

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
ДВ Валідація і верифікація програмних систем,
що викладається в межах ОПП Комп'ютерні науки
другого (магістерського) рівня вищої освіти для здобувачів з
спеціальності 122 – комп'ютерні науки

Львів 2023 р.

Назва дисципліни	Валідація і верифікація програмних систем
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, доцент кафедри інформаційних систем, Василишин Богдан Богданович, асистент 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/software-systems-validation-and-verification-cs
Інформація про дисципліну	Метою вивчення вибіркової дисципліни «Валідація і верифікація програмних систем» є ознайомлення із теоретичними основами побудови сучасних програмних засобів, здатних знаходити наближені розв'язки наукових та інженерних проблем з наперед заданою точністю. Основні завдання курсу: (і) ознайомлення із основними властивостями високоточних адаптивних числових схем та способами реалізації їх стратегій з використанням апостеріорних оцінок похибок знайденого наближення; (ii) конструювання алгоритмів адаптивних схем та способів їх реалізації в пакетах прикладних програм. Основну частину курсу займає розгляд практичних і теоретичних аспектів МСЕ та його програмних реалізацій.
Коротка анотація дисципліни	Дана дисципліна є дисципліною вільного вибору студента зі спеціальності 122 – комп'ютерні науки для освітньо-професійної програми Комп'ютерні науки, яка викладається в 2-му семестрі магістерської програми в обсязі 3-ох кредитів (за Європейською Кредитно-Трансферною Системою ECTS).
Мета та цілі дисципліни	Метою вивчення нормативної дисципліни <i>Валідація і верифікація програмних систем</i> є освоєння студентами теоретичних і практичних основ адаптивних МСЕ та принципів розробки програмного забезпечення для їх реалізації на робочих станціях і кластерах.

<p>Література для вивчення дисципліни</p>	<p>Основна:</p> <ol style="list-style-type: none"> 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. Шинкаренко Г.А. Основи екології: Математичні проблеми охорони довкілля. Львів, ЛНУ імені Івана Франка, 2006 – 80 с. https://ami.lnu.edu.ua/wp-content/uploads/2020/04/ЕcoMod.pdf 3. Савула Я.Г. Числовий аналіз задач математичної фізики варіаційними методами. Львів, Вид. центр ЛНУ ім. Івана Франка, 2004 – 221с. https://ami.lnu.edu.ua/academics/library <p>Додаткова:</p> <ol style="list-style-type: none"> 4. Є Абрамов, О Ліпіна, Г Шинкаренко, А Ямелинець. Вісн. Львів. ун-ту. Сер. прикл. матем. та інформ.–2006.–Вип 11, с. 3-18 5. Gockenbach M.S. Understanding and Implementing the Finite Element Method. SIAM, 2006. – 380 pp. 6. Akin J. E. Finite Element Analysis with Error Estimators. Elsevier, 2006. – 447pp. 7. Automated Solution of Differential Equations by the Finite Element Method. The FEniCS Book / A. Logg, K.-A. Mardal, G. Wells, eds. - New York: Springer, 2012. – 719 pp. 8. Larson M.G. The Finite Element Method: Theory, Implementation, and Applications / M. G. Larson, F. Bengzon. - New York: Springer, 2013. – 385 pp. 9. Schmidt A., Siebert K.G. Design of Adaptive Finite Element Software: The Finite Element Toolbox ALBERTA / A. Schmidt, K.G. Siebert. - New York: Springer, 2005. – 317 pp. 10. Szabo B., Babuška I. Finite Element Analysis. Method, Verification and Validation. – Wiley, 2021. – 363 pp. 11. Hlaváček I., Chleboun J., Babuška I. Uncertain Input Data Problems and the Worst Scenario Method. Elsevier, 2004. – 458 pp. 12. Verfurth R.. A Posteriori Error Estimation Techniques for Finite Element Methods, Oxford University Press, 2013. 13. Ostapov O.Yu., Shynkarenko H.A., Vovk O.V., A posteriori error estimator and <i>h</i>-adaptive finite element method for diffusion-advection-reaction problems. Recent Advances in Computational Mechanics, London, Taylor & Francis Group. – 2014. – P. 329-337. 14. Ostapov O.Yu., Shynkarenko H.A., Vovk O.V., Computable two-sided a posteriori error estimates for <i>h</i>-adaptive finite element method. Advances in Mechanics: Theoretical, Computational and Interdisciplinary Issues, London, Taylor & Francis Group. – 2016. – P. 449-453. 15. https://www.coursera.org/learn/finite-element-method/ 16. https://freefem.org/ 17. https://fem-code.com/ 18. Scilab www.scilab.org
<p>Обсяг курсу</p>	<p>Загальний обсяг: 90 годин. Аудиторних занять: 32 год., з них 16 год. лекцій та 16 години практичних робіт. Самостійної роботи: 58 год. Кредитів: 3.</p>
<p>Очікувані результати навчання</p>	<p>Після завершення цього курсу магістрант буде :</p> <p>Знати:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Крайова та варіаційна задачі, головна та природна крайові умови - Простір допустимих функцій, білінійна і лінійна форми, неперервність, V-еліптичність; - Коректність варіаційної задачі, теорема Лакса-Мільграма-Вишика;

	<ul style="list-style-type: none"> - Апроксимації Рітца-Гальборкіна та методу скінченних елементів (МСЕ); - Базисні функції просторів апроксимацій МСЕ: Інтерполяційні властивості апроксимацій МСЕ; - Методи обчислення та розв'язання систем рівнянь МСЕ; - Апріорні оцінки похибки та збіжність апроксимацій МСЕ, апостеріорні оцінки порядків швидкості збіжності апроксимацій МСЕ; - Варіаційна задача про похибку апроксимації (лишок) МСЕ, її наближений розв'язок. - Індикатори та апостеріорні оцінювачі похибок апроксимацій МСЕ. - Локальне покращення схем МСЕ, h-, p- та hp-адаптивні схеми МСЕ. <p>Вміти:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Будувати класичні схеми МСЕ для одно- та двовимірної задачі дифузії-адвекції-реакції та задачі еластостатики; - Будувати адаптивні схеми МСЕ для одно- та двовимірної задачі дифузії-адвекції-реакції та задачі еластостатики; - Реалізовувати адаптивні схеми МСЕ з використанням сучасних технологій та середовищ обчислень; - Аналізувати результати числових експериментів шляхом обчислювальних експериментів з модельними задачами. - 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.
Ключові слова	Варіаційні методи, МСЕ, апостеріорна оцінка похибок апроксимації, критерій та стратегія адаптування, програмна реалізація адаптивних МСЕ
Формат курсу	<p>Очний, дистанційний</p> <p>Проведення лекцій, практичних робіт і консультацій.</p> <p>Ознайомлення з Internet курсами стосовно адаптивних МСЕ</p> <p>Open University courses:</p> <p>eDX courses: High Performance Finite Element Modeling</p> <p>або COURSERA courses:</p> <p>https://www.coursera.org/learn/finite-element-method/exam/sO3rZ/unit-2-quiz</p>

<p>Теми</p>	<p>Тема 1. Вступ: Мета та завдання курсу. Організація курсу. Комп'ютерні технології наукових та інженерних обчислень. Огляд стану проблеми надійного та ефективного комп'ютерного моделювання в науці та інженерії .</p> <p>Тема 2. Адаптивні схеми методу скінченних елементів (АМСЕ): Основні поняття класичних схем МСЕ. Точність апроксимацій , апріорна та апостеріорна оцінки похибок. Задача про похибку, наближені способи її розв'язання. Явні та неявні апостеріорні оцінювачі похибок (АОП), толерантність до похибок, алгоритми їх обчислення. Способи контролю рівня та розподілу похибок. Стратегії адаптування числових схем: h-, p- та hp- варіанти МСЕ.</p> <p>Тема 3. Реалізація адаптивних схем та їх верифікація: Класичні схеми рівномірного згущення сіток і/або підвищення порядків поліноміальних апроксимацій. Обчислення порядків збіжності апроксимацій на послідовності триангуляцій. Методи локального покращення якості розрахункових сіток: бісекції і триангуляції Делоне. Вибір локальних апроксимацій. Рекурентне розв'язання задачі оптимізації про наближення із гарантованою точністю (толеранцією). Метод узагальнених мінімальних залишків розв'язання великих систем алгебричних рівнянь з рідко заповненими матрицями.</p> <p>Тема 4. Розробка алгоритмів та програмних засобів адаптивних схем: Критерії та стратегії адаптування з використанням індикаторів апостеріорних оцінювачів похибок. Середовища обчислень <i>Wolfram Mathematica, FEniCS</i>.</p> <p>Тема 5. Аналіз результатів комп'ютерного моделювання: Планування пост-процесорних обчислень та презентації даних. Характеристики збіжності послідовності обчислених наближень та витрати моделювання.</p>
<p>Підсумковий контроль, форма</p>	<p>Залік у кінці семестру</p>
<p>Пререквізити</p>	<p>Для вивчення курсу студенти потребують базових знань з: <i>Методів комп'ютерних обчислень; Програмування; Функціонального аналізу гільбертових просторів</i> достатніх для сприйняття категоріального апарату адаптивних методів скінченних елементів.</p>
<p>Навчальні методи та техніки, які будуть використовуватися під час викладання курсу</p>	<p>Презентації, лекції Індивідуальні завдання Групові проекти, менторство</p>
<p>Необхідне обладнання</p>	<p>Комп'ютер із Internet доступом та, наприклад, середовище обчислень <i>Wolfram Mathematica</i>.</p>
<p>Критерії оцінювання (окремо для кожного виду навчальної діяльності)</p>	<p>Оцінювання проводиться за 100-бальною шкалою. Бали нараховуються за наступним співвідношенням:</p> <ul style="list-style-type: none"> • доповідь та реферат з індивідуальним завданням : 45% семестрової оцінки; максимальна кількість балів 45; • виконання проекту з програмної реалізації адаптивних схем : 45% семестрової оцінки; максимальна кількість балів 45; • залік: 10% семестрової оцінки; максимальна кількість балів 10 <p>Підсумкова максимальна кількість балів 100.</p> <p>Письмові роботи: Очікується, що студенти виконають комп'ютерне моделювання з використанням авторських програм і відзвітуються доповіддю та рефератом про виконання проекту.</p> <p>Академічна доброчесність: Очікується, що роботи магістрантів будуть їх оригінальними дослідженнями чи міркуваннями. Відсутність посилань на використані джерела, фабрикування джерел, списування становлять, але не</p>

	<p>обмежують, приклади можливої академічної недоброчесності. Виявлення ознак академічної недоброчесності в письмовій роботі магістранта є підставою для її незарахування викладачем, незалежно від масштабів плагіату чи обману.</p> <p>Відвідання занять є важливою складовою навчання. Очікується, що всі студенти відвідають усі лекції та практичні заняття курсу. Студенти повинні інформувати викладача про неможливість відвідати заняття. У будь-якому випадку магістранти зобов'язані дотримуватися термінів визначених для виконання всіх видів робіт та 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 при поточному тестуванні, самостійній роботі та бали підсумкового тестування. При цьому обов'язково враховуються присутність на заняттях та активність студента під час практичного 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. Жодні форми порушення академічної доброчесності не толеруються.</p>
<p>Питання до заліку чи екзамену.</p>	<p>Варіаційна задача і коректність її формулювання. Метод Гальоркіна. Простори апроксимацій МСЕ та їх основні властивості. Априорні оцінки похибки апроксимацій МСЕ та їхня збіжність. Варіаційна задача про похибку (лишок) апроксимацій МСЕ. Явний та неявний апостеріорний оцінювач похибки (АОП) апроксимацій МСЕ. Розподіл індикаторів АОП. Гарантована точність апроксимацій. Критерії та стратегії адаптування схеми МСЕ. Адаптивні схеми МСЕ. Програмні реалізації адаптивних схем МСЕ.</p>
<p>Опитування</p>	<p>Анкету-оцінку з метою оцінювання якості курсу буде надано по завершенню курсу.</p>