

Міністерство освіти і науки України

Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна

Кафедра прикладної математики

“ЗАТВЕРДЖУЮ”

Декан факультету  
математики і інформатики

Григорій ЖОЛТКЕВИЧ



“ 29 ” 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-наукової програми (керівником проектної  
групи) Прикладна математика  
назва освітньої програми

Гарант освітньо-наукової програми

(керівник проектної групи) Прикладна математика



(підпис)

Валерій КОРОБОВ

(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-наукової** 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	
22 год.	год.
Практичні, семінарські заняття	
22 год.	год.
Самостійна робота	
136 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
<b>Розділ 1. Метод точних поглинаючих умов для аналітичної регуляризації початково-крайових задач з необмеженою областю аналізу</b>												
Тема 1. Початково-крайові задачі обчислювальної електродинаміки	<b>30</b>	5	5			20						
Тема 2. Метод точних поглинаючих умов	<b>60</b>	6	6			48						
Разом за розділом 1	<b>90</b>	11	11			68						
<b>Розділ 2. Метод напівобернення для аналітичної регуляризації операторних рівнянь першого роду.</b>												
Тема 3. Операторні рівняння першого та другого роду	<b>30</b>	5	5			20						
Тема 4. Метод напівобернення	<b>60</b>	6	6			48						
Разом за розділом 2	<b>90</b>	11	11			68						
<b>Усього годин</b>	<b>180</b>	<b>22</b>	<b>22</b>			<b>136</b>						

### 4. Темі 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.	4
2	Дискретизація початково-крайових задач обчислювальної радіофізики.	4
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.	4
7	Розгляд тестових задач методом точних поглинаючих умов.	2

8	Розгляд тестових задач методом напівобернення операторних рівнянь першого роду.	2
	<b>Разом</b>	<b>22</b>

### 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.	20
2	Виконання домашніх завдань з загальних математичних процедур методу напівобернення операторних рівнянь першого роду.	24
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.	37
	Підготовка до контрольної роботи	20
	<b>Разом</b>	<b>136</b>

### 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 екзамену

## 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 (екзамену) здобувач вищої освіти повинен набрати не менше 10 балів з навчальної дисципліни під час поточного контролю, самостійної роботи.

### Шкала оцінювання: чотирирівнева

Сума балів за всі види навчальної діяльності протягом семестру	Оцінка
90 – 100	відмінно
70-89	добре
50-69	задовільно
1-49	незадовільно

### Критерії оцінювання

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

**Контрольна робота** оцінюється у 20 балів.

**Екзаменаційна 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.