

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
“Валідація та верифікація програмних систем”,
що викладається в межах ОПІ Інформатика другого
(магістерського) рівня вищої освіти для здобувачів зі спеціальності
122 – Комп’ютерні науки

Львів 2023 р.

Назва дисципліни	Валідація та 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 (лекції та практичні) Козій Ірина Ярославівна, доцент кафедри інформаційних систем (практичні)
Контактна інформація викладачів	heorhiy.shynkarenko@lnu.edu.ua ; https://ami.lnu.edu.ua/employee/shynkarenko ; iryna.kozyi@lnu.edu.ua ; https://ami.lnu.edu.ua/employee/kozyi ; 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/
Коротка анотація дисципліни	Дана дисципліна є дисципліною вибору в складі програми спеціальності «Інформатика» за спеціальністю комп'ютерні науки для студентів магістерської програми з забезпечення їх реалізації за кредитною системою ЕСТС (назва курсу в українській мові: «Валідація та верифікація програмних систем»).
Інформація про дисципліну	Курс розроблено таким чином, щоб ознайомити учасників із теоретичними основами побудови сучасних програмних засобів, здатних знаходити наближені розв'язки наукових та інженерних проблем з наперед заданою точністю. Основну частину курсу займає розгляд практичних і теоретичних аспектів МСЕ та його програмних реалізацій.
Мета та цілі дисципліни	Метою вивчення дисципліни “Валідація та верифікація програмних систем” є освоєння студентами теоретичних і практичних основ адаптивних МСЕ та принципів розробки програмного забезпечення для їх реалізації на робочих станціях і кластерах. Основні завдання курсу: (i) 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.
Література для вивчення дисципліни	<i>Основна</i> 1. Szabo B., Babuška I. Finite Element Analysis. Method, Verification and Validation. – Wiley, 2021. – 363 pp.

	<ol style="list-style-type: none"> 2. 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. 3. Ostarov O.Yu., Shynkarenko H.A., Vovk O.V., A posteriori error estimator and h-adaptive finite element method for diffusion-advection-reaction problems. Recent Advances in Computational Mechanics, London, Taylor & Francis Group. – 2014. – P. 329-337. 4. Hlaváček I., Chleboun J., Babuška I. Uncertain Input Data Problems and the Worst Scenario Method. Elsevier, 2004. – 458 pp. <p style="text-align: center;"><i>Додаткова</i></p> <ol style="list-style-type: none"> 5. 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/EcoMod.pdf 6. 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 7. Є Абрамов, О Ліпіна, Г Шинкаренко, А Ямелинець. Вісн. Львів. ун-ту. Сер. прикл. матем. та інформ.–2006.–Вип 11, с. 3-18 8. Gockenbach M.S. Understanding and Implementing the Finite Element Method. SIAM, 2006. – 380 pp. 9. Akin J. E. Finite Element Analysis with Error Estimators. Elsevier, 2006. – 447pp. 10. 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. 11. Larson M.G. The Finite Element Method: Theory, Implementation, and Applications / M. G. Larson, F. Bengzon. - New York: Springer, 2013. – 385 pp. 12. 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. 13. Verfurth R.. A Posteriori Error Estimation Techniques for Finite Element Methods, Oxford University Press, 2013. 14. Ostarov O.Yu., Shynkarenko H.A., Vovk O.V., Computable two-sided a posteriori error estimates for h-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
Обсяг курсу	Загальний обсяг: 90 годин. Аудиторних занять: 32 год., з них 16 год. лекцій та 16 години практичних робіт. Самостійної роботи: 58 год.
Очікувані результати навчання	Після завершення цього курсу магістрант буде : Знати: <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; - Апроксимації Рітца-Гальборкіна та методу скінченних елементів (МСЕ);

	<ul style="list-style-type: none"> - 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. <p>Курс забезпечує набуття таких компетентностей:</p> <p>Інтегральна компетентність:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Здатність розв'язувати задачі дослідницького та/або інноваційного характеру у сфері комп'ютерних наук. <p>Загальні компетентності:</p> <ul style="list-style-type: none"> - ЗК01. Здатність до абстрактного мислення, аналізу та синтезу. - ЗК02. Здатність застосовувати знання у практичних ситуаціях. - ЗК05. Здатність вчитися та оволодівати сучасними знаннями. - ЗК06. Здатність бути критичним та самокритичним. - ЗК07. Здатність генерувати нові ідеї (креативність). <p>Фахові компетентності спеціальності:</p> <ul style="list-style-type: none"> - СК01. Усвідомлення теоретичних засад комп'ютерних наук. - СК02. Здатність формалізувати предметну область певного проекту у вигляді відповідної інформаційної моделі. - СК05. Здатність розробляти, описувати, аналізувати та оптимізувати архітектурні рішення інформаційних та комп'ютерних систем різного призначення. - СК07. Здатність розробляти програмне забезпечення відповідно до сформульованих вимог з урахуванням наявних ресурсів та обмежень. <p>та програмних результатів навчання:</p> <ul style="list-style-type: none"> - ПРН06. Розробляти концептуальну модель інформаційної або комп'ютерної системи. - ПРН10. Проектувати архітектурні рішення інформаційних та комп'ютерних систем різного призначення. - ПРН11. Створювати нові алгоритми розв'язування задач у сфері комп'ютерних наук, оцінювати їх ефективність та обмеження на їх застосування. - ПРН14. Тестувати програмне забезпечення. - ПРН17. Виявляти та усувати проблемні ситуації в процесі експлуатації програмного забезпечення, формулювати завдання для його модифікації або реінжинірингу
Ключові слова	Варіаційні методи, МСЕ, апостеріорна оцінка похибок апроксимації, критерій та стратегія адаптування, програмна реалізація адаптивних МСЕ
Формат курсу	Очний

Проведення лекцій, практичних робіт і консультацій. Ознайомлення з Internet курсами стосовно адаптивних МСЕ						
Схема курсу	Тиждень	Тема, короткі тези	Форма заняття	Тривалість, Акад. год	Література	Термін Виконання
	1	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.	Лекція	2	10,11	
	2	Тема 2. Адаптивні схеми методу скінченних елементів (АМСЕ): Основні поняття класичних схем методу скінченних елементів (МСЕ). <i>Точність наближення, апіорна та апостеріорна оцінки похибок апроксимацій МСЕ, їхні порядки швидкості збіжності.</i>	Лекція	2	1,5,8	
	3.	Розробка алгоритмів та програм обчислення апроксимацій МСЕ для довимірних задач дифузії-адвекції-реакції або еластостатики. Середовища обчислень <i>Wolfram Mathematica, FEniCS.</i>	Практ.	7	2	Два тижні
	4	Задача про похибку, наближені способи її розв'язання. Явні та неявні апостеріорні оцінювачі похибок (АОП), толерантність до похибок, алгоритми їх обчислення.	Лекція	2	1,2,12	
	5	Конструювання алгоритмів обчислення норм знайдених апроксимацій МСЕ в просторах Лебега і Соболева. Реалізація рівномірного згущення сіток для обчислення послідовності поліноміальних апроксимацій МСЕ.	Практ.	2	7,9,13	Два тижні
	6	<i>Явні та неявні апостеріорні оцінювачі похибок (АОП), толерантність до похибок, алгоритми обчислення АОП. Способи контролю рівня та розподілу похибок. Стратегії адаптування числових схем: h-, p- та hp- варіанти МСЕ.</i>	Лекція	2	4,8,12,13,14	
	7	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.	Практ.	2	7,12-14	Два тижні
	8	Тема 3. Реалізація адаптивних схем та їх верифікація: Методи обчислення порядків збіжності апроксимацій та їхніх АОП на послідовності триангуляцій. <i>Локальний аналіз апроксимацій з використанням індикаторів АОП.</i> Заздалегідь призначений рівень допустимої похибки (толерантність до похибки).	Лекція	2	1,4,12-14	
	9	Алгоритми обчислення розподілів індикаторів АОП апроксимацій МСЕ.	Практ.	2	1,4,12-14	Два тижні
	10	Локальне покращення якості неструктурованих сіток: бісекції і триангуляції Делоне. Рекурентне розв'язання задачі оптимізації про наближення із гарантованою точністю (толеранцією).	Лекція	2	7,9,12-14	
	11	Метод узагальнених мінімальних залишків розв'язання великих систем алгебричних рівнянь з рідко заповненими матрицями.	Практ.	2	12-14	Тиждень
	12	Тема 4. Розробка алгоритмів та програм адаптивних схем МСЕ: Критерії та стратегії адаптування. Середовища обчислень <i>Wolfram Mathematica, FEniCS.</i>	Лекція	2	7,9,12-14	
	13	Верифікація програмного забезпечення. Особливості використання <i>Wolfram Mathematica, FEniCS.</i>	Практ.	2	7,9,12	
	14	Тема 5. Аналіз результатів комп'ютерного моделювання: Планування пост-процесорних обчислень та презентації даних.	Лекція	2	4,13,14	
15	Характеризація збіжності наближень МСЕ та витрати комп'ютерного моделювання.	Практ.	2		Тиждень	
16	Доповіді та/або реферати за результатами експериментів	Практ.	2		Звіт/рефер	
Підсумковий контроль, форма	Залік у кінці семестру					
Пререквізити	Для вивчення курсу студенти потребують базових знань з: <i>Методів комп'ютерних обчислень; Програмування; Функціонального аналізу гільбертових просторів</i> достатніх для сприйняття категоріального апарату методів скінченних елементів.					

<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.</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"> • реферат з індивідуальним завданням : 40% семестрової оцінки; максимальна кількість балів 40; • виконання проекту з програмної реалізації адаптивних схем: 40% семестрової оцінки; максимальна кількість балів 40; • залік: 20% семестрової оцінки; максимальна кількість балів 20 <p>Підсумкова максимальна кількість балів 100.</p> <p>Письмові роботи: Очікується, що студенти виконають комп'ютерне моделювання з використанням авторських програм і відзвітуються 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 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</p>	<p>Варіаційна задача і коректність її формулювання.Метод Гальоркіна. Простори апроксимацій МСЕ та їх основні властивості. Апріорні 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.</p>

	Програмні реалізації адаптивних схем МСЕ.
Опитування	Анкету-оцінку з метою оцінювання якості курсу буде надано по завершенню курсу.