



СПЕЦІАЛЬНІ РОЗДІЛИ ОБЧИСЛЮВАЛЬНОЇ МАТЕМАТИКИ

Реквізити навчальної дисципліни (Силабус)	
Рівень вищої освіти	Перший (бакалаврський)
Галузь знань	12 Інформаційні технології
Спеціальність	124 Системний аналіз
Освітня програма	Системний аналіз і управління
Статус дисципліни	Вибіркова
Форма навчання	очна (денна)
Рік підготовки, семестр	3 курс, осінній семестр
Обсяг дисципліни	4 кредити ЄКТС
Семестровий контроль/ контрольні заходи	Залік
Розклад занять	
Мова викладання	Українська
Інформація про керівника курсу / викладачів	Лектор: д.т.н., проф. Дмитрієва О.А., dmytriyeva.olga@lil.kpi.ua https://orcid.org/0000-0001-8921-8433 Практичні: д.т.н., проф. Дмитрієва О.А., dmytriyeva.olga@lil.kpi.ua https://orcid.org/0000-0001-8921-8433
Розміщення курсу	https://classroom.google.com/u/3/c/NTM4NTc3Mjk1MDIx (доступ за корпоративною адресою)
Розміщення методичних матеріалів курсу	https://drive.google.com/drive/folders/1vATFBy5KzA1ESKKUQHVIcdEi1T1i82Va?usp=drive_link (доступ за корпоративною адресою)

Програма навчальної дисципліни

1. Опис навчальної дисципліни, її мета, предмет вивчення та результати навчання

Теоретичний матеріал і практичні застосунки, які пропонуються студентам в вибірковій дисципліні «Спеціальні розділи обчислювальної математики», є логічним подовженням дисципліні «Чисельні методи». Основним завданням вибіркової дисципліни окрім формування загальних компетентностей, таких, як здатність до абстрактного мислення, аналізу та синтезу, застосування знань у практичних ситуаціях, є формування спеціальних фахових компетентностей. Серед таких здатність до математичного формулювання та досліджування неперервних та дискретних математичних моделей, обґрунтування вибору методів і підходів для розв'язування теоретичних і прикладних завдань у галузі комп'ютерних наук, їх

аналіз та інтерпретування. Чисельні підходи дозволяють проєктувати, аналізувати та реалізовувати ефективні алгоритми для адекватного моделювання предметних областей і створення програмних та інформаційних систем, розробляти моделі й алгоритми чисельного розв'язування завдань математичного моделювання.

Метою викладання навчальної дисципліни «Спеціальні розділи обчислювальної математики» є формування поглибленої системи теоретичних знань і практичних навичок з оцінювання та обґрунтування підходів щодо застосування і програмної реалізації ефективних сучасних методів чисельного розв'язання (в тому числі і орієнтованих на паралельну реалізацію з урахуванням топології обчислювальних систем) в завданнях, спрямованих на аналіз поведінки складних систем різної природи (інформаційних, економічних, фінансових, соціальних, політичних, технічних, організаційних, екологічних тощо).

Предметом дисципліни «Спеціальні розділи обчислювальної математики» є чисельні методи розв'язання, орієнтовані на ефективну реалізацію в обчислювальних системах, в тому числі і з паралельною архітектурою.

Успішне опанування дисципліною «Спеціальні розділи обчислювальної математики» дозволяє сформувати у майбутніх фахівців як загальні компетентності, визначені в Освітньо-професійній програмі «Системний аналіз і управління» першого рівня вищої освіти за спеціальністю 124 Системний аналіз, серед яких:

ЗК1 Здатність застосовувати знання в практичних ситуаціях.

ЗК2 Здатність планувати і управляти часом.

ЗК3 Здатність абстрактно мислити, застосовувати методи аналізу і синтезу.

ЗК4 Здатність знати та розуміти предметну область і професійну діяльність.

ЗК10 Здатність системно аналізувати свою професійну і соціальну діяльність, оцінювати накопичений досвід спільно з роботодавцями та академічною спільнотою

ЗК11 Здатність генерувати нові ідеї (креативність).

ЗК12 Здатність працювати в команді та автономно виконувати командні рішення.

ЗК14 Здатність забезпечувати та оцінювати якість виконуваних робіт, так і фахові компетентності, а саме:

ФК1 Здатність використовувати системний аналіз в якості сучасної міждисциплінарної методології, заснованої на прикладах математичних методів та сучасних інформаційних технологіях, і орієнтована на вирішення задач аналізу і синтезу технічних, економічних, соціальних, екологічних та інших складних систем.

ФК2 Здатність математично формалізувати проблеми, описані природною мовою, розпізнавати загальні підходи до математичного моделювання конкретних процесів.

ФК3 Здатність будувати математично коректні моделі статичних та динамічних процесів і систем із зосередженими та розподіленими параметрами із врахуванням невизначеності зовнішніх та внутрішніх факторів.

ФК6 Здатність до комп'ютерної реалізації математичних моделей реальних систем і процесів; проектувати, застосовувати і супроводжувати програмні засоби моделювання, прийняття рішень, оптимізації, обробки інформації, інтелектуального аналізу даних.

ФК7 Здатність використовувати сучасні інформаційні технології для комп'ютерної реалізації математичних моделей та прогнозування поведінки конкретних систем, а саме: об'єктно-орієнтований підхід при проектуванні складних систем різної природи, прикладні математичні пакети, проектувати бази даних і знань.

ФК9 Здатність представляти математичні аргументи і висновки з них з якістю і точністю в таких формах, які підходять для занять в аудиторіях як усно, так і в письмовій формі.

ФК10 Здатність розробляти експериментальні та спостережувальні дослідження і аналізувати дані, отримані в них.

В якості програмних результатів навчання слід відзначити, що студенти будуть:

ПР08 Володіти сучасними методами розробки програм і програмних комплексів та прийняття оптимальних рішень щодо складу програмного забезпечення, алгоритмів процедур і операцій.

ПР09 Вміти створювати ефективні алгоритми для обчислювальних задач системного аналізу та систем підтримки прийняття рішень.

ПР12 Застосовувати методи і засоби роботи з даними і знаннями, методи математичного, логіко-семантичного, об'єктного та імітаційного моделювання, технології системного і статичного аналізу.

ПР13 Проектувати, реалізовувати, тестувати, впроваджувати, супроводжувати, експлуатувати програмні засоби роботи з даними і знаннями в комп'ютерних системах і мережах.

Внаслідок вивчення курсу студенти повинні знати:

1. Програмні застосунки для підтримки обчислювальних процесів і візуалізації результатів.

2. Основні підходи до визначення алгоритмічної (часової та ємнісної) складності завдань, що розв'язуються.

3. Алгоритмічні підходи до розпаралелювання обчислювального процесу, обґрунтування показників ефективності та прискорення.

4. Ітераційні методи чисельного розв'язання систем лінійних алгебраїчних рівнянь (СЛАР), в тому числі СЛАР високої розмірності, розріджених, утворених внаслідок дискретизації диференціальних рівнянь, як звичайних, так і з частинними похідними.

5. Чисельні методи визначення власних значень та векторів для перевірки стійкості розв'язань за початковими даними і за правими частинами.

6. Чисельні методи розв'язання звичайних диференціальних рівнянь та їх систем, що надають змогу управління кроком інтегрування за часовою змінною.

7. Чисельні методи розв'язання рівнянь з частинними похідними та інтегральних рівнянь.

Внаслідок вивчення курсу студенти повинні вміти:

1. Розв'язувати математичні та фізичні задачі шляхом створення відповідних застосувань одержати практичні навички побудови алгоритмів чисельного розв'язання прикладних задач математичного спрямування для їх подальшої реалізації на персональних комп'ютерах.

2. Чисельно розв'язувати системи алгебраїчних рівнянь, що утворюються внаслідок дискретизації диференційних рівнянь, як звичайних, так і з частинними похідними.

3. Будувати інтерполяційні багаточлени, в тому числі з похідними старших порядків, сплайни, наближення функції для візуалізації отриманих множин дискретних результатів та для генерування розрахункових схем з використанням інтегро-інтерполяційних підходів.

4. Володіти основними чисельними методами з можливістю управління кроком інтегрування при розв'язанні завдання Коші або крайового завдання для звичайних диференціальних рівнянь та їх систем.

5. Володіти різницеvими методами розв'язання задач для диференціальних рівнянь з частинними похідними.

6. Генерувати матриці розрахункових коефіцієнтів для різницеvих схем розв'язання, в тому числі для схем підвищеної точності.

2. Пререквізити та постреквізити дисципліни (місце в структурно-логічній схемі навчання за відповідною освітньою програмою)

Навчальна дисципліна «Спеціальні розділи обчислювальної математики» викладається в п'ятому семестрі і спирається на теоретичні знання і практичні навички студентів, які вони отримали при вивченні дисциплін «Чисельні методи», «Математичний аналіз», «Алгебра і геометрія», «Диференціальні рівняння», «Алгоритми і структури даних», «Програмування та алгоритмічні мови», «Гармонічний аналіз та операційне числення», «Теорія стійкості та варіаційне числення». Одночасно з дисципліною «Спеціальні розділи обчислювальної математики» студенти вивчають дисципліну «Рівняння математичної фізики», що дає змогу поряд із пошуком аналітичних розв'язань (у разі наявності останніх) отримувати числові, проводити порівняння за точністю, трудомісткістю, можливістю візуалізації. Отриманні знання виступають підґрунтям для вдалого опанування дисциплінами «Моделювання складних систем», «Теорія керування», «Теорія прийняття рішень», при проходженні переддипломної практики та при підготовці випускної кваліфікаційної роботи.

3. Зміст навчальної дисципліни

Кредитний модуль включає теми, подані нижче.

Вступ

Сучасні напрямки та перспективи розвитку дисципліни. Проблеми «великого виклику». Програмні застосунки для підтримки ефективної числової реалізації і візуалізації результатів.

Розділ 1. Проблеми числової реалізації та прискорення процесу обчислень

Тема 1.1. Визначення алгоритмічної (часової та ємнісної) складності завдань, що розв'язуються. Алгоритмічні підходи до розпаралелювання обчислювального процесу, обґрунтування показників ефективності та прискорення.

Тема 1.2. Основні топологічні характеристики обчислювальних полів в багатопроцесорних комп'ютерних системах.

Розділ 2. Лінійний аналіз

Тема 2.1. Ітераційні методи розв'язання систем лінійних алгебраїчних рівнянь великої розмірності. Умови збіжності ітераційного процесу. Прогонові методи. Оцінки трудомісткості.

Тема 2.2. Обчислення власних значень і власних векторів матриць великої розмірності, а також особливих матриць (симетричних, теплицевих, циркулянтних). Методи ортогональних обертань, Тренча, Левінсона-Дарбіна та інш.

Розділ 3. Узагальнення числових підходів до розв'язання звичайних диференціальних рівнянь та їх систем.

Тема 3.1. Схеми Батчера для явних, неявних стадійних методів розв'язання звичайних диференціальних рівнянь та їх систем. Введення в розрахункові схеми похідних старших порядків.

Тема 3.2. Блокові схеми з варіаціями розмірностей опорних і розрахункових блоків. Порівняльний аналіз похибок.

Тема 3.3. Колокаційні методи і методи типу Біккарта розв'язання завдання Коші для звичайних диференціальних рівнянь та їх систем.

Тема 3.4. Застосування інтегро-інтерполяційних підходів для генерування різницевої композиції розрахункових схем. Інтерполяція та наближення для кратних вузлів. Інтерполяційні багаточлени з похідними високих порядків.

Розділ 4. Чисельне розв'язання крайових завдань для звичайних диференціальних рівнянь та їх систем.

Тема 4.1. Крайові завдання, математична постановка, типи крайових умов.

Тема 4.2. Методи зведення крайового завдання до завдання Коші для звичайних диференціальних рівнянь. Методи прицілювання, редукції.

Тема 4.3. Проблема управління кроком інтегрування для крайового завдання. Метод скінченних різниць.

Тема 4.4. Варіаційні чисельні методи розв'язання крайових завдань для звичайних диференційних рівнянь. Методи колокацій, Гальоркіна, найменших квадратів, скінченних елементів.

Розділ 5. Чисельне розв'язання диференційних рівнянь з частинними похідними та інтегральних рівнянь

Тема 5.1. Чисельні методи розв'язання еліптичних крайових завдань. Основні поняття методу сіток, явні і неявні шаблони.

Тема 5.2. Числове розв'язання одновимірних параболічних крайових завдань.

Тема 5.3. Різницеві схеми розщеплення для двовимірних крайових завдань. Різницеві схеми підвищеної точності.

Тема 5.4. Розв'язання гіперболічних крайових задач. Явні і неявні різницеві схеми.

Тема 5.5. Інтегральні рівняння. Класифікація інтегральних рівнянь. Чисельні методи розв'язання, методи апроксимуючих функцій.

4. Навчальні матеріали та ресурси

Базові джерела

1. Фельдман Л.П., Петренко А.І., Дмитрієва О.А. Чисельні методи – К.: Видавнича група ВНУ, 2006. – 480 с. (*Бібліотека НТУУ «КПІ ім. І. Сікорського»*)

2. Фельдман Л.П., Петренко А.І., Дмитрієва О.А. Чисельні методи. Лабораторний практикум – К: Видавнича група ВНУ, 2009. – 320 с. (*Бібліотека НТУУ «КПІ ім. І. Сікорського», розміщено у навчальних матеріалах для студентів*)

3. Garfinkel A. Modeling Life. The Mathematics of Biological Systems/ A. Garfinkel, J. Shevtsov, Y. Guo. - Springer International Publishing, 2017. – 446 p. (Вільний доступ в Інтернет <https://link.springer.com/content/pdf/10.1007/978-3-319-59731-7.pdf?pdf=button>).

4. Дмитрієва О.А. Числові методи моделювання динамічних об'єктів в мультипроцесорних системах: монографія / О.А. Дмитрієва, Н.Г. Гуськова, Є.О. Башков, І.А. Назарова: монографія. – Покровськ: ДВНЗ «ДонНТУ», 2020. – 268 с. (*Розміщено у навчальних матеріалах для студентів*).

5. Дмитрієва, О. А. Спеціальні розділи обчислювальної математики. Комп'ютерний практикум [Електронний ресурс]: навчальний посібник для здобувачів ступеня бакалавра за освітньою програмою «Системний аналіз і управління» спеціальності 124 Системний аналіз / О.А. Дмитрієва; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2023. – 110 с. (<https://ela.kpi.ua/handle/123456789/62364>).

Додаткові джерела

6. Дмитрієва О.А. Паралельні чисельні методи моделювання динамічних об'єктів О.А. Дмитрієва. – Харків: «Ноулідж», 2014. – 336 с.

7. Butcher J. C. Numerical methods for ordinary differential equations / J. C. Butcher. – John Wiley & Sons, Ltd, 2016. – 514 p. (Вільний доступ в Інтернет <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/book/10.1002/9781119121534>)

8. Дмитрієва О. А. Паралельне моделювання динамічних об'єктів зі сконцентрованими параметрами / О.А. Дмитрієва. – Покровськ: ДВНЗ «ДонНТУ», 2016. – 384 с.

9. Hairer E. Geometric Numerical Integration / E. Hairer, C. Lubich, G. Wanner. – Berlin: Springer Verlag, 2006. – 644 p. -ISBN 978-3-540-30666-5.

10. Волонтир Л.О. Чисельні методи: Навчальний посібник. / Л.О. Волонтир, О.В.Зелінська, Н.А. Потапова. – Вінниця: ВНАУ, 2020 – 322 с.

11. Dmitrieva O. Parallel Step Control. Development of parallel algorithms of the step variation for simulation of stiff dynamic systems/ O. Dmitrieva, L. Feldman. – Lambert Academic Publishing, 2013. – 72 p.

12. Dmitrieva O. Parallel Algorithms of Simulation. Increase of simulation of dynamic objects with the lumped parameters into parallel computer systems / O. Dmitrieva, A. Firsova. – Lambert Academic Publishing, 2012. – 192 p.

13. Firsova A. Dynamic System Simulation. Robust algorithms of state estimation of dynamic lumped parameters systems / A. Firsova, O. Dmitrieva. – Lambert Academic Publishing, 2011. – 92 p.

14. Задачин В. М. Чисельні методи: навчальний посібник / В.М. Задачин, І. Г. Конюшенко. – Х. : Вид. ХНЕУ ім. С. Кузнеця, 2014. – 180 с.

Навчальний контент

5. Методика опанування навчальної дисципліни (освітнього компонента)

Практичні роботи

№ п/п	Найменування практичної роботи	Кількість годин
1	Оцінювання трудомісткості, похибок, обґрунтування показників ефективності та прискорення чисельних розрахунків.	2
2	Числові методи розв'язання систем лінійних алгебраїчних рівнянь великої розмірності з особливими матрицями.	2
3	Обчислення власних значень і власних векторів особливих матриць. Методи обертань, Тренча, Левінсона-Дарбіна.	2
4	Чисельне розв'язання завдання Коші багатоточковими блоковими одно- і багатокроковими методами.	2
5	Чисельні методи розв'язання крайових завдань для звичайних диференційних рівнянь. Методи зведення крайового завдання до завдання Коші.	2

6	Варіаційні чисельні методи розв'язання крайових завдань для звичайних диференціальних рівнянь. Методи колокацій, Гальоркіна, найменших квадратів, скінченних елементів.	2
7	Чисельні методи розв'язання рівнянь з частинними похідними. Еліптичні крайові завдання. Ітераційні методи розв'язання розріджених систем.	2
8	Чисельні методи розв'язання рівнянь з частинними похідними. Параболічні крайові завдання. Схеми підвищеної точності. Схеми розщеплення.	2
9	Чисельні методи розв'язання рівнянь з частинними похідними. Гіперболічні крайові завдання. . Явні і неявні різницеві схеми	2
	Всього практичних занять	18

6. Самостійна робота здобувача вищої освіти

Самостійна робота. Робочим навчальним планом освітньої програми «Системний аналіз і управління» на самостійну роботу передбачено 66 годин. Самостійна робота включає такі активності, як підготовка до лекційних та практичних аудиторних занять, ознайомлення з порядком виконання та змістом практичних робіт, формування звітів, підготовка до захисту практичних робіт, підготовка до написання контрольної роботи з дисципліни.

Контрольна робота. Робочим навчальним планом передбачено виконання контрольної роботи, яка містить завдання за основними розділами дисципліни «Спеціальні розділи обчислювальної математики».

Політика та контроль

7. Політика навчальної дисципліни (освітнього компонента)

Студенти повинні відвідувати всі заняття, які проводяться за розкладом (у контактній або дистанційній формах). Викладач контролює присутність студентів на заняттях. Відвідування консультаційних занять з дисципліни не є обов'язковим.

Під час проведення лекційних занять студенту рекомендується вести докладний конспект лекцій, приймати активну участь у обговоренні проблемних ситуацій, відповідати на запитання, поставлені викладачем.

Перед проведенням практичних робіт студенти повинні підготувати (засвоїти) теоретичний лекційний матеріал за відповідною темою, визначити або згенерувати (якщо це передбачено) індивідуальний варіант (варіанти) завдання. При виконанні практичної роботи дозволяється використовувати стандартні пакети прикладних програм або математичні середовища. При цьому неприпустимим є використання таких пакетів або середовищ, які захищені правом інтелектуальної власності. Рекомендується використовувати демонстраційні версії або хмарні додатки,

наприклад, Mathematica Wolfram Cloud. Також студенти можуть писати власний програмний код (що рекомендується) або виконувати розрахунки вручну (що не рекомендується, але дозволяється). Після виконання завдань, передбачених в практичній роботі, студенти повинні провести аналіз отриманих результатів, сформулювати звіт у відповідності до висунутих вимог, підготуватися до доповіді про отримані результати, сформулювати висновки.

8. Види контролю та рейтингова система оцінювання результатів навчання (PCO)

Поточний контроль проводиться при виконанні практичних робіт. Оцінюється теоретична підготовка (обізнаність щодо застосованих чисельних методів, вимог до збіжності, обрання початкових наближень, визначення алгоритмічної складності, трудомісткості реалізації тощо), а також володіння практичними навичками (обґрунтованість використання математичного середовища, мови програмування, засобів візуалізації та інш.). Система рейтингових (вагових) балів при виконанні поточного контролю наведена у табл. 8.1.

На початку семестру проводиться вхідний контроль щодо остаточних знань студента, які було отримано в курсі «Чисельні методи». Наприкінці семестру, після вивчення розділів 1-5, проводиться контрольна робота.

Календарний контроль проводиться двічі на семестр як моніторинг поточного стану виконання вимог силабусу.

Семестровий контроль – залік. Схему функціонування рейтингової системи оцінювання з дисципліни «Спеціальні розділи обчислювальної математики» із семестровим контролем у формі заліку (для очної форми навчання) див. у Додатку Б (п. Б.1) Положення про систему оцінювання результатів навчання в КПІ ім. Ігоря Сікорського (Затверджено та уведено в дію наказом № 1/273 від 14.09.2020 р., зі змінами, внесеними наказом № НОН/131/2022 від 03.05.2022 р.).

Положенням про рейтингову систему оцінювання передбачено нарахування заохочувальних балів. Такі заохочувальні бали з дисципліни «Спеціальні розділи обчислювальної математики» студенти можуть отримати за вдале проходження вхідного контролю. Вхідний контроль проводиться у вигляді тестового опитування. Максимальна кількість заохочувальних балів – 5, які додаються до поточної рейтингової оцінки.

Студенти, які виконали всі умови допуску до заліку та мають рейтингову оцінку 60 і більше балів (див. табл. 8.1), отримують відповідну до набраного рейтингу оцінку без додаткових випробувань.

Зі студентами, які виконали всі умови допуску до заліку та мають рейтингову оцінку менше 60 балів (але не менше 42 балів), а також з тими студентами, які бажають підвищити свою рейтингову оцінку, на останньому за розкладом занятті з

дисципліни в семестрі проводиться семестровий контроль у вигляді залікової контрольної роботи.

Відповідність рейтингових балів оцінкам за університетською шкалою наведено у табл. 8.2.

Таблиця 8.1. Система рейтингових (вагових) балів та критеріїв оцінювання

Категорія оцінювання	Мінімальна оцінка в балах	Максимальна оцінка в балах
Практична робота 1	6	10
Практична робота 2	6	10
Практична робота 4	6	10
Практична робота 5	6	10
Практична робота 7	6	10
Практична робота 8	6	10
Практична робота 9	6	10
Контрольна робота	18	30

Таблиця 8.2. Відповідність рейтингових балів оцінкам за університетською шкалою

Загальна сума балів	Оцінка
100...95	Відмінно
94...85	Дуже добре
84...75	Добре
74...65	Задовільно
64...60	Достатньо
Менше 60	Незадовільно
стартовий рейтинг менше 42 балів	Не допущено

9. Додаткова інформація з дисципліни (освітнього компонента)

Отримання студентом сертифікатів про проходження дистанційних чи онлайн курсів за тематикою зараховується як максимальна кількість балів за відповідною практичною/практичними роботою/роботами.

Робочу програму навчальної дисципліни (силабус) склав:

д.т.н., професор кафедри математичних методів системного аналізу

Ольга ДМИТРИЄВА

Ухвалено на засіданні кафедри ММСА, протокол № 13 від 05.06.2024
Погоджено на засіданні методичної комісії НН ІІСА,
протокол № 10 від 24.06.2024.