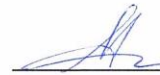


**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**  
**Львівський національний університет імені Івана Франка**  
**Факультет прикладної математики та інформатики**  
**Кафедра інформаційних систем**

**Затверджено**

На засіданні  
кафедри інформаційних систем  
факультету прикладної математики та  
інформатики  
Львівського національного університету  
імені Івана Франка  
(протокол № 7 від 13.02 2023 р.)

Завідувач кафедри Г.А. Шинкаренко



**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 2023 р.

<b>Назва дисципліни</b>	Адаптивні методи аналізу числових моделей
<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 інформаційних систем (ІС)
<b>Галузь знань, шифр та назва спеціальності</b>	12 – інформаційні технології 122 – комп'ютерні науки
<b>Викладачі дисципліни</b>	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
<b>Контактна інформація викладачів</b>	<a href="mailto:heorhiy.shynkarenko@lnu.edu.ua">heorhiy.shynkarenko@lnu.edu.ua</a> ; <a href="https://ami.lnu.edu.ua/employee/shynkarenko">https://ami.lnu.edu.ua/employee/shynkarenko</a> ; Головний корпус ЛНУ ім. І. Франка, каб. 260. м. Львів, вул. Університетська, 1
<b>Консультації з питань навчання по дисципліні відбуваються</b>	Консультації в день проведення лекцій/практичних занять (за попередньою домовленістю) та згідно розкладу консультацій.
<b>Сторінка курсу</b>	<a href="https://ami.lnu.edu.ua/course/adaptyvni-metody-analizu-chyslovyh-modelej">https://ami.lnu.edu.ua/course/adaptyvni-metody-analizu-chyslovyh-modelej</a>
<b>Інформація про дисципліну</b>	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.
<b>Коротка анотація дисципліни</b>	Дисципліна “Методи наукових досліджень” 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).
<b>Мета та цілі дисципліни</b>	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
<b>Література для вивчення дисципліни</b>	<b>Основна:</b> 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 <i>h</i> -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><b>Додаткова:</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>4. <i>Квасниця Г.А.</i> Аналіз задачі про гармонічні хвилі в пружних тілах та її <math>h</math>-адаптивна скінченноелементна апроксимація / Г.А. Квасниця, Г.А. Шинкаренко // Математичні методи та фізико-механічні поля. 2020. Т. 63. №1. С. 52-64.</li> <li>5. <i>Gockenbach M.S.</i> Understanding and Implementing the Finite Element Method. SIAM, 2006. – 380 pp.</li> <li>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.</li> <li>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.</li> <li>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.</li> <li>9. <i>Johnson C.</i> Numerical Solutions of Partial Differential Equations by the Finite Element Method. – Dover Publications, 2009. – 278 pp.</li> <li>10. <i>Verfürth R.</i> A Posteriori Error Estimation Techniques for Finite Element Methods. / R. Verfürth - Oxford University Press, Oxford, 2013.- 416 p.</li> <li>11. <i>Ainsworth M.</i> A Posteriori Error Estimation in Finite Element Analysis. / M. Ainsworth, J.T. Oden - New York: Wiley, 2000.-240 p.</li> <li>12. <i>Zienkiewicz O. C.</i> The Finite Element Method. Vol. 1: The Basis. Oxford: Butterworth &amp; Heinemann, 2002. - 688 p</li> </ol> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. <a href="https://freefem.org/">https://freefem.org/</a></li> <li>2. <a href="https://fem-code.com/">https://fem-code.com/</a></li> <li>3. <a href="http://www.scilab.org">Scilab   www.scilab.org</a></li> </ol>
<b>Обсяг курсу</b>	Загальний обсяг: 180 годин. Аудиторних занять: 64 год., з них 32 год. лекцій та 32 години лабораторних робіт. Самостійної роботи: 116 год. Кредитів: 6.
<b>Очікувані результати навчання</b>	<p>Після завершення цього курсу магістрант буде знати:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Крайові та початково-крайові задачі для рівнянь в частинних похідних. Приклади з фізики і механіки суцільного середовища.</li> <li>- Варіаційна задача. Простори допустимих функцій, білінійна і лінійна форми, неперервність, V-еліптичність і коерцитивність. Коректність варіаційної задачі.</li> <li>- Сингулярна збуреність задачі. Примежеві та внутрішні шари. Критерії подібності та їх застосування.</li> <li>- Закони збереження маси, руху, імпульсу, енергії. Рівняння балансу. Єдиність, регулярність та обмеженість розв'язку задачі.</li> <li>- Апроксимації Гальоркіна та МСЕ. Інтерполяційні властивості базисних функцій МСЕ. Апріорні оцінки похибок і порядки швидкості збіжності послідовності апроксимацій.</li> <li>- Варіаційна задача про похибку (про лишок знайденої апроксимації). Явний та неявний апостеріорні оцінювачі похибок апроксимації МСЕ.</li> <li>- Критерії локального покращення апроксимацій МСЕ, <math>h</math>-, <math>p</math>- та <math>hp</math>-адаптивні схеми, гарантована точність наближень.</li> <li>- Базові алгоритми адаптивних схем, триангуляції Делоне і бісекцій, квадратури Дюнавана, метод спряжених градієнтів для рідко заповнених рівнянь.</li> </ul> <p>Вміти:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Будувати апроксимації МСЕ для еліптичних задач;</li> <li>- Будувати базисні функції апостеріорних оцінювачів похибок;</li> </ul>

	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Будувати критерії локального покращення схем МСЕ</li> <li>- Реалізовувати адаптивні алгоритми МСЕ з використанням сучасних середовищ обчислень;</li> <li>- Аналізувати результати числових експериментів.</li> </ul> <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>
<b>Ключові слова</b>	Варіаційні методи, адаптивні схеми МСЕ, програмна реалізація
<b>Формат курсу</b>	<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:  <a href="https://www.open.edu/openlearn/science-maths-technology/introduction-finite-element-analysis/content-section-1">https://www.open.edu/openlearn/science-maths-technology/introduction-finite-element-analysis/content-section-1</a>  <a href="https://www.edx.org/course/high-performance-finite-element-modeling?source=aw&amp;awc=6798_1587147662_7cb82852a251632f8bb9ad32b97285a1&amp;utm_source=aw&amp;utm_medium=affiliate_partner&amp;utm_content=text-link&amp;utm_term=301045">https://www.edx.org/course/high-performance-finite-element-modeling?source=aw&amp;awc=6798_1587147662_7cb82852a251632f8bb9ad32b97285a1&amp;utm_source=aw&amp;utm_medium=affiliate_partner&amp;utm_content=text-link&amp;utm_term=301045</a> <a href="https://www.class-central.com/">https://www.class-central.com/</a></p> <p>або COURSERA courses:  <a href="https://www.coursera.org/learn/finite-element-method/exam/sO3rZ/unit-2-quiz">https://www.coursera.org/learn/finite-element-method/exam/sO3rZ/unit-2-quiz</a></p>
<b>Теми</b>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Вступ. Мета та завдання курсу. Організація курсу. Комп'ютерні технології наукових та інженерних обчислень.</li> <li>2. Варіаційне формулювання крайових задач для систем рівнянь в часткових похідних. Рівняння балансу. Єдиність, регулярність та обмеженість розв'язків.</li> <li>3. Безрозмірні змінні та критерії подібності, числа Пекле та Струхаля. Сингулярна збуреність задачі.</li> <li>4. Дискретизація варіаційних задач. Простори апроксимацій методу скінченних елементів</li> <li>5. Апріорні оцінки похибок апроксимацій МСЕ. Збіжність послідовності апроксимацій МСЕ. Порядок швидкості збіжності.</li> <li>6. Апостеріорна оцінка похибки апроксимацій МСЕ. Неявні та явний апостеріорні оцінювачі похибок. Надійні та ефективні апостеріорні оцінювачі похибок апроксимацій МСЕ.</li> <li>7. Критерії локального покращення якості схем МСЕ. Стратегії адаптування схем МСЕ. Алгоритми <math>h</math>-, <math>p</math>- та <math>hp</math>-адаптування.</li> <li>8. Базові алгоритми адаптивних схем МСЕ.</li> <li>9. Програмна реалізація алгоритмів адаптивних схем МСЕ, інструментарій обчислювальних експериментів.</li> </ol>
<b>Підсумковий контроль, форма</b>	Екзамен у кінці семестру
<b>Пререквізити</b>	Для вивчення курсу магістранти потребують базових знань з курсів: Чисельні методи; Програмування; Диференціальні рівняння. Методи комп'ютерних обчислень
<b>Навчальні методи та техніки, які будуть використовуватися під час викладання курсу</b>	Презентації, лекції Індивідуальні завдання

<b>Необхідне обладнання</b>	Комп'ютер з Internet доступом.
<b>Критерії оцінювання (окремо для кожного виду навчальної діяльності)</b>	<p>Оцінювання проводиться за 100-бальною шкалою. Бали нараховуються за наступним співвідношенням:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• індивідуальні завдання: 50% семестрової оцінки;</li> <li>• екзамен: 50% семестрової оцінки; максимальна кількість балів 50</li> </ul> <p>Підсумкова максимальна кількість балів 100.</p> <p><b>Письмові роботи:</b> Очікується, що магістранти підготують реферати з теоретичними засадами курсу, описом розроблених програмних засобів та результатами виконання індивідуальних завдань.</p> <p><b>Академічна доброчесність:</b> 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><b>Відвідання занять</b> 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><b>Література.</b> 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><b>Політика виставлення балів.</b> 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>
<b>Питання до заліку чи екзамену.</b>	<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. Явні та неявні АОП. Індикатори похибок, їхній розподіл.</p> <p>Критерії локального покращення схеми МСЕ.</p> <p>Загальний алгоритм адаптування та його реалізація.</p>
<b>Опитування</b>	Анкету-оцінку з метою оцінювання якості курсу буде надано по завершенню курсу.