

## ПРОГРАМА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ МЕТОДИ ОБЧИСЛЕНЬ

### I. Загальна інформація

|                            |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
|----------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Заклад вищої освіти</b> | Ніжинський державний університет імені Миколи Гоголя                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
| <b>Факультет/інститут</b>  | ІНІ природничо-математичних, медико-біологічних наук та інформаційних технологій                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
| <b>Кафедра</b>             | Інформаційних технологій, фізико-математичних та економічних наук                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
| <b>Освітня програма</b>    | Середня освіта (Інформатика)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
| <b>Рівень вищої освіти</b> | Перший (бакалаврський)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
| <b>Курс/семестр</b>        | 4 курс / 8 семестр                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
| <b>Мова навчання</b>       | Українська мова                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
| <b>Розробник/и</b>         | к.ф.-м.н., доцент Ірина Лисенко                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
| <b>Затверджено</b>         | Засіданням кафедри інформаційних технологій, фізико-математичних та економічних наук протокол № 2 від 30.08.2024                                                                                                                                                                                                                                                                  |
| <b>Обсяг дисципліни</b>    | Денна форма навчання: 3 кредити ЄКТС, що відповідає 90 академічних годин, з яких 30 годин – аудиторне навчання (лекції – 12 год., лабораторні – 18 год.) і 60 годин – самостійна робота. Заочна форма навчання: 3 кредити ЄКТС, що відповідає 90 академічних годин, з яких 16 годин – аудиторне навчання (лекції – 8 год., лабораторні – 8 год.) і 74 години – самостійна робота. |
| <b>Статус дисципліни</b>   | Обов'язкова                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |

Навчальна дисципліна *Методи обчислень* має за мету розширити і систематизувати у студентів знання з окремих питань чисельних методів, обробки результатів експериментів, доведення збіжності методів, апріорних та апостеріорних оцінок методів та їх геометричної інтерпретації, вибору обчислювальних схем, реалізації методів на персональному комп'ютері та вироблення практичних навичок використання прикладного програмного забезпечення у повсякденній навчально-пізнавальній та професійній діяльності відповідно до отриманої спеціальності.

Для досягнення мети цей курс повинен розв'язувати **завдання**:

- розкрити місце і значення знань з чисельних методів у загальній і професійній освіті людини, взаємозв'язок цього курсу з іншими навчальними предметами, зокрема інформатикою, алгеброю, математичним аналізом тощо;
- детально знайомити студентів з основними алгоритмами побудови наближених розв'язків математичних задач, що моделюють різноманітні процеси;
- сприяти глибокому засвоєнню основних алгоритмів, отриманню практичних навичок розв'язання задач за допомогою чисельних методів із застосуванням ЕОМ, вироблення практичних навичок використання прикладного програмного забезпечення.

#### ***Місце в структурно-логічній схемі освітньої програми***

Пререквізити (освітні компоненти, що містять знання, уміння й навички, необхідні для освоєння дисципліни, що вивчається): ОК8 Математичний аналіз, ОК9 Лінійна алгебра і аналітична геометрія, ОК13 Диференціальні рівняння, ОК15 Програмування, ОК22 Алгоритми і структури даних, ОК26 Комп'ютерне моделювання.

Постреквізити (освітні компоненти, для вивчення яких потрібні знання, уміння й навички, що здобуваються по завершенню вивчення даної дисципліни): ОК26 Комп'ютерне моделювання.

### II. Компетентності та результати навчання

#### ***2.1. Компетентності***

Вивчення дисципліни у комплексі з іншими освітніми компонентами ОП «Середня освіта (Інформатика)» сприяє набуттю здобувачами компетентностей:

**ЗК5.** Здатність до аналітичного та системного мислення, генерування нових ідей, виявлення та розв’язання проблем, ініціативності та підприємливості (підприємницька компетентність).

**ФК18.** Здатність використовувати програмні засоби загального та спеціального призначення для розв’язування прикладних задач з інформатики; застосовувати поняття і методи аналізу даних у різних галузях людської діяльності (ІТ-компетентність).

**ФК21.** Здатність розширювати загальнонауковий та математичний кругозір; усвідомлювати взаємозв’язок математики, фізики та інформатики як науки та життєвої практики і загального процесу дослідження та вивчення реального світу, інтегрувати новітні технології у навчання інформатики для розвитку міждисциплінарних навичок учнів та формування в них аналітичного і критичного мислення, творчого підходу до розв’язування задач (міждисциплінарна компетентність).

**ФК22.** Здатність виконувати комп’ютерний експеримент і завдання в галузі фізики, математики на основі досягнень сучасної науки і технологій, класичних і технічних теорій та методів, фізичних, математичних і комп’ютерних моделей (експериментальна компетентність).

## **2.2. Результати навчання**

Вивчення навчальної дисципліни у комплексі з іншими освітніми компонентами ОП «Середня освіта (Інформатика)» сприяє досягненню здобувачами таких програмних результатів навчання:

**ПРН5.** Уміння системно мислити та застосовувати творчі здібності до формування принципово нових ідей.

**ПРН22.** Здатність розробляти алгоритми розв’язування задач з інформатики, аналізувати складність та ефективність алгоритмів; реалізовувати алгоритми мовами програмування; обирати та застосовувати програмне забезпечення для розв’язування прикладних задач.

**ПРН25.** Знання та розуміння основних розділів математики та міжпредметних зв’язків з іншими науками, здатність використовувати математичні методи для досліджень процесів і явищ навколишньої дійсності, побудови і використання комп’ютерних моделей, уміння перетворювати словесний матеріал у математичні моделі, алгоритмізувати розв’язування прикладної задачі.

## **III. Методи та засоби навчання**

### **3.1. Методи навчання**

Пояснювально-ілюстративний виклад навчального матеріалу, частково-пошуковий метод, проблемні та інтерактивні методи навчання, консультації, методи контролю та самоконтролю.

**3.2. Інструменти, обладнання та програмне забезпечення, використання яких передбачає навчальна дисципліна**

- 1) проекційна, комп’ютерна та мультимедійна техніка;
- 2) підручники, посібники та електронні ресурси;
- 3) віртуальне середовище навчання УНІКОМ;
- 4) персональні комп’ютери;
- 5) середовище програмування;
- 6) прикладне програмне забезпечення.

## **IV. Зміст навчальної дисципліни**

### **4.1. Анотація змісту за темами**

## **РОЗДІЛ I. ЧИСЕЛЬНІ МЕТОДИ РОЗВ’ЯЗАННЯ НЕЛІНІЙНИХ РІВНЯНЬ ТА СЛАР**

### **1. Вступ до методів обчислень. Елементи теорії похибок. Дії з наближеними числами**

Етапи розв'язання задач на ЕОМ. Математичне моделювання. Поняття про обчислювальний експеримент. Методи розв'язання математичних задач. Чисельні методи. Вимоги до чисельних методів. Похибки результатів чисельного розв'язання задач. Джерела і класифікації похибок. Похибки наближених чисел. Подання та округлення чисел в ЕОМ. Оцінки похибок округлень. Поняття стійкості та коректності. Поняття збіжності.

### **2. Розв'язування рівнянь з одним невідомим**

Задача відокремлення коренів. Метод поділу відрізка пополам. Метод хорд. Метод простої ітерації. Збіжність методу простої ітерації. Метод Ньютона та його збіжність. Метод січних. Використання ППЗ.

### **3. Розв'язування систем лінійних алгебраїчних рівнянь**

Розв'язування системи лінійних алгебраїчних рівнянь методом Гаусса з частковим та повним вибором головного елемента. Похибка наближеного розв'язку систем рівнянь. Обумовленість матриць. Числа обумовленості.

## **РОЗДІЛ II. ВИКОРИСТАННЯ ІНТЕРПОЛЯЦІЙНИХ МНОГОЧЛЕНІВ ДЛЯ ЧИСЕЛЬНОГО ДИФЕРЕНЦІЮВАННЯ ТА ІНТЕГРУВАННЯ**

### **4. Наближення функцій**

Задача наближення функцій. Інтерполяційні многочлени Лагранжа та Ньютона. Оцінка похибки інтерполювання. Оптимальний вибір вузлів інтерполювання. Обернене інтерполювання та екстраполювання.

Найпростіші інтерполяційні методи. Задача найкращого наближення. Поняття про рівномірне наближення. Найкраще наближення функцій, заданих таблично, методом найменших квадратів. Використання ППЗ.

### **5. Чисельне диференціювання та інтегрування**

Інтерполяційні формули чисельного диференціювання. Обчислювальна похибка чисельного диференціювання. Інтерполяційні формули чисельного інтегрування. Квадратурні формули складеного типу. Принцип Рунге та апостеріорна оцінка похибки. Квадратурні формули Гаусса. Оцінка похибки квадратурних формул. Використання ППЗ.

## **РОЗДІЛ III. ЧИСЕЛЬНЕ РОЗВ'ЯЗАННЯ ЗАДАЧІ КОШІ ТА КРАЙОВИХ ЗАДАЧ**

### **6. Чисельні методи розв'язання задачі Коші для звичайних диференціальних рівнянь**

Метод рядів Тейлора. Метод Ейлера. Метод типу Рунге-Кутта. Методи з вибором кроку інтегрування. Багатокрокові методи. Стійкість методів розв'язування задачі Коші. Методи інтегрування жорстких систем.

### **7. Чисельні методи розв'язування крайових задач**

Метод ортогональної прогонки. Метод стрільби. Методи розв'язування нелінійних крайових задач: лінеаризації, продовження за параметром. Різницеві схеми для рівнянь другого порядку. Поняття апроксимації, стійкості та збіжності. Інтегро-інтерполяційний метод побудови різницевих схем.

### **4.2. Структура навчальної дисципліни**

| Назви розділів і тем                                                                   | Кількість годин |              |   |     |   |   |              |              |   |     |   |   |
|----------------------------------------------------------------------------------------|-----------------|--------------|---|-----|---|---|--------------|--------------|---|-----|---|---|
|                                                                                        | Денна форма     |              |   |     |   |   | Заочна форма |              |   |     |   |   |
|                                                                                        | усього          | у тому числі |   |     |   |   | усього       | у тому числі |   |     |   |   |
|                                                                                        |                 | л            | п | лаб | к | с |              | л            | п | лаб | к | с |
| Розділ I. Чисельні методи розв’язання нелінійних рівнянь та СЛАР                       |                 |              |   |     |   |   |              |              |   |     |   |   |
| Тема 1. Вступ до методів обчислень. Елементи теорії похибок. Дії з наближеними числами | 12              | 2            |   | 2   |   | 8 | 12           | 2            |   | 1   |   | 9 |

|                                                                                                           |           |           |  |           |  |           |           |          |  |          |  |           |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|-----------|--|-----------|--|-----------|-----------|----------|--|----------|--|-----------|
| <b>Тема 2.</b> Розв'язування рівнянь з одним невідомим                                                    | 13        | 1         |  | 4         |  | 8         | 13        | 1        |  | 2        |  | 10        |
| <b>Тема 3.</b> Розв'язування систем лінійних алгебраїчних рівнянь                                         | 13        | 1         |  | 2         |  | 10        | 13        | 1        |  | 1        |  | 11        |
| <b>Разом за розділом I</b>                                                                                | <b>38</b> | <b>4</b>  |  | <b>8</b>  |  | <b>26</b> | <b>38</b> | <b>4</b> |  | <b>4</b> |  | <b>30</b> |
| <b>Розділ II. Використання інтерполяційних многочленів для чисельного диференціювання та інтегрування</b> |           |           |  |           |  |           |           |          |  |          |  |           |
| <b>Тема 5.</b> Наближення функцій                                                                         | 14        | 2         |  | 4         |  | 8         | 14        | 1        |  | 1        |  | 12        |
| <b>Тема 6.</b> Чисельне диференціювання та інтегрування                                                   | 12        | 2         |  | 2         |  | 8         | 12        | 1        |  | 1        |  | 10        |
| <b>Разом за розділом II</b>                                                                               | <b>26</b> | <b>4</b>  |  | <b>6</b>  |  | <b>16</b> | <b>26</b> | <b>2</b> |  | <b>2</b> |  | <b>22</b> |
| <b>Розділ III. Чисельне розв'язання задачі коші та крайових задач</b>                                     |           |           |  |           |  |           |           |          |  |          |  |           |
| <b>Тема 7.</b> Чисельні методи розв'язання задачі коші для звичайних диференціальних рівнянь              | 12        | 2         |  | 2         |  | 8         | 12        | 1        |  | 1        |  | 10        |
| <b>Тема 8.</b> Чисельні методи розв'язування крайових задач                                               | 14        | 2         |  | 2         |  | 10        | 14        | 1        |  | 1        |  | 12        |
| <b>Разом за розділом III</b>                                                                              | <b>26</b> | <b>4</b>  |  | <b>4</b>  |  | <b>18</b> | <b>26</b> | <b>2</b> |  | <b>2</b> |  | <b>22</b> |
| <b>Усього годин</b>                                                                                       | <b>90</b> | <b>12</b> |  | <b>18</b> |  | <b>60</b> | <b>90</b> | <b>8</b> |  | <b>8</b> |  | <b>74</b> |

#### 4.3. Тематика аудиторних занять та самостійної роботи Теми лекцій

| №            | Назва теми                                                                     | Кількість годин |          |
|--------------|--------------------------------------------------------------------------------|-----------------|----------|
|              |                                                                                | денна           | заочна   |
| 1            | Вступ до методів обчислень. Елементи теорії похибок. Дії з наближеними числами | 2               | 2        |
| 2            | Розв'язування рівнянь з одним невідомим                                        | 1               | 1        |
| 3            | Розв'язування систем лінійних алгебраїчних рівнянь                             | 1               | 1        |
| 4            | Наближення функцій                                                             | 2               | 1        |
| 5            | Чисельне диференціювання та інтегрування                                       | 2               | 1        |
| 6            | Чисельні методи розв'язання задачі коші для звичайних диференціальних рівнянь  | 2               | 1        |
| 7            | Чисельні методи розв'язування крайових задач                                   | 2               | 1        |
| <b>Разом</b> |                                                                                | <b>12</b>       | <b>8</b> |

#### Теми лабораторних занять

| № | Назва теми                                                                    | Кількість годин |        |
|---|-------------------------------------------------------------------------------|-----------------|--------|
|   |                                                                               | денна           | заочна |
| 1 | Елементи теорії похибок. Дії з наближеними числами                            | 2               | 1      |
| 2 | Розв'язування рівнянь з одним невідомим                                       | 4               | 2      |
| 3 | Розв'язування систем лінійних алгебраїчних рівнянь                            | 2               | 1      |
| 4 | Наближення функцій                                                            | 4               | 1      |
| 5 | Чисельне диференціювання та інтегрування                                      | 2               | 1      |
| 6 | Чисельні методи розв'язання задачі Коші для звичайних диференціальних рівнянь | 2               | 1      |

|              |                                              |           |          |
|--------------|----------------------------------------------|-----------|----------|
| 7            | Чисельні методи розв'язування крайових задач | 2         | 1        |
| <b>Разом</b> |                                              | <b>18</b> | <b>8</b> |

### *Самостійна робота*

| №            | Назва теми                                                                     | Кількість годин |           |
|--------------|--------------------------------------------------------------------------------|-----------------|-----------|
|              |                                                                                | денна           | заочна    |
| 1            | Вступ до методів обчислень. Елементи теорії похибок. Дії з наближеними числами | 8               | 9         |
| 2            | Розв'язування рівнянь з одним невідомим                                        | 8               | 10        |
| 3            | Розв'язування систем лінійних алгебраїчних рівнянь                             | 10              | 11        |
| 4            | Наближення функцій                                                             | 8               | 12        |
| 5            | Чисельне диференціювання та інтегрування                                       | 8               | 10        |
| 6            | Чисельні методи розв'язання задачі Коші для звичайних диференціальних рівнянь  | 8               | 10        |
| 7            | Чисельні методи розв'язування крайових задач                                   | 10              | 12        |
| <b>Разом</b> |                                                                                | <b>60</b>       | <b>74</b> |

## **V. Система оцінювання**

### **5.1. Форми проміжного та підсумкового контролю**

Підсумкова (загальна) оцінка з курсу є сумою рейтингових оцінок (балів), одержаних за окремі оцінювані форми навчальної діяльності:

- комп'ютерне тестування під час лабораторних робіт – 6 тем по 3 бали максимум ( $6 \cdot 3 = 18$ );
- оцінювання роботи на лабораторних заняттях – 7 тем по 5 балів максимум ( $7 \cdot 5 = 35$ );
- контрольна робота – 0-10 балів;
- контрольно-розрахункова робота – 0-7 балів;
- залік (підсумковий тест) – 0-30 балів.

Результати виконаних навчальних завдань студенти можуть прикріплювати в електронній формі на навчальній платформі УНІКОМ.

### **5.2. Методи та засоби діагностики результатів навчання**

Засобами оцінювання та методами демонстрування результатів навчання з навчальної дисципліни є: виконання лабораторних робіт під час аудиторних занять та контрольно-розрахункової роботи як самостійної роботи студента; виконання тестових завдань, а також контрольної роботи; залік.

Методи оцінювання: захист лабораторних робіт, виконання контрольно-розрахункової роботи та контрольної роботи, тестова перевірка. Підсумкове оцінювання – залік.

### **5.3. Критерії поточного (формульовального) оцінювання**

| Форми роботи        | Критерії оцінювання                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | Розподіл формульованих оцінок |
|---------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------|
| Лабораторне заняття | <b>Високий.</b> Здобувач має глибокі, міцні, системні знання, уміє застосовувати знання для виконання творчих завдань, самостійно оцінювати різноманітні ситуації, явища, факти, виявляти і обстоювати особисту позицію.                                                                                                                                  | 5                             |
|                     | <b>Достатній.</b> Здобувач знає істотні ознаки понять, явищ, зв'язки між ними, основні закономірності, самостійно застосовує знання в стандартних ситуаціях, виконує розумові операції (аналіз, абстрагування, узагальнення тощо), виправляє допущені помилки, вміє робити висновки, відповідь правильна, логічна, обґрунтована, але без власних суджень. | 4                             |

|  |                                                                                                                                                                                                               |   |
|--|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---|
|  | <b>Середній.</b> Здобувач правильно відтворює навчальний матеріал, знає основні теорії та факти, вміє наводити окремі власні приклади на підтвердження певних думок, частково контролює власні навчальні дії. | 3 |
|  | <b>Початковий.</b> Здобувач відтворює частину навчального матеріалу, виконує елементарні завдання з допомогою викладача.                                                                                      | 2 |

#### 5.4. Критерії проміжного та підсумкового оцінювання

| Складові та критерії оцінювання                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | Розподіл балів |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------|
| <b>Проміжний контроль</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |                |
| <b>Контрольна робота:</b><br>5 завдань відкритого типу по 1 балу за завдання<br><i>Критерії оцінювання завдання:</i><br><i>відповідь не повна, містить принципові помилки за змістом – 0,5 бали;</i><br><i>повна відповідність вимогам – 1 бал.</i>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | <b>0-10</b>    |
| <b>Комп'ютерне тестування під час лабораторних робіт:</b><br>6 тестових завдань закритої/відкритої форми по 0,5 бали                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | <b>0-3</b>     |
| <b>Захист лабораторних робіт</b><br>Усне опитування по ходу виконання лабораторної роботи.<br><i>Критерії:</i><br><i>Практичні навички студента оцінюються таким чином:</i><br><i>1 бал – лабораторну роботу виконано з помилками, або виконано та не оформлено звіт;</i><br><i>2 бали - лабораторну роботу виконано з незначними помилками та звіт оформлено із зауваженнями;</i><br><i>3 бали - лабораторну роботу виконано без помилок та звіт оформлено згідно з вимогами.</i><br><i>Звіт до лабораторної роботи повинен мати такі складові:</i> <ul style="list-style-type: none"> <li>• тему лабораторної роботи, прізвище та ініціали виконавця, номер його варіанту,</li> <li>• завдання, записане з урахуванням конкретних даних цього варіанту,</li> <li>• короткі теоретичні відомості, необхідні для виконання завдань лабораторної роботи,</li> <li>• попередні розрахунки, графіки, таблиці результатів, їх аналіз та висновки.</li> </ul> <i>Теоретичні знання студента за тематикою лабораторних робіт оцінюються у 2 бали (відповіді на два запитання). Студент отримує:</i><br><i>1 бал – дана правильна відповідь на одне питання;</i><br><i>2 бали – дана правильна відповідь на два питання.</i> | <b>0-5</b>     |
| <b>Контрольно-розрахункова робота</b><br>5 завдань відкритого типу по 1 бали за завдання<br>1 завдання відкритого типу по 2 бали за завдання<br><i>Критерії: відповідь не повна, містить принципові помилки за змістом – 0,5 бали (1 бал); повна відповідність вимогам – 1 бал (2 бали)</i>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | <b>0-7</b>     |
| <b>Підсумковий контроль</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |                |
| <b>Залік (підсумковий тест)</b><br>30 тестових завдань закритої/відкритої форми по 1 балу                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | <b>0-30</b>    |

## VI. Рекомендовані джерела інформації

### 6.1. Основні

1. Андруник В. А. та ін. Чисельні методи в комп'ютерних науках: навчальний посібник. – Львів : Новий Світ-2000, 2023.
2. Глушко І.М. Методи обчислень: Лабораторний практикум. – Ніжин: Видавництво НДУ ім. М. Гоголя, 2013.
3. Лященко М.Я., Головань М.С. Чисельні методи. – К.: Либідь, 1996.
4. Лисенко І.М. Вища математика та числові методи. Модуль 6. Чисельні методи наближених обчислень: Методичні рекомендації до виконання практичних робіт. – Ніжин: ПП Лисенко М.М., 2022.

### ***6.2. Додаткові***

1. Бурковська В.Л., Войцехівський С.О., Гаврилюк І.П. та ін. Методи обчислень: практикум на ЕОМ: навч. пос. для студ. вузів, які навч. із спец. «прикладна математика». – К.: Вища школа, 1995.
2. Гаврилюк І.П., Макаров В.Л. Методи обчислень: у 2-х ч.: підр. для студ. вузів спец. «прикладна математика». – К.: Вища школа, 1995.
3. Григоренко Я.М., Панкратова Н.Д. Обчислювальні методи в задачах прикладної математики. – К.: Либідь, 1995.
4. Кваско М. З., Кубрак А. І., Жученко А. І. Числові методи комп'ютерного моделювання автоматичних систем: Алгоритми і програми: навчальний посібник для студентів вузів. – К. : Політехніка, 2003.
5. Фельдман Л.П., Петренко А.І., Дмитрієва О.А. Чисельні методи в інформатиці. – К: BHV, 2008.
6. Sullivan E. Numerical Methods An Inquiry-Based Approach With Python. URL: <https://numericalmethodssullivan.github.io/>