОПП Інформатика
другого (магістерського) рівня вищої освіти для здобувачів
зі спеціальності 122 – Комп'ютерні науки

Львів 2023 р.

Назва дисципліни	Адаптивні методи аналізу числових моделей
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 інформаційних систем (ІС)
Галузь знань, шифр та назва спеціальності	12 – інформаційні технології 122 – комп'ютерні науки
Викладачі дисципліни	Шинкаренко Георгій Андрійович, професор кафедри інформаційних систем (лекції, лабораторні), Козій Ірина Ярославівна, доцент кафедри інформаційних систем (лабораторні), Вовк Володимир Дмитрович, доцент кафедри інформаційних систем (лекції, лабораторні)
Контактна інформація викладачів	heorhiy.shynkarenko@lnu.edu.ua ; https://ami.lnu.edu.ua/employee/shynkarenko ; volodymyr.vovk@lnu.edu.ua ; iryna.kozii@lnu.edu.ua ; Головний корпус ЛНУ ім. І. Франка, каб. 260. м. Львів, вул. Університетська, 1
Консультації з питань навчання по дисципліні відбуваються	Консультації в день проведення лекцій/практичних занять (за попередньою домовленістю) та згідно розкладу консультацій.
Сторінка курсу	https://ami.lnu.edu.ua/course1/
Інформація про дисципліну	Дисципліна “Адаптивні методи аналізу числових моделей” є нормативною дисципліною з спеціальності 122 – комп'ютерні науки для освітньої програми магістерської підготовки, яка викладається в 2-му семестрі в обсязі 4.5 кредитів (за Європейською Кредитно-Трансферною Системою ECTS).
Коротка анотація дисципліни	Курс надає знання принципів побудови адаптивних схем методу скінченних елементів, їх програмної реалізації для наукових та інженерних обчислень у проблемах фізики та механіки, зокрема, у проблемах дифузії-адвекції-реакції та еластостатики.
Мета та цілі дисципліни	Метою вивчення цієї дисципліни є освоєння магістрантами теоретичних основ і практичних навичок використання адаптивних схем МСЕ, принципів розробки програмного забезпечення для їх реалізації та способів аналізу результатів числових експериментів
Література для вивчення дисципліни	Основна <ol style="list-style-type: none"> 1. <i>Квасниця Г.</i> Порівняння h-адаптивних схем МСЕ різних порядків для одновимірних крайових задач / Г. Квасниця, П. Малашняк, Г. Шинкаренко // Вісн. Львів. ун-ту. Сер. прикл. матем. та. інф. 2022. Вип. 30. С. 45-59. 2. <i>Трушевський В.М., Шинкаренко Г.А., Щербина Н.М.</i> Метод скінченних елементів і штучні нейронні мережі. Теоретичні аспекти і застосування. Львів, Вид. центр ЛНУ ім. Івана Франка, 2014 – 396 с.

	<p>3. <i>Квасниця Г.А.</i> Аналіз задачі про гармонічні хвилі в пружних тілах та її h-адаптивна скінченноелементна апроксимація / Г.А. Квасниця, Г.А. Шинкаренко // Математичні методи та фізико-механічні поля. 2020. Т. 63. №1. С. 52-64.</p> <p>Додаткова</p> <p>4. <i>Gockenbach M.S.</i> Understanding and Implementing the Finite Element Method. SIAM, 2006. – 380 pp.</p> <p>5. <i>Automated Solution of Differential Equations by the Finite Element Method. The FEniCS Book</i> / A. Logg, K.-A. Mardal, G. Wells, eds. - New York: Springer, 2012. – 719 pp.</p> <p>6. <i>Larson M.G.</i> The Finite Element Method: Theory, Implementation, and Applications / M. G. Larson, F. Bengzon. - New York: Springer, 2013. – 385 pp.</p> <p>7. <i>Schmidt A.</i> Design of Adaptive Finite Element Software: The Finite Element Toolbox ALBERTA / A. Schmidt, K.G. Siebert. - New York: Springer, 2005. – 317 pp.</p> <p>8. <i>Johnson C.</i> Numerical Solutions of Partial Differential Equations by the Finite Element Method. – Dover Publications, 2009. – 278 pp.</p> <p>9. <i>Verfürth R.</i> A Posteriori Error Estimation Techniques for Finite Element Methods. / R. Verfürth - Oxford University Press, Oxford, 2013.- 416 p.</p> <p>10. <i>Ostapov O. Yu.</i> A posteriori error estimator and h-adaptive finite element method for diffusion-advection-reaction problems / O. Yu. Ostapov, H. A. Shynkarenko, O. V. Vovk // Recent Advances in Computational Mechanics, Taylor & Francis Group, London. – 2014. – P. 329-337.</p> <p>11. <i>Ainsworth M.</i> A Posteriori Error Estimation in Finite Element Analysis. / M. Ainsworth, J.T. Oden - New York: Wiley, 2000.-240 p.</p> <p>12. <i>Zienkiewicz O. C.</i> The Finite Element Method. Vol. 1: The Basis. Oxford: Butterworth & Heinemann, 2002. - 688 p.</p> <p>13. https://freefem.org/</p> <p>14. https://fem-code.com/</p> <p>15. Scilab www.scilab.org</p>
Обсяг курсу	Загальний обсяг: 135 годин. Аудиторних занять: 64 год., з них 32 год. лекцій та 32 години лабораторних робіт. Самостійної роботи: 71 год.
Очікувані результати навчання	<p>Після завершення цього курсу здобувач буде :</p> <p>Знати:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Крайові та початково-крайові задачі для рівнянь в частинних похідних. Приклади з фізики і механіки суцільного середовища. - Варіаційна задача. Простори допустимих функцій, білінійна і лінійна форми, неперервність, V-еліптичність і коерцитивність. Коректність варіаційної задачі. - Сингулярна збуреність задачі. Примежові та внутрішні шари. Критерії подібності та їх застосування. - Закони збереження маси, руху, імпульсу, енергії. Рівняння балансу. Єдиність, регулярність та обмеженість розв'язку задачі. - Апроксимації Гальоркіна та МСЕ. Інтерполяційні властивості базисних функцій МСЕ. Апріорні оцінки похибок і порядки швидкості збіжності послідовності апроксимацій. - Варіаційна задача про похибку (про лишок знайденої апроксимації). Явний та неявний апостеріорні оцінювачі похибок апроксимації МСЕ. - Критерії локального покращення апроксимацій МСЕ, h-, p- та hp-адаптивні схеми, гарантована точність наближень.

	<ul style="list-style-type: none"> - Базові алгоритми адаптивних схем, триангуляції Делоне і бісекцій, квадратури Дюнавана, метод спряжених градієнтів для рідко заповнених рівнянь. <p>Вміти:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Будувати апроксимації МСЕ для еліптичних задач; - Будувати базисні функції апостеріорних оцінювачів похибок; - Будувати критерії локального покращення схем МСЕ - Реалізовувати адаптивні алгоритми МСЕ з використанням сучасних середовищ обчислень; - Аналізувати результати числових експериментів. <p>Курс забезпечує набуття таких компетентностей: Інтегральна компетентність: Здатність розв'язувати задачі дослідницького та/або інноваційного характеру у сфері комп'ютерних наук. Загальні компетентності: ЗК1,ЗК2, ЗК7 Фахові компетентності спеціальності: СК1, СК4, СК7, СК8, СК11, СК13 Програмні результати навчання: ПРН 1, ПРН 6-10, ПРН 15-18, ПРН 22</p>
--	---

Ключові слова	Варіаційні методи, адаптивні МСЕ, програмна реалізація
----------------------	--

Формат курсу	<p>Очний</p> <p>Проведення лекцій, лабораторних робіт і консультацій.</p> <p>Ознайомлення з Internet курсами з питань МСЕ</p> <p>Open University courses: https://www.open.edu/openlearn/science-maths-technology/introduction-finite-element-analysis/content-section-1 https://www.edx.org/course/high-performance-finite-element-modeling?source=aw&awc=6798_1587147662_7cb82852a251632f8bb9ad32b97285a1&utm_source=aw&utm_medium=affiliate_partner&utm_content=text-link&utm_term=301045_https%3A%2F%2Fwww.class-central.com%2F</p>
---------------------	---

Теми	Тижень	Тема, короткі тези	Форма заняття	Література	Тривалість, Акад. год	Термін Виконання
	1	<p>Мета та завдання курсу. Організація курсу. Комп'ютерні технології наукових та інженерних обчислень. Огляд стану комп'ютерного моделювання в науці та інженерії .</p> <p>Середовища обчислень <i>Wolfram Mathematica, FEniCS</i>.</p>	Лекція	1,11	2	
	2	<p>Крайові задачі з рівняннями та системами рівнянь в частинних похідних. Крайова задача дифузії-адвекції-реакції (ДАР). Крайова задача еластостатики (ЕС).</p> <p>Формулювання крайових задач. Фундаментальні рівняння з фізичними характеристиками їх розв'язків. Крайові умови на первісні невідомі та потоки, деформації і напруження.</p>	Лекція	1,2,7,11	2	Тижень
	3	<p>Варіаційне формулювання крайових задач для систем рівнянь в часткових похідних. Коректно сформульована задача: існування, єдиність, регулярність та обмеженість розв'язків. Теорема Лакса-Мільграма-Вишика.</p> <p>Варіаційне формулювання крайових задач ДАР та/або ЕС. Простір допустимих функцій. Головні і природні крайові умови. Рівняння балансу маси, енергії тощо.</p>	Лекція	1,5,7	2	Тижень
	4	<p>Сингулярно збурена задача. Безрозмірні змінні та критерії подібності, числа Пекле, Фур'є та Струхала.</p> <p>Варіаційне формулювання крайових задач ДАР та/або ЕС. Простори Лебега і Соболева. Рівняння балансу маси, енергії тощо. Енергетичні норми розв'язків та числове інтегрування.</p>	Лекція	1,2,5,7	2	Тижень
	5	<p>Дискретизація варіаційних задач. Методи Рітца, Гальоркіна, Петрова-Гальоркіна. Коректність дискретизованих задач. Характеристика систем лінійних алгебричних рівнянь дискретизованих задач.</p>	Лекція	1, 5,8	2	

	6	Сітки скінченних елементів та алгоритми їх побудови. Простори апроксимацій методу скінченних елементів (МСЕ)	Лаборат.	7,8,9	2	Тиждень
		Точність наближення, апіорна та апостеріорна оцінки похибок апроксимацій МСЕ, порядки швидкості збіжності послідовності апроксимацій МСЕ.	Лекція	1,5-8	2	
		Розробка алгоритмів та програм обчислення апроксимацій МСЕ для одно- і двовимірних задач дифузії-адвекції-реакції або еластостатики. Середовища обчислень Wolfram Mathematica, FEniCS.	Лаборат.	3-9	2	Два тижні
	7,8	<p>Задача про похибку, наближені способи її розв'язання. Явні та неявні апостеріорні оцінювачі похибок (АОП), алгоритми їх обчислення. Способи контролю рівня та розподілу похибок.</p> <p>Розробка алгоритмів та програм обчислення апроксимацій МСЕ для одно- і двовимірних задач дифузії-адвекції-реакції або еластостатики. Конструювання алгоритмів обчислення норм знайдених апроксимацій МСЕ в просторах Лебега і Соболева. Реалізація рівномірного згущення сіток для обчислення послідовності поліноміальних апроксимацій МСЕ.</p>	Лекція	1-3,5,7,10	4	Тиждень
			Лаборат.	7,9,13	4	
	9,10	<p>Неявні апостеріорні оцінювачі похибок (АОП) апроксимацій МСЕ, поелементно визначені АОП та їхні базисні функції, алгоритми обчислення АОП.</p> <p>Розробка алгоритмів та програм обчислення апроксимацій МСЕ для одно- і двовимірних задач дифузії-адвекції-реакції або еластостатики. Алгоритми обчислення розподілів норм індикаторів АОП на сітках МСЕ та норм самих АОП.</p>	Лекція	7,12-14	4	Тиждень
			Лаборат.		4	
	11,12	<p>Заздалегідь задана точність наближення. Толерантність до похибок. Задача оптимізації схеми МСЕ та ітераційні наближення до її розв'язку. Критерії та стратегії адаптування числових схем: h-, p- та hp- варіанти МСЕ.</p> <p>Конструювання алгоритмів локального покращення структури триангуляцій Делоне або бісекцій на основі обчислених індикаторів АОП апроксимацій МСЕ. Реалізація локального згущення сіток для обчислення послідовності поліноміальних апроксимацій МСЕ.</p>	Лекції	1,2,4-12	4	Тиждень
			Лабор		4	
	13,14	<p>Реалізація адаптивних схем, їх верифікація та валідація. Рекурентне розв'язання задачі оптимізації про наближення із гарантованою точністю (толеранцією). Базові алгоритми адаптивних схем МСЕ. Методи обчислення порядків збіжності апроксимацій та їхніх АОП на послідовності неструктурованих триангуляцій.</p> <p>Алгоритми обчислення розподілів індикаторів АОП апроксимацій МСЕ Локальний аналіз апроксимацій з використанням індикаторів АОП. Заздалегідь призначений рівень допустимої похибки (толерантність до похибки).</p> <p>Рекурентне розв'язання задачі про відшукування наближення із гарантованою точністю (толеранцією) за допомогою h-адаптивних схем МСЕ. Планування пост-процесорних обчислень та презентації даних.</p> <p>Характеризація збіжності наближень МСЕ та витрати комп'ютерного моделювання. Доповіді та/або реферати за результатами виконаних числових експериментів</p>	Лекція	1,4,12-14	4	Тиждень
Лаборат.				4		
Лекція			7,9,12-14	4		
15,16		Лаборат.		4	2 тижні	
Підсумковий контроль, форма	Екзамен у кінці семестру					
Пререквізити	Для вивчення курсу слухачі потребують базових знань з курсів: Чисельні методи; Програмування; Диференціальні рівняння. Методи комп'ютерних обчислень					
Навчальні методи та техніки, які будуть використовуватися під час	Презентації, лекції Індивідуальні завдання					

викладання курсу	
Необхідне обладнання	Комп'ютер з Internet доступом.
Критерії оцінювання (окремо для кожного виду навчальної діяльності)	<p>Оцінювання проводиться за 100-бальною шкалою. Бали нараховуються за наступним співвідношенням:</p> <ul style="list-style-type: none"> • індивідуальні завдання: 50% семестрової оцінки; <p>індивідуальні завдання : 50% семестрової оцінки, максимальна кількість балів 50, всіх індивідуальних завдань 5 (за кожне завдання по 10 балів)</p> <ul style="list-style-type: none"> • екзамен: 50% семестрової оцінки; максимальна кількість балів 50 <p>Підсумкова максимальна кількість балів 100.</p> <p>Письмові роботи: Очікується, що здобувачі підготують реферати з теоретичними засадами курсу, описом розроблених програмних засобів та результатами виконання індивідуальних завдань.</p> <p>Академічна доброчесність: Очікується, що роботи студентів будуть їх оригінальними дослідженнями та міркуваннями. Вимагається наявність посилань на використані літературні джерела, фабрикавання джерел. Виявлення ознак академічної недоброчесності в рефераті є підставою для незарахування курсу викладачем, незалежно від масштабів плагіату.</p> <p>Відвідання занять є важливою складовою навчання. Очікується, що студенти відвідують лекції та лабораторні заняття курсу. Слухачі повинні інформувати викладача про неможливість відвідати заняття. У будь-якому випадку студенти зобов'язані дотримуватися термінів виконання 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 поточних заняттях, самостійній роботі та бали підсумкового тестування. При цьому обов'язково враховуються присутність на заняттях та активність студента під час лабораторних робіт; недопустимість пропусків та запізнь на заняття без поважних причин; плагіат; несвоєчасне виконання поставленого завдання і т. ін.</p> <p>Жодні форми порушення академічної доброчесності не толеруються.</p>
Питання до екзамену	<p>Крайові та відповідні їм варіаційні задачі фізики та механіки суцільного середовища.</p> <p>Рівняння балансу енергії, маси, імпульсу. Наслідки з них</p> <p>Коректність формулювання варіаційних задач.</p> <p>Метод скінченних елементів. Априорні оцінки похибок і збіжність апроксимацій МСЕ.</p> <p>Апостеріорні оцінювачі похибок (АОП). Надійність та ефективність АОП.</p> <p>Явні та неявні АОП. Індикатори похибок, їхній розподіл.</p> <p>Критерії локального покращення схеми МСЕ.</p> <p>Загальний алгоритм адаптування та його реалізація.</p>
Опитування	Анкету-оцінку з метою оцінювання якості курсу буде надано по завершенню курсу.