

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

Затверджено

На засіданні
кафедри обчислювальної математики
факультету прикладної математики та
інформатики
Львівського національного університету
імені Івана Франка
(протокол № ____ від _____ 2024__ р.)

Завідувач кафедри

Роман ХАПКО

Силабус з навчальної дисципліни
“Числові методи”,
що викладається в межах ОПП “Системний аналіз і управління.
Інтелектуальний аналіз даних”
першого (бакалаврського) рівня вищої освіти для здобувачів з
спеціальності 124 – системний аналіз

Львів 2024 р.

| | |
|--|--|
| Назва дисципліни | Числові методи |
| 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 обчислювальної математики |
| Галузь знань, шифр та назва спеціальності | 12 – інформаційні технології 124 – системний аналіз |
| Викладачі дисципліни | Ярмола Галина Петрівна, доцент кафедри обчислювальної математики, Недашковська Анастасія Миколаївна, доцент кафедри обчислювальної математики Янчинський Юрій Владленович, асистент кафедри обчислювальної математики, Шевчук Сава Павлович, доцент кафедри математичного моделювання соціально-економічних процесів, Фундак Леся Ігорівна, асистент кафедри математичного моделювання соціально-економічних процесів |
| Контактна інформація викладачів | halyna.yarmola@lnu.edu.ua ; https://ami.lnu.edu.ua/employee/yarmola ; anastasiya.nedashkovska@lnu.edu.ua , lesya.fundak@lnu.edu.ua ; https://ami.lnu.edu.ua/employee/fundak ; Головний корпус ЛНУ ім. І. Франка, каб. 262, 361. м. Львів, вул. Університетська, 1 |
| Консультації з питань навчання по дисципліні відбуваються | Консультації в день проведення лекцій/лабораторних занять (за попередньою домовленістю). |
| Сторінка курсу | https://ami.lnu.edu.ua/course/numerical-methods-system-analysis |
| Інформація про дисципліну | Курс розроблено таким чином, щоб ознайомити студентів з підходами до побудови числових методів для розв'язування різних класів задач, аналізом їх збіжності та похибки та роз'яснити нюанси реалізації алгоритмів розглянутих методів. |
| Коротка анотація дисципліни | Дисципліна “Числові методи” є нормативною дисципліною з спеціальності 124 – системний аналіз для освітньої програми Системний аналіз, яка викладається в 5-му семестрі (4 кредити ECTS) і 6-му семестрі (3 кредити ECTS). |
| Мета та цілі дисципліни | Метою вивчення нормативної дисципліни “ Числові методи” є освоєння студентами основ побудови, аналізу і застосування числових методів для розв'язування різних класів задач та принципів їх програмної реалізації. |

| | |
|--|--|
| <p>Література для вивчення дисципліни</p> | <p>Основна література</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Kress R. Numerical analysis. – New York: Springer, 1998. 2. Quarteroni A., Sacco R., Saleri F. Numerical Mathematics. – New York, Springer-Verlag, 2000. 3. Гаврилюк І.П., Макаров В.Л. Методи обчислень. – К.: Вища школа, 1995. – Ч.1, Ч.2. 4. Цегелик Г.Г. Чисельні методи: Підручник. – Львів: ЛНУ імені Івана Франка, 2004. – 408 с. 5. Костюшко І.А., Любашенко Н.Д., Третиник В.В. Методи обчислень: підручник. – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, Вид-во «Політехніка», 2021. – 243 с. <p>Додаткова література</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Sauer T. Numerical Analysis. Pearson, 2012. – 622р. 2. Андруник В.А., Висоцька В.А., Пасічник В.В., Чирун Л.Б., Чирун Л.В. Чисельні методи в комп'ютерних науках: навчальний посібник. Том 1. Львів: Видавництво «Новий Світ-2000», 2017. – 470 с. 3. Шахно С.М., Дудикевич А.Т., Левицька С.М. Практикум з чисельних методів. Львів: ЛНУ імені Івана Франка, 2013. – 434 с. 4. Гончаров О. А. Чисельні методи розв'язання прикладних задач: навч. посіб. / О. А. Гончаров, Л. В. Васильєва, А. М. Юнда. – Суми: Сумський державний університет, 2020. – 142 с. |
| <p>Обсяг курсу</p> | <p>Загальний обсяг: 5 семестр, 120 годин (аудиторних занять: 64 год., з них 32 год. лекцій та 32 години лабораторних робіт; самостійної роботи: 56 год.). 6 семестр, 90 годин (аудиторних занять: 64 год., з них 32 год. лекцій та 32 години лабораторних робіт; самостійної роботи: 28 год.).</p> |
| <p>Очікувані результати навчання</p> | <p>Після завершення цього курсу студент буде :</p> <p>Знати основні числові методи:</p> <ul style="list-style-type: none"> – інтерполяції та апроксимації функцій; – чисельного диференціювання; – інтегрування; – розв'язування нелінійних задач, – розв'язування початкових і крайових задач та інтегральних рівнянь. <p>Вміти:</p> <ul style="list-style-type: none"> – застосувати вивчені методи для розв'язування конкретних задач; – реалізовувати (програмно) алгоритми вивчених методів. |
| <p>Ключові слова</p> | <p>Інтерполяція, поліном у формі Лагранжа і Ньютона, елемент найкращого наближення, квадратурні формули, скінченні різниці, метод простої ітерації, метод Ньютона, одно- та багатокрокові методи для задач Коші, метод стрільби, різницевий метод, проєкційно-варіаційні методи для ЗДР, методи Нистрьома та колокації, метод сіток для еліптичних задач, методи Рунге для нестационарних задач.</p> |
| <p>Формат курсу</p> | <p>Очний Проведення лекцій, лабораторних занять і консультацій.</p> |
| <p>Теми</p> | <ol style="list-style-type: none"> 1. Інтерполювання алгебраїчними многочленами. 2. Тригонометричне інтерполювання. 3. Сплайн-інтерполяція. |

| | |
|---|---|
| | <ol style="list-style-type: none"> 4. Існування і єдиність найкращого наближення. 5. Середньо-квадратичне та рівномірне наближення. 6. Чисельне диференціювання 7. Інтерполяційні квадратурні формули Ньютона-Котеса, Гаусса. Квадратури Ромберга 8. Квадратури для періодичних функцій. 9. Обчислення невластних інтегралів. 10. Чисельне розв'язування нелінійних рівнянь. 11. Чисельне розв'язування систем нелінійних рівнянь. 12. Чисельне розв'язування задачі Коші для ЗДР. 13. Однокрокові методи розв'язування задачі Коші для ЗДР. 14. Багатокрокові методи розв'язування задачі Коші для ЗДР. 15. Чисельне розв'язування жорстких задач. 16. Чисельне розв'язування крайових задач. 17. Метод скінчених різниць. 18. Варіаційні та проєкційні методи. 19. Чисельне розв'язування інтегральних рівнянь. Апроксимація операторних рівнянь. 20. Методи Нистрьома та колокації. 21. Чисельне розв'язування крайових задач для рівнянь еліптичного типу. 22. Чисельне розв'язування крайових задач для параболічних і гіперболічних рівнянь. |
| Підсумковий контроль, форма | 5 семестр – залік; 6 семестр – іспит. |
| Пререквізити | Для вивчення курсу студенти потребують базових знань з <ul style="list-style-type: none"> - Математичного аналізу; - Алгебри; - Диференціальних рівнянь; - Функціонального аналізу; - Чисельних методів лінійної алгебри; - Програмування. |
| Навчальні методи та техніки, які будуть використовуватися під час викладання курсу | Презентації, лекції (лекція-розповідь, лекція-бесіда). Індивідуальні завдання. |
| Необхідне обладнання | Комп'ютер із необхідним програмним забезпеченням (Visual Studio), доступ до Internet мережі. |
| Критерії оцінювання (окремо для кожного виду навчальної діяльності) | Оцінювання проводиться за 100-бальною шкалою. Бали нараховуються за наступним співвідношенням: 5 семестр: <ul style="list-style-type: none"> • індивідуальні завдання (програми): 40% семестрової оцінки; максимальна кількість балів 40 (ІЗ № 1, 3, 4 – по 10 б., ІЗ № 2, 5 – по 5 б.); |

- підсумкова контрольна робота (практика): 20% семестрової оцінки; максимальна кількість балів 20 (4 задачі по 5б);
- колоквіум: 40% семестрової оцінки; максимальна кількість балів 40 (4 теоретичних/практичних завдань по 5б і 20 тестових завдань по 1 б.); Підсумкова максимальна кількість балів 100.

6 семестр:

- індивідуальні завдання (програми): 30% семестрової оцінки; максимальна кількість балів 30 (6 ІЗ по 5 б.);
- підсумкова контрольна робота (практика): 10% семестрової оцінки; максимальна кількість балів 10 (2 задачі по 5 б.);
- колоквіум: 15% семестрової оцінки; максимальна кількість балів 15 (2 теоретичних завдання по 5б або 20 тестових завдань по 0.5 б.);
- іспит: 50% семестрової оцінки; максимальна кількість балів 50 (20 тестових завдань – по 1б., 3 теоретичних/практичних завдань по 10 б. або 5 теоретичних/практичних завдань по 10 б.). Підсумкова максимальна кількість балів 100.

Критерії оцінювання індивідуальних завдань:

| 5/10 балів | Критерії оцінювання |
|---------------------------|---|
| 5балів / 10балів | студент повністю виконав умови завдання, алгоритм реалізовано правильно, відповідає на всі запитання, пов'язані з тематикою завдання, проводить чіткий аналіз та порівняння отриманих результатів; |
| 4 бали / 8-9балів | 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; |
| 3 бали / 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; |
| 2 бали / 4-5 балів | 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; |
| 1 бал / 1-3 бали | студент виконав завдання частково або з грубими помилками, які самостійно не може виправити, переважно не відповідає на запитання; |
| 0 балів | студент не виконав завдання. |

Критерії оцінювання тестових завдань:

- 1 бал / 0.5 бала:** відповідь на завдання правильна;
0 балів: відповідь на завдання неправильна.

Критерії оцінювання задач, теоретичних/практичних завдань:

| | | |
|------------------|----------------|----------------------------|
| Колоквіум | Екзамен | Критерії оцінювання |
|------------------|----------------|----------------------------|

| (5балів) | (10балів) | |
|-----------------|------------------|---|
| 5 балів | 10 балів | студент правильно виконав практичне завдання; вільно володіє навчальним матеріалом, чітко розкриває зміст теоретичних питань; |
| 4 бали | 7-9 балів | студент виконав завдання з незначними помилками (на кінцевому етапі), але алгоритм розв'язування знає і вміє його застосовувати; добре володіє навчальним матеріалом, розкриває повністю зміст теоретичних питань з незначними неточностями; |
| 3 бали | 4-6 балів | студент виконав завдання з помилками, алгоритм виконання, в основному, знає; володіє навчальним матеріалом на достатньому рівні, розкриває зміст теоретичних питань невичерпно та з неточностями, виникають труднощі під час аналізу матеріалу; |
| 1-2 бали | 1-3 бали | студент виконав лише частину завдання або повністю, але зі значними помилками; частково знає теоретичний матеріал (основні поняття, твердження, нескладні алгоритми), розкриває зміст питань зі значними помилками; |
| 0 балів | | студент не володіє навчальним матеріалом і не виконав завдання. |

Академічна доброчесність: Очікується, що роботи студентів будуть їх оригінальними дослідженнями чи міркуваннями. Відсутність посилань на використані джерела, фабрикування джерел, списування, втручання в роботу інших студентів становлять, але не обмежують, приклади можливої академічної недоброчесності. Виявлення ознак академічної недоброчесності в письмовій роботі студента є підставою для її незарахування викладачем, незалежно від масштабів плагіату чи обману.

Відвідання занять є важливою складовою навчання. Очікується, що всі студенти відвідають усі лекції та лабораторні зайняття курсу. Студенти повинні інформувати викладача про неможливість відвідати заняття. У будь-якому випадку студенти зобов'язані дотримуватися термінів визначених для виконання всіх видів письмових робіт та індивідуальних завдань, передбачених курсом.

Література. Уся література, яку студенти 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>Політика виставлення балів. Враховуються бали набрані за індивідуальні завдання, контрольну роботу та колоквіум (а також бали набрані на екзамені – у 6-му семестрі). 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 Колоквіуму та екзамену.</p> | <ol style="list-style-type: none"> 1. Інтерполяційні поліноми Лагранжа, Ньютона, Ерміта. 2. Похибка інтерпольовання. 3. Тригонометричне інтерпольовання. 4. Інтерполяція сплайнами. 5. Елемент найкращого наближення у нормованих просторах. 6. Чисельне диференціювання. 7. Квадратурні формули Ньютона-Котеса, Гаусса, Ромберга. 8. Методи розв'язування одного нелінійного рівняння. 9. Методи розв'язування нелінійних систем. 10. Методи Ейлера, Хойна, Рунге-Кутта для задачі Коші для ЗДР. 11. Методи Адамса для задачі Коші для ЗДР. 12. Метод стрільби для крайових задач. 13. Метод сіток для крайових задач. 14. Проекційні та варіаційні методи для крайових задач. 15. Методи Нистрьома та колокації для розв'язування інтегральних рівнянь. 16. Методи розв'язування задач для рівнянь в частинних похідних. |
| <p>Опитування</p> | <p>Анкету-оцінку з метою оцінювання якості курсу буде надано по завершенню курсу.</p> |

Схема курсу «Чисельні методи»

Семестр 5

| Тиждень | Тема, план, короткі тези | Форма діяльності (заняття) | Література. Ресурси в інтернеті | Завдання, год. | Термін виконання |
|---------|---|----------------------------|---------------------------------|----------------|------------------|
| 1 | <p>Тема 1. Предмет чисельних методів. Інтерполяція. Постановка задачі. Існування і єдиність розв'язку. Інтерполяція алгебраїчними поліномами.</p> | лекція, самостійна робота | [2,3] | 2 2 | 1 тиждень |
| | <p>Інтерполяція алгебраїчними поліномами: постановка задачі; способи побудови інтерполяційних поліномів, вигляд інтерполяційного полінома у формі Лагранжа. Розв'язування задач.</p> | лабораторне | | 2 | під час заняття |
| 2 | <p>Тема 2. Інтерполяція</p> | лекція, | [1,2] | 2 | 1 тиждень |

| | | | | | |
|----------|--|--------------------------------|---------|--------|----------------------------------|
| | алгебраїчними поліномами. Інтерполяційні поліноми у формах Лагранжа і Ньютона. Похибка інтерполювання. Вузли Чебишева. Інтерполяційний поліном Ерміта | самостійна робота | | 2 | |
| | Інтерполяція алгебраїчними поліномами: вигляд інтерполяційного полінома у формі Ньютона. Рівновіддалені вузли, вузли Чебишева. Розв'язування задач. Алгоритми обчислення поліномів Лагранжа і Ньютона. <i>(Індивідуальне завдання №1. Написати процедуру для обчислення інтерполяційного полінома Лагранжа і Ньютона (довільні вузли))</i> | лабораторне, самостійна робота | [1,2,5] | 2 5 | під час заняття 1 тиждень |
| 3 | Тема 3. Тригонометричне інтерполювання. Простір тригонометричних поліномів. Інтерполяційний поліном у формі Лагранжа. Випадок рівновіддалених вузлів. Швидке дискретне перетворення Фур'є. <i>Інтерполяція алгебраїчними поліномами:</i> Оцінка похибки. Обернена задача інтерполювання. <i>Здача індивідуального завдання №1</i> | лекція, самостійна робота | [1,4] | 2 2 | 1 тиждень |
| | <i>Інтерполяція алгебраїчними поліномами:</i> Оцінка похибки. Обернена задача інтерполювання. <i>Здача індивідуального завдання №1</i> | лабораторне | | 2 | під час заняття |
| 4 | Тема 4. Сплайн-інтерполяція. Кусково-поліноміальна інтерполяція Простір сплайнів. Інтерполяція сплайнами. Існування і єдиність. | лекція, самостійна робота | [1,2] | 2 2 | 1 тиждень |
| | Інтерполяція тригонометричними поліномами: побудова тригонометричних інтерполяційних поліномів у випадку довільних та рівновіддалених вузлів (парна і непарна кількість). Алгоритм програми. <i>(Індивідуальне завдання №2. Написати процедуру для обчислення тригонометричного інтерполяційного полінома у випадку парної (непарної) кількості рівновіддалених вузлів)</i> | лабораторне, самостійна робота | [1,4] | 2 5 | під час заняття 1 тиждень |
| 5 | Тема 5. Сплайн-інтерполяція. Існування і єдиність. Аналіз похибки. | лекція, самостійна робота | [1-4] | 2 2 | 1 тиждень |
| | Інтерполяція періодичних функцій. | лабораторне | | 2 | під час заняття |

| | | | | | |
|-----------|--|--------------------------------------|-------|--------|-------------------------------------|
| | <i>Здача індивідуального завдання №2</i> | | | | |
| 6 | Тема 6. Сплайн-інтерполяція. В-сплайни. | лекція, самостійна робота | [1,2] | 2 2 | 1 тиждень |
| | Сплайн-інтерполяція: кусково-лінійне і кусково-квадратичне інтерполювання, сплайн другого степеня дефекту 1 | лабораторне | | 2 | під час заняття |
| 7 | Тема 7. Апроксимація у нормованих просторах. Постановка задачі. Існування і єдиність розв'язку. Апроксимація в гільбертових просторах. | лекція, самостійна робота | [3,4] | 2 2 | 1 тиждень |
| | Сплайн-інтерполяція: В-сплайнів. Алгоритми програми. <i>(Індивідуальне завдання №3. Написати процедуру для побудови лінійного та кубічного інтерполяційного сплайнів для заданої функції з використанням відповідних В-сплайнів)</i> | лабораторне, самостійна робота | [1,2] | 2 5 | під час заняття 1 тиждень |
| 8 | Тема 8. Апроксимація в гільбертових просторах. Середньо-квадратичне наближення алгебраїчними поліномами: неперервний і дискретний випадки. Ортогональні поліноми. | лекція, самостійна робота | [3,4] | 2 2 | 1 тиждень |
| | Середньо-квадратичне наближення алгебраїчними многочленами: неперервний і дискретний випадки. <i>Здача індивідуального завдання №3</i> | лабораторне | | 2 | під час заняття |
| 9 | Тема 9. Апроксимація у нормованих просторах. Наближене розв'язування перевизначених систем лінійних рівнянь. Найкраще рівномірне наближення. Чисельне диференціювання: некоректність задачі, скінченні різниці. | лекція, самостійна робота | [3,4] | 2 2 | 1 тиждень |
| | Найкраще рівномірне наближення. Перевизначені системи. Обчислення нев'язки. Алгоритми програм. <i>(Індивідуальне завдання №4. Написати процедуру для побудови дискретного середньо-квадратичного наближення функції у вигляді полінома заданого степеня)</i> | лабораторне, самостійна робота | [3,4] | 2 5 | під час заняття 1 тиждень |
| 10 | Тема 10. Чисельне інтегрування: постановка задачі. Квадратурні формули інтерполяційного типу. | лекція, самостійна робота | [1-4] | 2 2 | 1 тиждень |

| | | | | | |
|----|--|--------------------------------|---------|--------|----------------------------------|
| | Квадратурні формули Ньютона-Котеса. | | | | |
| | Прості квадратури Ньютона-Котеса (ф-ли середніх прямокутників, трапецій і Сімпсона). <i>Здача індивідуального завдання №4</i> | лабораторне | | 2 | під час заняття |
| 11 | Тема 11. Прості і складені формули прямокутників, трапецій і Сімпсона. Представлення похибки. Збіжність квадратурних формул | лекція, самостійна робота | [1-4] | 2 2 | 1 тиждень |
| | Складені квадратури Ньютона-Котеса (ф-ли середніх прямокутників, трапецій і Сімпсона). | лабораторне | | 2 | під час заняття |
| 12 | Тема 12. Квадратурні формули Гаусса. Спосіб побудови. Оцінка похибки. Формули Гаусса-Лежандра і Гаусса-Чебишева. | лекція, самостійна робота | [1- 4] | 2 2 | 1 тиждень |
| | Квадратурні формули Гаусса | лабораторне | | 2 | під час заняття |
| 13 | Тема 13. Розвинення Ейлера-Маклорена. Квадратури для періодичних функцій. | лекція, самостійна робота | [1,4] | 2 2 | 1 тиждень |
| | Алгоритм обчислення наближеного значення інтегралу із заданою точністю. <i>(Індивідуальне завдання №5. Написати процедуру для обчислення інтегралів із заданою точністю (із ітераційною обробкою) за квадратурними формулами (середніх прямокутників, трапецій або Сімпсона))</i> | лабораторне, самостійна робота | [1,2,5] | 2 4 | під час заняття 1 тиждень |
| 14 | Тема 14. Квадратури Ромберга. Обчислення невластних інтегралів. | лекція, самостійна робота | [1,4] | 2 2 | 1 тиждень |
| | Використання скінченних різниць для наближеного обчислення похідних першого і другого порядку. <i>Здача індивідуального завдання №5</i> | лабораторне | | 2 | під час заняття |
| 15 | Тема 15. Чисельне розв'язування нелінійних рівнянь. Відокремлення коренів. Геометричні міркування. Метод простої ітерації: збіжність і апостеріорна похибка. Метод Ньютона і його збіжність. | лекція, самостійна робота | [2,4,5] | 2 2 | 1 тиждень |
| | Підсумкова контрольна робота | лабораторне | | 2 | під час заняття |
| 16 | Тема 16. Чисельне розв'язування | лекція, | [1,2] | 2 | 1 тиждень |

| | | | | | |
|--|--|-------------------|--|---|-----------------|
| | систем нелінійних рівнянь. Метод простих ітерацій, метод Ньютона і його модифікації. Збіжність методів. | самостійна робота | | 2 | |
| | Колоквіум | лабораторне | | 2 | під час заняття |

Семестр 6

| Тиждень | Тема, план, короткі тези | Форма діяльності (заняття) | Література. Ресурси в інтернеті | Завдання, год. | Термін виконання |
|---------|--|--------------------------------|---------------------------------|----------------|----------------------------------|
| 1 | Тема 1. Чисельне розв'язування задачі Коші для звичайних диференціальних рівнянь (ЗДР). Постановка задачі та її коректність. Методи Пікара і рядів Тейлора. | лекція, самостійна робота | [1, 2] | 2 1 | 1 тиждень |
| | Чисельне розв'язування нелінійних рівнянь. Відокремлення коренів. Метод хорд, січних, дотичних. Вибір початкового наближення. Розв'язування задач. | лабораторне | | 2 | під час заняття |
| 2 | Тема 2. Чисельне розв'язування задачі Коші для ЗДР. Однокрокові методи (м-ди Ейлера, предиктор-коректор і Рунге-Кутта). | лекція, самостійна робота | [1, 2] | 2 1 | 1 тиждень |
| | Чисельне розв'язування нелінійних рівнянь. Метод простої ітерації. Розв'язування задач. Алгоритми методів <i>(Індивідуальне завдання №1. Реалізувати методи розв'язування одного нелінійного рівняння (простої ітерації, хорд, дотичних).)</i> | лабораторне, самостійна робота | [1, 2, 5] | 2 2 | під час заняття 1 тиждень |
| | Тема 3. Чисельне розв'язування задачі Коші для ЗДР. Апроксимаційність, стійкість і збіжність однокрокових методів. Оцінка похибки. | лекція, самостійна робота | [1, 2] | 2 1 | 1 тиждень |
| | Чисельне розв'язування систем нелінійних рівнянь. Метод Ньютона, вибір початкового наближення. Розв'язування задач. <i>Здача індивідуального завдання №1.</i> | лабораторне | | 2 | під час заняття |
| 4 | Тема 4. Чисельне розв'язування задачі Коші для ЗДР. Багатокрокові методи (м-ди Адамса-Мултона і Адамса-Башфорта). Апроксимаційність, стійкість і збіжність однокрокових методів. Оцінка похибки. | лекція, самостійна робота | [1, 2] | 2 1 | 1 тиждень |

| | | | | | |
|----------|--|--------------------------------|-----------|--------|----------------------------------|
| | Чисельне розв'язування систем нелінійних рівнянь. Алгоритм методу Ньютона. Метод простих ітерацій. <i>(Індивідуальне завдання №2. Реалізувати метод Ньютона для розв'язування нелінійних систем з двома рівняннями.)</i> | лабораторне, самостійна робота | | 2 2 | під час заняття 1 тиждень |
| 5 | Тема 5. Чисельне розв'язування задачі Коші для ЗДР вищих порядків та систем ДР 1-го порядку. Чисельне розв'язування жорстких задач. Метод Гіра. Методи предиктор-коректор. | лекція, самостійна робота | [2-5] | 2 1 | 1 тиждень |
| | Чисельне розв'язування задачі Коші для ЗДР 1-го порядку: метод Ейлера, похибка методу. <i>Здача індивідуального завдання №2.</i> | лабораторне | | 2 | під час заняття |
| 6 | Тема 6. Чисельне розв'язування крайових задач. Методи зведення до задач Коші (методи стрільби, варіації сталих, диференціальної прогонки). | лекція, самостійна робота | [1, 3, 4] | 2 1 | 1 тиждень |
| | Чисельне розв'язування задачі Коші для ЗДР 1-го порядку: метод предиктор-коректор, методи Рунге-Кутта, похибки методів. Алгоритми методів. <i>(Індивідуальне завдання №3. Реалізувати метод Ейлера, Хойна для задачі Коші для ДР 1-го порядку та системи ДР 1-го порядку.)</i> | лабораторне, самостійна робота | | 2 2 | під час заняття 2 тижні |
| 7 | Тема 7. Чисельне розв'язування крайових задач. Метод скінчених різниць. Апроксимаційність, стійкість і збіжність однокрокових методів. Оцінка похибки. | лекція, самостійна робота | [1-4] | 2 1 | 1 тиждень |
| | Чисельне розв'язування задачі Коші для ЗДР вищих порядків та систем ЗДР 1-го порядку. <i>(Індивідуальне завдання №4. Реалізувати методи Рунге-Кутта для задачі Коші для ДР 1-го порядку та системи ДР 1-го порядку.)</i> | лабораторне, самостійна робота | [1, 2, 5] | 2 2 | під час заняття 2 тижні |
| 8 | Тема 8. Чисельне розв'язування крайових задач. Варіаційні методи. Еквівалентність диференціальної і варіаційної задач. Метод Рітца і його збіжність. Метод найменших квадратів. | лекція, самостійна робота | [1-4] | 2 1 | 1 тиждень |

| | | | | | |
|----|---|--------------------------------|-----------|--------|--------------------------------|
| | Різницеві рівняння. <i>Здача індивідуального завдання №3.</i> | лабораторне | | 2 | під час заняття |
| 9 | Тема 9. Чисельне розв'язування крайових задач. Проекційні методи. Методи зважених нев'язок (поточкова колокація, колокація по під-областях, методи Гальоркіна і моментів). Метод скінченних елементів. Аналіз збіжності і похибки. | лекція, самостійна робота | [1-4] | 2 1 | 1 тиждень |
| | Багатокрокові методи (явні та неявні), способи задання стартових значень. <i>Здача індивідуального завдання №4.</i> <i>(Індивідуальне завдання №5. Реалізувати неявний багатокроковий метод для задачі Коші для ДР 1-го порядку)</i> | лабораторне, самостійна робота | [1, 2] | 2 2 | під час заняття 3 тижні |
| 10 | Тема 10. Чисельне розв'язування інтегральних рівнянь. Коректність IP другого роду. Теорія Рісса-Шаудера. | лекція, самостійна робота | [1] | 2 1 | 1 тиждень |
| | Особливості програмної реалізації неявних багатокрокових методів для розв'язування задач Коші. <i>Колоквіум (частина 1)</i> | лабораторне | [3,4] | 2 | під час заняття |
| 11 | Тема 11. Чисельне розв'язування інтегральних рівнянь. Апроксимація операторів. Випадки рівномірної та поточної збіжності | лекція, самостійна робота | [1] | 2 1 | 1 тиждень |
| | Чисельне розв'язування крайових задач: методи стрільби, варіації сталих і сіток, варіаційні методи <i>(Індивідуальне завдання № 6. Реалізувати метод сіток для розв'язування крайової задачі.)</i> | лабораторне, самостійна робота | [1, 2, 4] | 2 2 | під час заняття 3 тижні |
| 12 | Тема 12. Чисельне розв'язування інтегральних рівнянь. Метод Нистрьома та метод колокації. Алгоритми методів, збіжність та оцінка похибки. | лекція, самостійна робота | [1] | 2 1 | 1 тиждень |
| | Чисельне розв'язування крайових задач: проекційні методи. <i>Здача індивідуального завдання №5.</i> | лабораторне | [1,2] | 2 | під час заняття |
| 13 | Тема 13. Чисельне розв'язування граничних задач для рівнянь в частинних похідних. Задачі для рівнянь еліптичного. Метод сіток. | лекція, самостійна робота | [2] | 2 1 | 1 тиждень |

| | | | | | |
|-----------|--|---------------------------|-------|---------|-----------------|
| | Збіжність і оцінка похибки | | | | |
| | Чисельне розв'язування інтегральних рівнянь. Метод Нистрьома та колокації. | лабораторне | | 2 | під час заняття |
| 14 | Тема 14. Чисельне розв'язування граничних задач для рівнянь в частинних похідних. Задачі для рівнянь еліптичного. Методи граничних інтегральних рівнянь, граничних елементів, скінченних елементів. | лекція, самостійна робота | [2] | 2 1 | 1 тиждень |
| | Чисельне розв'язування граничних задач для рівнянь в частинних похідних: різницеві методи <i>Задача індивідуального завдання №6.</i> | лабораторне | [3,4] | 2 | під час заняття |
| 15 | Тема 15. Чисельне розв'язування граничних задач для рівнянь в частинних похідних. Початково-крайові задачі для рівнянь параболічного і гіперболічного типів. Методи Рунге. | лекція, самостійна робота | [2,3] | 2 21 | 1 тиждень |
| | Контрольна робота (практика) | лабораторне | | 2 | під час заняття |
| 16 | Тема 16. Чисельне розв'язування граничних задач для рівнянь в частинних похідних. Початково-крайові задачі для рівнянь параболічного і гіперболічного типів. Явні і неявні схеми методу сіток. Стійкість і збіжність. | лекція, самостійна робота | [2,3] | 2 1 | 1 тиждень |
| | Чисельне розв'язування граничних задач для рівнянь в частинних похідних: різницеві методи <i>Колоквіум (частина 2)</i> | лабораторне | | 2 | під час заняття |