

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Львівський національний університет імені Івана Франка
Факультет прикладної математики та інформатики
Кафедра теорії оптимальних процесів

Затверджено

На засіданні кафедри теорії оптимальних процесів факультету прикладної математики та інформатики Львівського національного університету імені Івана Франка

(протокол № 1 від 28.08.2024 р.)



Завдувач кафедри Шахно С.М.

Силабус з навчальної дисципліни
“Числові методи нелінійного і системного аналізу”,
що викладається в межах ОПП Системний аналіз
другого (магістерського) рівня вищої освіти для здобувачів з
спеціальності 124 – системний аналіз

Львів 2024р.

| | |
|--|---|
| Назва дисципліни | Числові методи нелінійного і системного аналізу |
| 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 теорії оптимальних процесів |
| Галузь знань, шифр та назва спеціальності | 12 – інформаційні технології 124 – системний аналіз |
| Викладачі дисципліни | Шахно Степан Михайлович, завідувач кафедри теорії оптимальних процесів, професор, Чипурко Андрій Іванович, доцент |
| Контактна інформація викладачів | stepan.shakhno@lnu.edu.ua ; https://ami.lnu.edu.ua/employee/shahno ; https://ami.lnu.edu.ua/employee/chypurko-andriy-ivanovych Головний корпус ЛНУ ім. І. Франка, ауд. 269. м. Львів, вул. Університетська, 1 |
| Консультації з питань навчання по дисципліні відбуваються | Консультації в день проведення лекцій/практичних, лабораторних занять (за попередньою домовленістю). |
| Сторінка курсу | https://ami.lnu.edu.ua/course/dv2-chyslovi-metody-neliniynoho-i-systemnoho-analizu |
| Інформація про дисципліну | Дисципліна “Числові методи нелінійного і системного аналізу” є вибірковою дисципліною зі спеціальності 124 – системний аналіз для магістерської освітньої програми, яка викладається в 2-му семестрі в обсязі 4-ох кредитів (за Європейською Кредитно-Трансферною Системою ECTS). |
| Коротка анотація дисципліни | У курсі вивчаються різницеві схеми та обчислювальні методи розв’язування нелінійних крайових задач для звичайних диференціальних рівнянь та задач математичної фізики, методи зведення нелінійних крайових задач для ЗДР до задач Коші та систем нелінійних алгебраїчних рівнянь, метод лінеаризації, методи продовження розв’язку за параметром, методи розв’язування нелінійних задач газової динаміки. Вивчаються питання чисельної стійкості та збіжності алгоритмів і їх реалізації на комп’ютерах.. Також розглядаються математичні методи прийняття рішень в умовах конфлікту, усі етапи системного дослідження, класифікація типових задач прийняття рішень в умовах конфлікту, розкриття невизначеностей у задачах системного аналізу. |
| Мета та цілі дисципліни | Метою цього курсу є ознайомлення студентів з типовими нелінійними задачами математичної фізики та нелінійними задачами для звичайних диференціальних рівнянь. Навчити студентів використовувати математичні методи прийняття рішень в умовах конфлікту, виконувати усі етапи системного дослідження, класифікувати типові задачі прийняття рішень в умовах конфлікту, розкриття невизначеностей у задачах системного аналізу. Цілі: Дана дисципліна дає можливість студентам оволодіти основними методами розв’язування систем нелінійних рівнянь, нелінійних задач математичної фізики, обирати метод розв’язування задачі прийняття |

| | |
|---|--|
| | рішень в умовах конфлікту відповідно до її типу, розкриття невизначеностей у задачах системного аналізу та здійснити практичну реалізацію деяких з них на модельних задачах. |
| Література для вивчення дисципліни | <p style="text-align: center;">Базова</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Панкратова Н.Д.. Системний аналіз. Теорія та застосування. Київ, Наукова думка, 2018, 347 с. 2. Григоренко Я.М., Панкратова Н.Д. Обчислювальні методи в задачах прикладної математики. Київ, Либідь, 1995, 280 с. 3. Шахно. С.М. Різницеві та параметричні ітераційні методи для розв'язування нелінійних задач : автореф. дис. ... д-ра фіз.-мат. наук : 01.05.02. — К., 2012. 4. Ortega, J.M., Poole, W.G. An Introduction to Numerical Methods for Differential Equations. Front Cover. Pitman Pub., 1981 - 329 p. 5. Samarskii A.A. The Theory of Difference Schemes. CRC Press, 2001. 786 p. 6. Argyros I.K. The Theory and Applications of Iteration Methods CRC Press, 2022, 470 p. 7. Argyros I.K., Regmi S., Shakhno S., Yarmola H.. A Methodology for Obtaining the Different Convergence Orders of Numerical Method under Weaker Conditions // <i>Mathematics</i> 2022, 10(16), 2931; https://doi.org/10.3390/math10162931 8. Шахно С. М. Диференціально-різницевий метод з апроксимацією оберненого оператора / С.М. Шахно, Г.П. Ярмола // Фізико-математичне моделювання та інформаційні технології. – 2021. – Випуск 33. – С. 186-190. 9. Argyros, I.K., Shakhno, S., Yarmola, H. Extended local and semilocal convergence for interpolatory iterative methods for nonlinear equations // <i>SeMA Journal</i>, 2022, 79(4), pp. 619–630. 10. А.Т. Дудикевич, С.М. Левицька, С.М. Шахно. Практична реалізація методів розв'язування крайових задач для звичайних диференціальних рівнянь. Методичні матеріали. Львів, ЛНУ, 2000, 38 с 11. А.Т. Дудикевич, С.М. Левицька, С.М. Шахно. Практична реалізація методів розв'язування нелінійних рівнянь і систем. Навч.-мет. посібник. Львів, 2007, 78 с. 12. Волошин О.Ф. Моделі та методи прийняття рішень : навч. посіб. для студ. вищ. навч. закл. / О. Ф. Волошин, С. О. Мащенко. – 2-ге вид., перероб. та допов. – К. : Видавничо-поліграфічний центр "Київський університет", 2010. – 336 с. <p style="text-align: center;">Допоміжна</p> <ol style="list-style-type: none"> 13. J.M. Ortega, W. C. Rheinboldt. Iterative Solution of Nonlinear Equations in Several Variables. New York, Academic Press, 1970. 14. Шахно С.М., Дудикевич А.Т., Левицька С.М. Практикум з чисельних методів : навч. Посібник , Л. : ЛНУ ім. Івана Франка, 2013. - 432 с. 15. J.E. Dennis, Jr., Robert B. Schnabel. Numerical methods for unconstrained optimization and nonlinear equations /. Cambridge University Press, 1987, 394 p. 16. С.М. Шахно, Г.П. Ярмола. Чисельні методи розв'язування задач нелінійного і системного аналізу. Навчально-методичний посібник. - Львів : ЛНУ ім. І. Франка , 2021 , 98 с. |
| Обсяг курсу | Загальний обсяг: 120 годин. Аудиторних занять: 32 год., з них 16 год. практичних і 16 год. лабораторних занять. Самостійної роботи: 88 год. |
| Очікувані результати навчання | .В результаті вивчення даного курсу студент повинен знати : основні чисельні методи розв'язування нелінійних крайових задач для звичайних диференціальних рівнянь та рівнянь в частинних похідних, |

| | |
|----------------------|--|
| | <p>основні поняття систем прийняття рішень в умовах конфлікту, основні методи дослідження систем та розв'язку задач прийняття рішень в умовах конфлікту; розкриття невизначеностей у задачах системного аналізу.</p> <p>вміти: будувати різницеві схеми для крайових задач для звичайних диференціальних рівнянь та рівнянь в частинних похідних, застосовувати ітераційні методи та алгоритми для їх розв'язування, створювати програми для реалізації конкретних нелінійних задач, застосовувати вивчені методи до конкретних задач нелінійного та системного аналізу.</p> |
| Ключові слова | Рівняння теплопровідності, неявна різницева схема, метод Ньютона, метод Пікара, прийняття рішень в умовах конфлікту, задачі та методи розкриття невизначеностей цілей. |
| Формат курсу | Очний, дистанційний . Проведення лекційних та лабораторних занять, виконання індивідуальних завдань, реалізація програм і консультації. |
| Теми | <p>Змістовий модуль 1. Різницеві методи розв'язування нелінійних рівнянь математичної фізики.</p> <ol style="list-style-type: none"> Різницеві методи розв'язування нелінійних рівнянь математичної фізики. Квазілінійне рівняння теплопровідності. Стаціонарна задача. Апроксимація та збіжність. Стаціонарна задача 1. Стаціонарна задача 2. Стаціонарна задача 3. Метод Ньютона та метод Пікара для розв'язування квазілінійного рівняння теплопровідності (стаціонарна задача). Різницева схема для нестационарного квазілінійного рівняння теплопровідності. Метод Ньютона та його локальна збіжність. Різні неявні схеми для квазілінійного рівняння теплопровідності. Побудова простого ітераційного процесу. Розрахунок температурних хвиль. Застосування методу Ньютона для квазілінійного рівняння теплопровідності (схема $O(\tau + h^2)$). Застосування методу Ньютона для квазілінійного рівняння теплопровідності (схема $O(\tau^2 + h^2)$). <p>Змістовий модуль 2. Методи розв'язання нелінійних крайових задач для звичайних диференціальних рівнянь.</p> <ol style="list-style-type: none"> Методи розв'язання нелінійних крайових задач для звичайних диференціальних рівнянь (класифікація). Метод зведення нелінійної крайової задачі до системи нелінійних рівнянь і задачі Коші. Метод лінеаризації розв'язування нелінійних крайових задач для звичайного диференціального рівняння другого порядку Метод лінеаризації розв'язування нелінійних крайових задач для системи звичайних диференціальних рівнянь першого порядку. Метод продовження розв'язку за параметром. Спосіб введення параметра і розв'язування задачі Коші. Метод Рітца розв'язування крайових задач для ЗДР. <p>Змістовий модуль 3. Методи розв'язання нелінійних задач газової динаміки</p> <ol style="list-style-type: none"> Різницеві схеми для рівнянь газової динаміки. Явні схеми для різницевої схем ГД. Простий ітераційний процес для різницевої схем ГД. Метод Ньютона для різницевої схем ГД. <p>Змістовий модуль 4. Розкриття невизначеностей у задачах системного аналізу.</p> |

| | <p>17. Задачі та методи розкриття невизначеності цілей. Розкриття невизначеності цілей на підставі принципу Парето. Метод технічних обмежень. Розкриття невизначеності дії партнера або супротивника.</p> <p>18. Задача взаємодії двох партнерів. Задача протидії двох суб'єктів.</p> | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---------------------------------|----|----------------|-------------------------------|-------------------------------|--|---------------------------------|--|-------|---|--------|---|---|--------|-------------|---|-------|---|---|-------|---|-------|--|---|-------|---|-------|---|---|-------|---|-------|--|---|-------|----|-------|---|----|-------|---|
| Підсумковий контроль, форма | Залік. | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Пререквізити | Для вивчення курсу студенти потребують базових знань з математичного аналізу; алгебри, диференціальних рівнянь, системного аналізу, програмування, достатніх для сприйняття сучасних методів розв'язування задач математичної фізики та системного аналізу. | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Навчальні методи та техніки, які будуть використовуватися під час викладання курсу | Практичні, лабораторні заняття в аудиторіях та комп'ютерних класах. Індивідуальні завдання. | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Необхідне обладнання | Комп'ютер із стандартним програмним забезпеченням, Internet доступ.. | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Критерії оцінювання (окремо для кожного виду навчальної діяльності) | <p>Оцінювання проводиться за 100-бальною шкалою.</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2" rowspan="2">Оцінка ЄКТС</th> <th rowspan="2">Оцінка в балах</th> <th colspan="3">Оцінка за національною шкалою</th> </tr> <tr> <th colspan="2">Екзамен, диференційований залік</th> <th>залік</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>A</td> <td>90-100</td> <td>5</td> <td>A</td> <td>90-100</td> <td rowspan="5">5 4 3</td> </tr> <tr> <td>B</td> <td>81-89</td> <td>4</td> <td rowspan="2">B</td> <td>81-89</td> </tr> <tr> <td>C</td> <td>71-80</td> <td></td> <td>C</td> <td>71-80</td> </tr> <tr> <td>D</td> <td>61-70</td> <td>3</td> <td rowspan="2">D</td> <td>61-70</td> </tr> <tr> <td>E</td> <td>51-60</td> <td></td> <td>E</td> <td>51-60</td> </tr> <tr> <td>FX</td> <td>21-50</td> <td>2</td> <td>FX</td> <td>21-50</td> <td>2</td> </tr> </tbody> </table> <p>Впродовж семестру студент може отримати 100 балів. З них:</p> <ul style="list-style-type: none"> - за роботу на лабораторних заняттях: максимальна кількість – 50 балів (3 програми (індивідуальні завдання), 2 по 20 б. 1 завдання - 10 балів); для кожного завдання встановлено терміни здачі. Роботи, які здаються із порушенням термінів без поважних причин, оцінюються на нижчу оцінку (кожне лабораторне заняття на 20% балів менше). - контрольна робота: максимальна кількість – 50 балів (3 практичних і 2 теоретичних завдання по 10 б.). | Оцінка ЄКТС | | Оцінка в балах | Оцінка за національною шкалою | | | Екзамен, диференційований залік | | залік | A | 90-100 | 5 | A | 90-100 | 5 4 3 | B | 81-89 | 4 | B | 81-89 | C | 71-80 | | C | 71-80 | D | 61-70 | 3 | D | 61-70 | E | 51-60 | | E | 51-60 | FX | 21-50 | 2 | FX | 21-50 | 2 |
| Оцінка ЄКТС | | | | | Оцінка в балах | Оцінка за національною шкалою | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | Екзамен, диференційований залік | | залік | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| A | 90-100 | 5 | A | 90-100 | 5 4 3 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| B | 81-89 | 4 | B | 81-89 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| C | 71-80 | | | C | | 71-80 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| D | 61-70 | 3 | D | 61-70 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| E | 51-60 | | | E | | 51-60 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| FX | 21-50 | 2 | FX | 21-50 | 2 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

Підсумкова максимальна кількість балів 100.

| Поточне тестування та самостійна робота | | | Контр. робота | Залік | Сума |
|---|---------------------------|---------------------------|---------------|-------|------|
| Індивідуальне завдання №1 | Індивідуальне завдання №2 | Індивідуальне завдання №3 | 50 | | 100 |
| 20 | 20 | 10 | | | |

Критерії оцінювання індивідуальних завдань:

3 завдання:

10 балів – студент повністю виконав умови завдання, алгоритм реалізовано правильно, відповідає на всі запитання, пов'язані з тематикою завдання, проводить чіткий аналіз та порівняння отриманих результатів, пропонує інші підходи до вирішення поставленого завдання;

8-9 балів – студент повністю виконав умови завдання, на деякі запитання, алгоритм реалізовано правильно, пов'язані з тематикою завдання, відповідає з незначними неточностями, проводить аналіз отриманих результатів з незначними неточностями;

6-7 балів – студент виконав завдання з незначними помилками, але самостійно їх виправляє, якщо на них вкаже викладач, на деякі запитання, пов'язані з тематикою завдання, відповідає з неточностями, проводить аналіз отриманих результатів з неточностями;

4-5 бали – студент виконав завдання частково, алгоритм реалізовано з помилками, які частково може виправити, якщо на них вкаже викладач, на запитання відповідає з помилками, проводить аналіз отриманих результатів з помилками;

2-3 бали – студент виконав завдання частково, алгоритм реалізовано з помилками, які самостійно не може виправити, переважно не відповідає на запитання;

1 бал – студент виконав завдання частково з грубими помилками, які самостійно не може виправити, демонструє незнання матеріалу;

0 балів – студент не виконав завдання.

1-2 завдання: Відповідні бали цієї таблиці подвоюються.

Академічна доброчесність:

Відвідування лекцій та лабораторних завдань обов'язкове.

Жодні форми порушення академічної доброчесності не толеруються.

Питання до заліку.

Наведені у розділі "Теми".

Опитування

Анкету-оцінку з метою оцінювання якості курсу буде надано по завершенню курсу.

Схема курсу «Числові методи нелінійного і системного аналізу»

| Тиждень | Тема, план, короткі тези | Форма діяльності (заняття) | Література. Ресурси в інтернеті | Завдання, год. | Термін виконання |
|---------|--|----------------------------|---------------------------------|---|--------------------------------|
| 1 | Тема 1. Квазілінійне рівняння теплопровідності. Стаціонарна задача. Апроксимація та збіжність. Метод Ньютона та метод Пікара для розв'язування цієї задачі. | практичне (2 год.) | [2,3,4,5, 8,14] | Опрацювання лекційного матеріалу (5 год.) | 1 тиждень |
| 2 | Тема 1. (Індивідуальне завдання №1. Реалізувати метод Ньютона та метод Пікара для розв'язування стаціонарної задачі квазілінійного рівняння теплопровідності | лабораторне (2 год.) | [2,3,4,5, 8,14] | Виконання індивідуального завдання №1 (12 год.) | під час заняття 2 тижні |
| 3 | Тема 2. Різницева схема для нестаціонарного квазілінійного рівняння теплопровідності. Метод Ньютона та його локальна збіжність. Різні неявні схеми для квазілінійного рівняння теплопровідності. Побудова простого ітераційного процесу. Розрахунок температурних хвиль. | практичне (2 год.) | [2,3,4,5,14] | Опрацювання лекційного матеріалу (5 год.) | 1 тиждень |
| 4 | Тема 2. Застосування простого ітераційного процесу для квазілінійного рівняння теплопровідності (схема $O(\tau + h^2)$). Застосування методу Ньютона для квазілінійного рівняння теплопровідності (схема $O(\tau^2 + h^2)$). (Реалізація простого ітераційного процесу для квазілінійного рівняння теплопровідності (схема $O(\tau + h^2)$).) | лабораторне (2 год.) | [2,4,5,14] | Розв'язування вправ (6 год.) | під час заняття 2 тижні |
| 5 | Тема 3. Методи розв'язання нелінійних крайових задач для звичайних диференціальних рівнянь (класифікація). Метод зведення нелінійної крайової задачі до системи нелінійних рівнянь і задачі Коші. Метод лінеаризації розв'язування нелінійних крайових задач для звичайного диференціального рівняння другого порядку | практичне (2 год.) | [2,10,11, 14, 15] | Опрацювання лекційного матеріалу (6 год.) | 1 тиждень |

| | | | | | |
|----|--|-------------------------|----------------------|--|--------------------------------|
| 6 | Тема 3. Метод лінеаризації розв'язування нелінійних крайових задач для звичайного диференціального рівняння другого порядку Задача індивідуального завдання №1 <i>(Індивідуальне завдання №2. Реалізувати метод лінеаризації для ЗДР другого порядку)</i> | лабораторне (2 год.) | [2,10,11, 14, 15] | Виконання індивідуального завдання №2 (12 год.) | під час заняття 2 тижні |
| 7 | Тема 4. Метод лінеаризації розв'язування нелінійних крайових задач для системи звичайних диференціальних рівнянь першого порядку. Метод продовження розв'язку за параметром. Спосіб введення параметра і розв'язування задачі Коші. Метод Рітца розв'язування крайових задач для ЗДР. | практичне (2 год.) | [2,10,11, 14, 15] | Опрацювання лекційного матеріалу (4 год.) | 1 тиждень |
| 8 | Тема 4. Метод Рітца розв'язування крайових задач для ЗДР. Задача індивідуального завдання №2 | лабораторне (2 год.) | [2,10,11, 14, 15] | Розв'язування вправ (6 год.) | під час заняття 2 тижні |
| 9 | Тема 5. Різницеві схеми для рівнянь газової динаміки. Явні схеми для різницевих схем ГД. | практичне (2 год.) | [5, 16]] | Опрацювання лекційного матеріалу (4 год.) | 1 тиждень |
| 10 | Тема 5. Особливості реалізації явних схем для різницевих рівнянь газової динаміки | лабораторне (2 год.) | [5, 16]] | Розв'язування вправ (4 год.) | під час заняття |
| 11 | Тема 6. Простий ітераційний процес для різницевих схем ГД. Метод Ньютона для різницевих рівнянь газової динаміки. | практичне (2 год.) | [5, 16]] | Опрацювання лекційного матеріалу (4 год.) | 1 тиждень |
| 12 | Тема 6. Побудова простого ітераційного процесу та методу Ньютона для різницевих схем РГД. | лабораторне (2 год.) | [5, 16]] | Розв'язування вправ (4 год.) | під час заняття 2 тижні |
| 13 | Тема 7. Задачі та методи розкриття невизначеності цілей. Розкриття невизначеності цілей на підставі принципу Парето. | лекція (2 год.) | [1,12,14] | Опрацювання лекційного матеріалу (5 год.) | 1 тиждень |

| | | | | | |
|-----------|--|-------------------------|-----------|---|-----------------|
| | Метод технічних обмежень. Розкриття невизначеності дії партнера або супротивника. | | | | |
| 14 | Тема 7. Розкриття невизначеності цілей. <i>(Індивідуальне завдання №3. Реалізувати задачу розкриття невизначеності цілей)</i> Задача індивідуального завдання №2 | лабораторне (2 год.) | [1,12,14] | Виконання індивідуального завдання №3 (6 год.) | під час заняття |
| 15 | Тема 8. Розкриття невизначеності дії партнера або супротивника. Задача взаємодії двох партнерів. Задача протидії двох суб'єктів | лекція (2 год.) | [1,12,14] | Опрацювання лекційного матеріалу (5 год.) | 1 тиждень |
| 16 | Контрольна робота | лабораторне (2 год.) | | | під час заняття |