

Міністерство освіти і науки України

Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна

Кафедра прикладної математики

“ЗАТВЕРДЖУЮ”

Декан факультету
математики і інформатики

Григорій ЖОЛТКЕВИЧ



” 08 ” 2023 р.

РОБОЧА ПРОГРАМА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

Ефективні аналітичні методи в задачах обчислювальної фізики

(назва навчальної дисципліни)

рівень вищої освіти магістр

галузь знань 11 – Математика та статистика

спеціальність 113 – Прикладна математика
(шифр і назва)

освітня програма _____
(шифр і назва)

спеціалізація _____
(шифр і назва)

вид дисципліни за вибором
(обов'язкова / за вибором)

факультет математики і інформатики

2023 / 2024 навчальний рік

Програму рекомендовано до затвердження Вченою радою факультету математики і інформатики
 “29” серпня 2023 року, протокол №8

РОЗРОБНИКИ ПРОГРАМИ: Духопельников Сергій Володимирович, канд. тех. наук, доцент
 кафедри прикладної математики.

Програму схвалено на засіданні кафедри Прикладної математики
 Протокол від “28” серпня 2023 року №10

Завідувач кафедри Прикладної математики



(підпис)

Валерій КОРОБОВ

(прізвище та ініціали)

Програму погоджено з гарантом освітньо-професійної програми (керівником проектної
 групи) Прикладна математика
 назва освітньої програми

Гарант освітньо-професійної програми

(керівник проектної групи) Прикладна математика



(підпис)

Світлана ІГНАТОВИЧ

(прізвище та ініціали)

Програму погоджено науково-методичною комісією факультету математики
і інформатики Харківського національного університету імені В.Н. Каразіна
 назва факультету, для здобувачів вищої освіти якого викладається навчальна дисципліна

Протокол від “29” серпня 2023 року, протокол №1

Голова науково-методичної комісії факультету математики і інформатики



(підпис)

Ольга АНОЩЕНКО

(прізвище та ініціали)

ВСТУП

Програма навчальної дисципліни “Ефективні аналітичні методи в задачах обчислювальної фізики ” складена відповідно до **освітньо- професійна** програми підготовки

магістр

(назва рівня вищої освіти)

спеціальності 113 Прикладна математика

спеціалізації _____

1. Опис навчальної дисципліни

Предметом вивчення навчальної дисципліни є базові знання з ефективних аналітичних методів в задачах обчислювальної фізики.

1.1. Мета викладання навчальної дисципліни.

Метою викладання навчальної дисципліни є надання майбутнім спеціалістам базових знань з аналітичної регуляризації задач обчислювальної фізики.

1.2. Основні завдання вивчення дисципліни.

Основними завданнями вивчення дисципліни є навчання студентів володінню поняттями регуляризація, аналітична регуляризація, крайові та початково-крайові задачі обчислювальної фізики, фундаментальне рішення диференційного оператора, точні поглинаючі умови, віртуальні границі, часткове обернення оператора задачі, операторні рівняння першого та другого роду, кінцево-різнична апроксимація початково-крайових задач, нескінченні системи лінійних алгебраїчних рівнянь та їх коректна редукція.

1.3. Кількість кредитів – 6

1.4. Загальна кількість годин – 180

1.5. Характеристика навчальної дисципліни	
за вибором	
Денна форма навчання	Заочна (дистанційна) форма навчання
Рік підготовки	
2-й	-й
Семестр	
3-й	-й
Лекції	
18 год.	год.
Практичні, семінарські заняття	
18 год.	год.
Самостійна робота	
144 год.	год.

1.6. Заплановані результати навчання

Студенти повинні досягти таких результатів навчання:

знати :

- сучасні методи регуляризації некоректних задач,
- метод точних поглинаючих умов для аналітичної регуляризації початково-крайових задач з необмеженою областю аналізу,
- метод напівобернення для аналітичної регуляризації операторних рівнянь першого роду

вміти:

- застосовувати вказані вище методи при розгляді конкретних задач обчислювальної фізики;
- оцінювати похибки застосування методів аналітичної регуляризації при чисельному вирішенні конкретних фізичних задач,
- ефективно користуватися сучасними математичними інструментами: інтегральними перетвореннями, узагальненою постановкою початково-крайових та крайових задач, методами теорії несамоспряжених операторів, тощо

2. Тематичний план навчальної дисципліни

Програма навчальної дисципліни складається з таких **розділів**:

1. Метод точних поглинаючих умов для аналітичної регуляризації початково-крайових задач з необмеженою областю аналізу.
2. Метод напівобернення для аналітичної регуляризації операторних рівнянь першого роду.

Розділ 1. Метод точних поглинаючих умов для аналітичної регуляризації початково-крайових задач з необмеженою областю аналізу

Тема 1. Початково-крайові задачі обчислювальної електродинаміки.

Рівняння Максвелла. Початкові та крайові умови. Хвильові та телеграфні рівняння. Узагальнена постановка та узагальнені рішення початково-крайових задач. Метод кінцевих різниць у часовій області. Поглинаючі умови.

Тема 2. Метод точних поглинаючих умов.

Загальні положення.

Нелокальні точні поглинаючі умови у поперечному розрізі регулярного хвилеводу.

Локальні поглинаючі умови

Нелокальні та локальні поглинаючі умови для віртуальних границь у вільному просторі.

Розгляд та аналіз конкретних задач.

Розділ 2. Метод напівобернення для аналітичної регуляризації операторних рівнянь першого роду

Тема 3. Операторні рівняння першого та другого роду.

Загальні положення.

Ідея напівобернення.

Тема 4. Метод напівобернення.

Метод задачі Рімана-Гільберта теорії аналітичних функцій.

Напівобернення нескінченних систем алгебраїчних рівнянь згорточного типу.

Напівобернення сингулярних інтегральних рівнянь першого роду.

3. Структура навчальної дисципліни

Назви розділів і тем	Кількість годин											
	денна форма						заочна форма					
	усього	у тому числі					усього	у тому числі				
л		п	лаб.	інд.	с. р.	л		п	лаб.	інд.	с. р.	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Розділ 1. Метод точних поглинаючих умов для аналітичної регуляризації початково-крайових задач з необмеженою областю аналізу												
Тема 1. Початково-крайові задачі обчислювальної електродинаміки	30	4	4			22						
Тема 2. Метод точних поглинаючих умов	60	5	5			50						
Разом за розділом 1	90	9	9			72						
Розділ 2. Метод напівобернення для аналітичної регуляризації операторних рівнянь першого роду.												
Тема 3. Операторні рівняння першого та другого роду	30	4	4			24						
Тема 4. Метод напівобернення	60	5	5			48						
Разом за розділом 2	90	9	9			72						
Усього годин	180	18	18			144						

4. Теми практичних занять

№ з/п	Назва теми	Кількість годин
1	Перетворення в системі диференційних рівнянь Максвелла, та постановка крайових та початково-крайових векторних та скалярних задач обчислювальної радіофізики.	3
2	Дискретизація початково-крайових задач обчислювальної радіофізики.	2
3	Машинні ресурси, необхідні для реалізації локальних та нелокальних поглинаючих умов.	2
4	<i>Контрольна робота</i>	2
5	Програми, що реалізують метод точних поглинаючих умов	2
6	Особливості реалізації методу напівобернення операторних рівнянь першого роду.	3
7	Розгляд тестових задач методом точних поглинаючих умов.	2

8	Розгляд тестових задач методом напівобернення операторних рівнянь першого роду.	2
	Разом	18

5. Завдання для самостійної роботи

№ з/п	Види, зміст самостійної роботи	Кількість годин
1	Виконання домашніх завдань з загальних математичних процедур методу точних поглинаючих умов.	22
2	Виконання домашніх завдань з загальних математичних процедур методу напівобернення операторних рівнянь першого роду.	26
3	Побудова та повне рішення модельної задачі обчислювальної радіофізики методом точних поглинаючих умов.	35
4	Побудова та повне рішення модельної задачі обчислювальної радіофізики методом напівобернення операторних рівнянь першого роду.	41
	Підготовка до контрольної роботи	20
	Разом	144

6. Індивідуальне завдання

Не передбачені робочим планом

7. Методи навчання

- Лекції
- Практичні заняття
- Контрольні роботи
- Консультації
- Самостійна робота

Лекційні та практичні заняття проводяться за змішаною системою (аудиторно та дистанційно). А у разі оголошення карантину заняття проводяться відповідно до Наказу ректора Харківського національного університету імені В.Н. Каразіна (аудиторно або дистанційно за допомогою платформ Telegram або Zoom).

8. Методи контролю

- Перевірка робіт, виконаних самостійно
- Перевірка контрольних робіт
- Контроль на практичних заняттях
- Контроль на лекціях
- Проведення заліку

9. Розподіл балів, які отримують студенти

Поточний контроль, самостійна робота					Екзамен	Сума
Розділ 1	Розділ 2	Контрольні роботи, передбачені навчальним планом	Індивідуальне завдання	Разом		
T1–T2	T3–T4					
20	20	20		60	40	100

T1, T2, T3, T4 – теми розділів.

Для допуску до складання підсумкового контролю (заліку) здобувач вищої освіти повинен набрати не менше 10 балів з навчальної дисципліни під час поточного контролю, самостійної роботи.

Шкала оцінювання: дворівнева

Сума балів за всі види навчальної діяльності протягом семестру	Оцінка
50 – 100	зараховано
1-49	Не зараховано

Критерії оцінювання

Поточний контроль: бали нараховуються за виконання домашніх завдань і активність під час практичних занять.

Контрольна робота оцінюється у 20 балів.

Залікова робота складається з двох завдань і передбачає письмову відповідь на два питання зі списку, який надається студентам заздалегідь.

Кожне теоретичне завдання оцінюється максимально 20 балами.

По кожному завданню нараховується:

- максимальний бал у разі правильно обґрунтованої відповіді;
- за незначні та за арифметичні помилки оцінка зменшується від 10 до 30 відсотків;
- за значні логічні помилки оцінка зменшується до 50 відсотків, якщо хід розв'язання в цілому правильний,
- у разі частково вірних міркувань за відсутності обґрунтованої відповіді виставляється до 30 відсотків від максимальної кількості балів
- розв'язання не відповідає жодному з критеріїв, які сформульовані вище – виставляється 0 балів.

Приклад оцінювання контрольної роботи

1. Записати математичну модель задачі розсіяння у разі граничних умов Діріхле. Застосувавши метод аналітичної регуляризації, отримати нескінченну систему лінійних алгебраїчних рівнянь. Обґрунтувати її можливість усікнення. (Максимально 20 балів). У

разі написання математичної моделі, робота отримує 7 балів. Зведення побудованої моделі до нескінченної системи 8 балів. Обґрунтування збіжності 5 балів. На кожному етапі за незначні помилки бали зменшуються на 10-30 відсотків. За значні помилки: невірно написана гранична умова, невірно застосований метод, значні помилки в нескінченній системі бали зменшуються до 50 відсотків.

10. Рекомендоване методичне забезпечення

Базова література

1. Taflove A., Hagness S.C. *Computational electrodynamics: the finite-difference time-domain method*. – Boston: Artech House, 2000.
2. Sirenko, Yu., Velychko, L. (eds.). *Electromagnetic waves in complex systems: Selected theoretical and applied problems*. New York: Springer, 2016.
3. A.I. Nosich, "Method of Analytical Regularization in wave-scattering and eigenvalue problems: foundations and review of solutions," *IEEE Antennas and Propagation Magazine*, vol. 42, no 3, pp. 34-49, 1999.
4. J. D. Jackson *Classical Electrodynamics*, Third Edition Wiley; 3 edition 1998.
5. David Colton, *Inverse Acoustic and Electromagnetic Scattering Theory*/ David Colton, Rainer Kress. – Springer, 2013. – p. 405.
6. Sirenko, Y.K., Strom, S. (eds). *Modern Theory of Gratings. Resonant Scattering: Analysis Techniques and Phenomena*. – New York: Springer, 2010.
7. A.I. Nosich, "Method of analytical regularization in computational photonics," *Radio Science*, vol. 51, pp. 1421-1430, 2016.

Допоміжна література

1. Abramowitz, Milton; Stegun, Irene Ann, eds. (1983) [June 1964]. *Handbook of Mathematical Functions with Formulas, Graphs, and Mathematical Tables*. Applied Mathematics Series. Vol. 55 (Ninth reprint with additional corrections of tenth original printing with corrections (December 1972); first ed.). Washington D.C.; New York: United States Department of Commerce, National Bureau of Standards; Dover Publications.
2. ВГ Бондаренко · 2018 — Рівняння математичної фізики: [Електронний ресурс] : навч. посіб. для студ. спеціальності 124 «системний аналіз» /. В.Г.Бондаренко ; КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2018, с.100.
3. A. Altintas, A.I. Nosich, "The method of regularization and its application to some electromagnetic problems," in N.K. Uzunoglu, K.S. Nikita, D.I. Kaklamani (Eds.), *Applied Computational Electromagnetics*, Springer NATO-ASI Series, vol. 171, pp. 409-423, 2000.
4. F.O. Yevtushenko, S.V. Dukhopelnykov, T.L. Zinenko, Y.G. Rapoport, "Electromagnetic characterization of tuneable graphene-strips-on-substrate metasurface over entire THz range: Analytical regularization and natural-mode resonance interplay," *IET Microwaves, Antennas and Propagation*, vol. 15, no 10, pp. 1225-1239, 2021.
5. F.O. Yevtushenko, S.V. Dukhopelnykov, A.I. Nosich, "H-polarized plane-wave scattering by a PEC strip grating on top of a dielectric substrate: analytical regularization based on the Riemann-Hilbert Problem solution," *J. of Electromagnetic Waves and Applications*, vol. 34, no 4, pp. 483-499, 2020.