

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 № 2 від 10.09 2024 р.)



В.о. завідувача кафедри Горlach В.М.

Силабус з навчальної дисципліни

“Адаптивні методи аналізу числових моделей”,
що викладається в межах ОПП «Комп’ютерні науки»
другого (магістерського) рівня вищої освіти для здобувачів
зі спеціальності 122 – Комп’ютерні науки

Львів 2024 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, Дреботій Роман Григорович, кандидат фіз. - мат. наук, доцент кафедри інформаційних систем Вовк Володимир Дмитрович, кандидат фіз. – мат. наук, доцент, доцент кафедри інформаційних систем Бернакевич Ірина Євстахіївна, кандидат фіз. – мат. наук, доцент, доцент кафедри інформаційних систем
Контактна інформація викладачів	heorhiy.shynkarenko@lnu.edu.ua ; https://ami.lnu.edu.ua/employee/shynkarenko/ ; 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/course/adaptyvni-metody-analizu-chyslovyh-modelej
Інформація про дисципліну	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.
Коротка анотація дисципліни	Дисципліна “Адаптивні методи аналізу числових моделей” є дисципліною з спеціальності 122 – комп'ютерні науки для освітньої програми магістерської підготовки, яка викладається в 2-му семестрі в обсязі 4-ох кредитів (за Європейською Кредитно-Трансферною Системою ECTS).
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: 1. Трушевський В.М., Шинкаренко Г.А., Щербина Н.М. Метод скінченних елементів і штучні нейронні мережі. Теоретичні аспекти і застосування. Львів, Вид. центр ЛНУ ім. Івана Франка, 2014 – 396 с. 2. Є Абрамов , О Ліпіна, Г Шинкаренко, А Ямелинець. Вісн. Львів. ун-ту. Сер. прикл. матем. та інформ.–2006.-Вип 11, с. 3-18 3. Ostapov O. Yu. 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>Додаткова:</p> <ol style="list-style-type: none"> 4. <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. 5. <i>Gockenbach M.S.</i> Understanding and Implementing the Finite Element Method. SIAM, 2006. – 380 pp. 6. <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. 7. <i>Larson M.G.</i> The Finite Element Method: Theory, Implementation, and Applications / M. G. Larson, F. Bengzon. - New York: Springer, 2013. – 385 pp. 8. <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. 9. <i>Johnson C.</i> Numerical Solutions of Partial Differential Equations by the Finite Element Method. – Dover Publications, 2009. – 278 pp. 10. <i>Verfürth R.</i> A Posteriori Error Estimation Techniques for Finite Element Methods. / R. Verfürth - Oxford University Press, Oxford, 2013.- 416 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. 12. <i>Zienkiewicz O. C.</i> The Finite Element Method. Vol. 1: The Basis. Oxford: Butterworth & Heinemann, 2002. - 688 p <ol style="list-style-type: none"> 1. https://freefem.org/ 2. https://fem-code.com/ 3. Scilab www.scilab.org
Обсяг курсу	Загальний обсяг: 180 годин. Аудиторних занять: 64 год., з них 32 год. лекцій та 32 години лабораторних робіт. Самостійної роботи: 116 год. Кредитів: 6.
Очікувані результати навчання	<p>Після завершення цього курсу магістрант буде 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. Примежеві 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 MSE. Інтерполяційні властивості базисних функцій MSE. Апріорні оцінки похибок і порядки швидкості збіжності послідовності апроксимацій. - Варіаційна задача про похибку (про лишок знайденої апроксимації). Явний та неявний апостеріорні оцінювачі похибок апроксимації MSE. - Критерії локального покращення апроксимацій MSE, h-, p- та hp-адаптивні схеми, гарантована точність наближень. - Базові алгоритми адаптивних схем, триангуляції Делоне і бісекцій, квадратури Дюнавана, метод спряжених градієнтів для рідкозаповнених 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: ІК, ЗК 1-3, ЗК 5-7, СК 1-3, СК 5,6,12 та програмних результатів навчання: ПРН 1-3, ПРН 6-11, ПРН 14, ПРН 16, ПРН 19, ПРН 20, ПРН 22.</p>
Ключові слова	Варіаційні методи, адаптивні схеми МСЕ, програмна реалізація
Формат курсу	<p>Очний, дистанційний</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 або COURSERA courses: https://www.coursera.org/learn/finite-element-method/exam/sO3rZ/unit-2-quiz</p>
Теми	<ol style="list-style-type: none"> 1. Вступ. Мета та завдання курсу. Організація курсу. Комп'ютерні технології наукових та інженерних обчислень. 2. Варіаційне формулювання крайових задач для систем рівнянь в часткових похідних. Рівняння балансу. Єдиність, регулярність та обмеженість розв'язків. 3. Безрозмірні змінні та критерії подібності, числа Пекле та Струхалія. Сингулярна збуреність задачі. 4. Дискретизація варіаційних задач. Простори апроксимацій методу скінченних елементів 5. Априорні оцінки похибок апроксимацій МСЕ. Збіжність послідовності апроксимацій МСЕ. Порядок швидкості збіжності. 6. Апостеріорна оцінка похибки апроксимацій МСЕ. Неявні та явні апостеріорні оцінювачі похибок. Надійні та ефективні апостеріорні оцінювачі похибок апроксимацій МСЕ. 7. Критерії локального покращення якості схем МСЕ. Стратегії адаптування схем МСЕ. Алгоритми h-, p- та hp-адаптування. 8. Базові алгоритми адаптивних схем МСЕ. 9. Програмна реалізація алгоритмів адаптивних схем МСЕ, інструментарій обчислювальних експериментів.
Підсумковий контроль, форма	Екзамен у кінці семестру
Пререквізити	Для вивчення курсу магістранти потребують базових знань з курсів: Чисельні методи; Програмування; Диференціальні рівняння. Методи комп'ютерних обчислень
Навчальні методи та техніки, які будуть використовуватися під час викладання	Презентації, лекції Індивідуальні завдання

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; • екзамен: 50% семестрової оцінки. <p>Підсумкова максимальна кількість балів 100.</p> <p>Критерії оцінювання індивідуальних лабораторних завдань:</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Індивідуальне завдання</th> <th>Макс. к-сть балів</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1. Триангуляція тривимірної області</td> <td>5</td> </tr> <tr> <td>2. Знаходження переміщень в об'єкті під навантаженням</td> <td>25</td> </tr> <tr> <td>3. Знаходження компонент тензора напружень та головних напружень</td> <td>10</td> </tr> <tr> <td>4. Реалізація алгоритму h-адаптування сітки CE</td> <td>10</td> </tr> </tbody> </table> <p>Критерії оцінювання знань на іспиті:</p> <p>Кожен білет теоретичного курсу містить 2 запитання з максимальною оцінкою у 25 б. за кожне.</p> <p>Академічна доброчесність: Очікується, що роботи слухачів будуть їх оригінальними дослідженнями та міркуваннями. Вимагається наявність посилань на використані літературні джерела, фабрикування джерел. Виявлення ознак академічної недоброчесності в рефераті є підставою для незарахування курсу викладачем, незалежно від масштабів плагіату.</p> <p>Відвідування занять є важливою складовою навчання. Очікується, що магістранти відвідують лекції та лабораторні заняття курсу. Магістранти 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 магістранти 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 магістранта 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>	Індивідуальне завдання	Макс. к-сть балів	1. Триангуляція тривимірної області	5	2. Знаходження переміщень в об'єкті під навантаженням	25	3. Знаходження компонент тензора напружень та головних напружень	10	4. Реалізація алгоритму h-адаптування сітки CE	10
Індивідуальне завдання	Макс. к-сть балів										
1. Триангуляція тривимірної області	5										
2. Знаходження переміщень в об'єкті під навантаженням	25										
3. Знаходження компонент тензора напружень та головних напружень	10										
4. Реалізація алгоритму h-адаптування сітки CE	10										
Питання до заліку чи екзамену.	Крайові та відповідні їм варіаційні задачі фізики та механіки суцільного середовища. Рівняння балансу енергії, маси, імпульсу. Наслідки з них										

	<p>Коректність формулювання варіаційних задач. Метод скінченних елементів. Априорні оцінки похибок і збіжність апроксимацій МСЕ. Апостеріорні оцінювачі похибок (АОП). Надійність та ефективність АОП. Явні та неявні АОП. Індикатори похибок , їхній розподіл. Критерії локального покращення схеми МСЕ. Загальний алгоритм адаптування та його реалізація.</p>
Опитування	<p>Анкету-оцінку з метою оцінювання якості курсу буде надано по завершенню курсу.</p>