

**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 31.08.2020 р.)



Завідувач кафедри Г.А. Шинкаренко

**Силабус з навчальної дисципліни**

**Чисельне моделювання у проблемах взаємодії фізико-механічних полів,**

**що викладається в межах ОНП Прикладна математика  
третього (аспірантського) рівня вищої освіти для здобувачів з  
спеціальності 113 – прикладна математика**

Львів 2020р.

<b>Назва дисципліни</b>	Чисельне моделювання у проблемах взаємодії фізико-механічних полів
<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>	11 – математика та статистика 113 – прикладна математика
<b>Викладачі дисципліни</b>	Шинкаренко Георгій Андрійович, професор 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/employee/shynkarenko">https://ami.lnu.edu.ua/employee/shynkarenko</a>
<b>Інформація про дисципліну</b>	Курс надає знання принципів побудови проекційно-сіткових схем та їх реалізації для наукових та інженерних обчислень у проблемах взаємодії фізичних та механічних полів, зокрема, у застосуваннях термопружності, термогідроакустики, пезо- і піроелектрики.
<b>Коротка анотація дисципліни</b>	Дисципліна “Чисельне моделювання у проблемах взаємодії фізико-механічних полів” є вибірковою дисципліною з спеціальності 113 – прикладна математика для освітньої програми, яка викладається в 4-му семестрі в обсязі 3-ох кредитів (за Європейською Кредитно-Трансферною Системою ECTS).
<b>Мета та цілі дисципліни</b>	Метою вивчення цієї дисципліни є освоєння аспірантами теоретичних і практичних основ консервативних проекційно-сіткових схем, принципів розробки програмного забезпечення для їх реалізації та способів аналізу результатів числових експериментів
<b>Література для вивчення дисципліни</b>	<ol style="list-style-type: none"> <li>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.</li> <li>2. Шинкаренко Г.А. Проекційно-сітково методи розв’язування початково-крайових задач. Київ, НМКВО, 1991. – 88 с.</li> <li>3. Ignaczak J. Thermoelasticity with finite wave speeds/J. Ignaczak, M. Ostoja-Starzewski. – New York: Oxford University Press Inc., 2010. – 412p.</li> <li>4. V.V. Stelmashchuk, H.A. Shynkarenko. Well-Posedness of the Lord–Shulman Variational Problem of Thermopiezoelectricity. Journal of Mathematical Sciences, – 2019. – Vol. 238. – No 2. – pp. 139-153.</li> <li>5. Gockenbach M.S. Understanding and Implementing the Finite Element Method. SIAM, 2006. – 380 pp.</li> <li>6. Zienkiewicz O. C. The Finite Element Method. Vol. 1: The Basis. Oxford: Butterworth &amp; Heinemann, 2002. - 688 p</li> </ol>

	<p>7. STELMASHCHUK V.V., SHYNKARENKO H.A.: Numerical solution of Lord-Shulman thermopiezoelectricity forced vibrations problem Journal of Computational &amp; Applied Mathematics. – 2016. – No. 2. – P. 106-119. ISSN: 0868-6912.</p> <p>8. CHYR I.A., SHYNKARENKO H.A.: Well-posedness of the Green-Lindsay variational problem of dynamic thermoelasticity, Math. Methods, and Physical and Mechanical Fields. 2016, 58 (3), 15-25. ISSN 0130–9420. (In Ukrainian)</p> <p>9. Bermudez A. Two discretization schemes for a time-domain dissipative acoustics problem / A. Bermudez, R. Rodrigues, D. Santamarina // Mathematical Models and Methods in Applied Sciences. – 2006. – Vol. 16, Issue 10. – Pp. 1559-1598.</p> <p>10. <a href="https://freefem.org/">https://freefem.org/</a></p> <p>11. <a href="https://fem-code.com/">https://fem-code.com/</a></p> <p>12. <a href="http://www.scilab.org">Scilab   www.scilab.org</a></p>
<b>Обсяг курсу</b>	Загальний обсяг: 90 годин, з них 32 год. лекцій та 16 год. практичних. Самостійної роботи: 42 год.
<b>Очікувані результати навчання</b>	<p>Після завершення цього курсу аспірант буде :</p> <p>Знати:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Лінійні оператори і функціонали в гільбертових просторах;</li> <li>- Крайова та початково-крайова задачі для систем рівнянь в частинних похідних. Приклади механіки суцільного середовища.</li> <li>- Варіаційна задача. Простори допустимих функцій, білінійна і лінійна форми, неперервність, V-еліптичність і коерцитивність.</li> <li>- Закони збереження маси, руху, імпульсу, енергії. Рівняння балансу. Єдиність, регулярність та обмеженість розв'язку задачі.</li> <li>- Коректність стаціонарної варіаційної задачі, теорема Лакса-Мільграма-Вишика;</li> <li>- Апроксимації Рітца-Гальоркіна та методу скінченних елементів (МСЕ). Базисні функції просторів апроксимацій МСЕ. Інтерполяційні властивості апроксимацій МСЕ. Ап'риорні оцінки похибки та збіжність апроксимацій МСЕ.</li> <li>- Початково-крайові та варіаційні задачі для гіперболо-параболічних систем рівнянь, рівняння балансу та наслідки з них.</li> <li>- Напівдискретні апроксимації Гальоркіна.</li> <li>- Однокрокові рекурентні схеми інтегрування в часі, їх стійкість та збіжність.</li> </ul> <p>Вміти:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Будувати апроксимації МСЕ для еліптичних задач;</li> <li>- Будувати напівдискретні апроксимації для нестационарних задач;</li> <li>- Реалізовувати схеми МСЕ з використанням сучасних технологій та середовищ обчислень;</li> <li>- Аналізувати результати числових експериментів.</li> </ul>
<b>Ключові слова</b>	Варіаційні методи, МСЕ схеми інтегрування в часі, 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><b>Open University courses:</b></p> <p><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></p> <p><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%3A%2F%2Fwww.class-central.com%2F">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%3A%2F%2Fwww.class-central.com%2F</a></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>
<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 та початково-крайових задач для систем рівнянь в часткових похідних в гільбертових просторах. Рівняння балансу. Єдиність, регулярність та обмеженість розв'язків.</li> <li>3. Дискретизація варіаційних задач. Метод Гальоркіна. Метод скінченних елементів</li> <li>4. Ап'юріорні оцінки похибок апроксимацій МСЕ. Збіжність послідовності апроксимацій МСЕ.</li> <li>5. Варіаційне формулювання еволюційних варіаційних задач. Рівняння балансу.</li> <li>6. Напівдискретні апроксимації Гальоркіна. Стійкість і збіжність напівдискретних апроксимацій.</li> <li>7. Дискретизація варіаційних задач за часовою змінною. Однокрокові рекурентні схеми інтегрування в часі з лінійними та квадратичними апроксимаціями. Рівняння балансу та можливі порушення механізму обміну енергією між полями взаємодії.</li> <li>8. Стійкість та збіжність рекурентних схем. Безумовно стійкі схеми. Вибір параметрів схеми</li> <li>9. Проблеми комп'ютерного моделювання, обчислювальний експеримент.</li> </ol>
<b>Підсумковий контроль, форма</b>	Екзамен у кінці семестру
<b>Пререквізити</b>	Для вивчення курсу аспіранти потребують базових знань з курсів: Чисельні методи; Програмування; Функціональний аналіз. Диференціальні рівняння
<b>Навчальні методи та техніки, які будуть використовуватися під час викладання курсу</b>	Презентації, лекції Індивідуальні завдання
<b>Необхідне обладнання</b>	Комп'ютер з відповідним програмним забезпеченням та 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; максимальна кількість балів 50</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 аспіранти підготують реферат з теоретичними засадами курсу та результатами своїх індивідуальних завдань.</p> <p><b>Академічна доброчесність:</b> Очікується, що роботи слухачів будуть їх оригінальними дослідженнями та міркуваннями. Відсутність посилань на використані джерела, фабрикавання джерел. Виявлення ознак академічної</p>

	<p>недоброчесності в рефераті є підставою для незарахування викладачем, незалежно від масштабів плагіату.</p> <p><b>Відвідання занять</b> є важливою складовою навчання. Очікується, що аспіранти відвідають лекції та лабораторні заняття курсу. Аспіранти повинні інформувати викладача про неможливість відвідати заняття. У будь-якому випадку студенти зобов'язані дотримуватися термінів індивідуальних завдань, передбачених курсом.</p> <p><b>Література.</b> Уся література, яку аспіранти 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 аспіранта 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>
<p><b>Питання до заліку чи екзамену.</b></p>	<p>Початково-крайові та відповідні їм варіаційні задачі фізик та механіки суцільного середовища: термопружності, термогідроакустики, пезо- і піроелектрики</p> <p>Рівняння балансу енергії, маси, імпульсу. Наслідки з них</p> <p>Коректність формулювання варіаційних задач.</p> <p>Метод скінченних елементів. Оцінки похибок і збіжність апроксимацій МСЕ.</p> <p>Напівдискретні апроксимації МСЕ за просторовими змінними. Рівняння балансу напівдискретизованих задач. Похибки напівдискретизації МСЕ.</p> <p>Однокрокові рекурентні схеми (ОРС) інтегрування за часовою змінною.</p> <p>Рівняння балансу цілком дискретизованої задачі та його наслідки стосовно єдиності розв'язку. Стійкість ОРС, оцінки похибок та збіжність.</p>
<p><b>Опитування</b></p>	<p>Анкету-оцінку з метою оцінювання якості курсу буде надано по завершенню курсу.</p>