

НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ НАУК УКРАЇНИ
ДЕРЖАВНА УСТАНОВА «НАУКОВИЙ ЦЕНТР АЕРОКОСМІЧНИХ
ДОСЛІДЖЕНЬ ЗЕМЛІ ІНСТИТУТУ ГЕОЛОГІЧНИХ НАУК
НАЦІОНАЛЬНОЇ АКАДЕМІЇ НАУК УКРАЇНИ»

«ЗАТВЕРДЖУЮ»

Директор ЦАКДЗІ НАН України
член-кореспондент НАН України

Михайло ПОПОВ

« 29 » вересня 2025 року

РОБОЧА ПРОГРАМА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

*Методи підвищення розрізненості оптичних і радарних аерокосмічних
зображень*

(Optical and radar aerospace imagery super-resolution techniques)

для здобувачів вищої освіти ступеня доктора філософії

галузь знань 17 – Електроніка, автоматизація та електронні комунікації
спеціальність 172 – Електронні комунікації та радіотехніка
освітній рівень доктор філософії
освітня програма «Дистанційні аерокосмічні дослідження»
вид дисципліни вибіркова

Форма навчання	денна
Навчальний рік	2024/2025
Семестр	5
Кількість кредитів ECTS	2
Мова викладання, навчання та оцінювання	українська
Форма заключного контролю – іспит	

Викладач: Лисенко Артур Ростиславович, молодший науковий співробітник лабораторії методів обробки даних дистанційного зондування при відділі геопросторового моделювання в аерокосмічних дослідженнях, доктор філософії

© А.Р. Лисенко, 2025

КИЇВ – 2025

Розробники: Лисенко Артур Ростиславович, доктор філософії, молодший науковий співробітник лабораторії методів обробки даних дистанційного зондування при відділі геопросторового моделювання в аерокосмічних дослідженнях.

Затверджено
Гарант освітньої програми
д.т.н., професор



(підпис)

Сергій СТАНКЕВИЧ
(власне ім'я, прізвище)

Схвалено: *Вченою радою Державної установи «Науковий центр аерокосмічних досліджень Землі Інституту геологічних наук Національної академії наук України» протокол від «23» вересня 2025 року № 12.*

Голова вченої ради
д.т.н., професор
член-кореспондент НАН України



Михайло ПОПОВ

Учений секретар вченої ради,
к.т.н., ст. досл.



Анна ХИЖНЯК

1. Мета дисципліни – ознайомлення аспірантів із методологічними основами підвищення просторової розрізненності оптичних та радіолокаційних аерокосмічних даних та формування навичок відбору та обробки оптичних та радіолокаційних аерокосмічних даних з метою підвищення їх просторової розрізненності.

2. Вимоги до вибору навчальної дисципліни:

- диплом магістра однієї зі спеціальностей галузі наук про Землю або телекомунікацій;
- наявність базових знань теорії розповсюдження електромагнітного випромінювання;
- наявність базових навичок обробки аерокосмічних зображень земної поверхні;

3. Анотація навчальної дисципліни

Предметом дисципліни є методи підвищення просторової розрізненності оптичних та радіолокаційних аерокосмічних даних. Навчальний курс також включає формування навичок відбору та обробки оптичних та радіолокаційних даних ДЗЗ придатних до використання у методах підвищення просторової розрізненності аерокосмічних даних.

4. Цілі навчання:

Протягом навчання аспіранти мають здобути загальні компетентності (ЗК):

ЗК02. Здатність до пошуку, оброблення та аналізу інформації з різних джерел.

ЗК04. Здатність розв'язувати комплексні проблеми у сфері електронних комунікацій, радіотехніки, дистанційних аерокосмічних досліджень на основі системного наукового та загального культурного світогляду із дотриманням принципів професійної етики та академічної доброчесності.

спеціальні компетентності (СК):

СК01. Здатність виконувати оригінальні дослідження, досягати наукових результатів, які створюють нові знання у науках про електронні комунікації, радіотехніку та дистанційні аерокосмічні дослідження та дотичних міждисциплінарних напрямках і можуть бути опубліковані у провідних міжнародних наукових виданнях.

СК02. Здатність із застосуванням сучасних методологій, методів та інструментів наукової діяльності за фахом ставити експеримент, обробляти отримані експериментальні дані, встановлювати аналітичні і системні залежності між об'єктами; застосовувати сучасні цифрові технології, бази даних та інші електронні ресурси у науковій та освітній діяльності.

СК03. Здатність усно і письмово презентувати та обговорювати результати наукових досліджень та/або інноваційних розробок українською, англійською або іншими мовами, глибоке розуміння іншомовних (зокрема, англійських) наукових текстів за напрямом досліджень.

СК04. Здатність ініціювати, розробляти і реалізовувати комплексні інноваційні проекти в галузі електронних комунікацій, радіотехніки та дистанційного аерокосмічних досліджень та дотичні до них міждисциплінарні проекти.

СК05. Здатність виявляти, ставити та вирішувати дослідницькі науково-прикладні задачі та/або проблеми в сфері електронних комунікацій, радіотехніки та дистанційного аерокосмічних досліджень, оцінювати та забезпечувати якість виконуваних досліджень.

СК06. Здатність дотримуватись етики досліджень, а також правил академічної доброчесності в наукових дослідженнях та науково-педагогічній діяльності.

Після завершення курсу аспіранти зможуть:

- виконувати відбір оптичних та радіолокаційних даних для використання у методах підвищення просторової розрізненності аерокосмічних даних;

- виконувати обробку оптичних та радіолокаційних даних для використання у методах підвищення просторової розрізненності аерокосмічних даних;

- використовувати спеціалізоване програмне забезпечення для підвищення та оцінювання просторової розрізненності аерокосмічних даних.

5. Результати навчання:

Результат навчання (1. знати; 2. вміти; 3. комунікація; 4. автономність та відповідальність)		Форма/Методи викладання і навчання	Форма/Методи оцінювання	Відсоток у підсумковій оцінці з дисципліни
Код	Результат навчання			
1.1	Якісні характеристики супутникових зображень	Лекція	Усне опитування	до 5%
1.2	Сучасні сенсори ДЗЗ та їх характеристики	Лекція	Усне опитування	до 5%
1.3	Особливості оптичних та радіолокаційних даних ДЗЗ та їх застосування у методах підвищення просторової розрізненості	Лекція	Усне опитування	до 10%
1.4	Методи та моделі підвищення просторової розрізненості даних ДЗЗ	Лекція, практичне заняття	Виконання практичної роботи	до 10%
1.5	Теоретичні основи зворотного радіолокаційного розсіювання у задачах підвищення просторової розрізненості даних ДЗЗ	Лекція	Усне опитування	до 10%
1.6	Моделі зворотного радіолокаційного розсіювання	Лекція	Усне опитування	до 10%
1.7	Методологічні основи перерахунку різнополяризаційних радіолокаційних даних у єдиний спільний фізичний показник	Лекція, практичне заняття	Виконання практичної роботи	до 10%
1.8	Теоретичні основи оцінювання просторової розрізненості даних ДЗЗ	Лекція, практичне заняття	Виконання практичної роботи	до 10%
2.1	Виконувати відбір та обробку оптичних та радіолокаційних даних ДЗЗ придатних до використання у методах підвищення просторової розрізненості даних ДЗЗ	Практична робота, самостійна робота		до 10%
2.2	Виконувати підвищення просторової розрізненості даних ДЗЗ за допомогою спеціалізованих програмних засобів	Практична робота, самостійна робота		до 5%
2.3	Виконувати оцінку просторової розрізненості даних ДЗЗ за допомогою спеціалізованих програмних засобів	Практична робота, самостійна робота		до 5%
3.1	Обґрунтовувати переваги та недоліки використання оптичних та радіолокаційних даних у методах підвищення просторової розрізненості	Лекція, практична робота, самостійна робота		до 5%
4.1	Використовувати отримані знання при обробці аерокосмічних даних та оцінювати точність та ефективність методики	Практична робота		до 5%

Структура курсу: лекційні і практичні заняття, самостійна робота.

6. Співвідношення результатів навчання дисципліни із програмними результатами навчання

Результати навчання дисципліни Програмні результати навчання	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6	1.7	1.8	2.1	2.2	2.3	3.1	4.1
РН02. Формулювати і перевіряти гіпотези; використовувати для обґрунтування висновків належні докази, зокрема, результати теоретичного аналізу, експериментальних досліджень і математичного та/або комп'ютерного моделювання, наявні літературні дані.	+	+	+	+	+	+	+	+					
РН03. Вільно презентувати та обговорювати з фахівцями і нефахівцями результати досліджень, наукові та прикладні проблеми з електронних комунікацій, радіотехніки, зокрема з дистанційних аерокосмічних досліджень, кваліфіковано оприлюднювати в тому числі іноземною мовою результати досліджень у наукових публікаціях у провідних міжнародних наукових виданнях та на наукових заходах.	+		+	+			+	+					
РН04. Розробляти та досліджувати концептуальні, математичні і комп'ютерні моделі процесів і систем, ефективно використовувати їх для отримання нових знань та/або створення інноваційних продуктів у сфері електронних комунікацій, радіотехніки, зокрема з дистанційних аерокосмічних досліджень, та дотичних міждисциплінарних напрямках.					+		+						
РН05. Глибоко розуміти загальні принципи та методи електронних комунікацій, дистанційних аерокосмічних досліджень, а також методологію наукових досліджень, застосувати їх у власних дослідженнях та у викладацькій практиці.	+	+	+	+	+	+	+	+					
РН06. Планувати і виконувати експериментальні та/або теоретичні дослідження з електронних комунікацій, радіотехніки, зокрема з дистанційних аерокосмічних досліджень, та дотичних				+			+	+	+	+	+	+	+

міждисциплінарних напрямів з використанням сучасних інструментів та дотриманням норм професійної і академічної етики, критично аналізувати результати власних досліджень і результати інших дослідників у контексті усього комплексу сучасних знань щодо досліджуваної проблеми.														
РН07. Розробляти та реалізовувати наукові та/або інноваційні проекти, які дають можливість переосмислити наявне та створити нове цілісне знання та/або професійну практику і розв'язувати значущі наукові та технологічні проблеми у сфері електронних комунікацій, радіотехніки, зокрема з дистанційних аерокосмічних досліджень, з врахуванням соціальних, економічних, екологічних та правових аспектів.										+	+	+	+	+
РН08. Застосовувати загальні принципи та методи математики, сучасні програмно-технічні засоби, інструменти і технології пошуку, оброблення та аналізу інформації, зокрема, статистичні методи аналізу даних великого обсягу та/або складної структури, спеціалізовані бази даних та інформаційні системи і технології.														

7. Схема формування оцінки:

7.1. Форми оцінювання аспірантів

1. Семестрове оцінювання:

1) Контрольна робота «Основи супутникової геодезії та фотограмметрії в дистанційних дослідженнях» – 10 балів (рубіжна оцінка – 6 балів).

2) Оцінка за роботу на лекційних та практичних заняттях – 50 балів (рубіжна оцінка – 30 балів)

2. Підсумкове оцінювання у формі іспиту: максимальна оцінка 40 балів (рубіжна оцінка – 24 бали). Під час іспиту аспірант виконує реалізацію проекту з використанням знань та вмінь із застосування методів супутникової геодезії та фотограмметрії в дистанційних дослідженнях. Підсумкове оцінювання у формі іспиту не є обов'язковим, при відмові від участі у даній формі оцінювання аспірант не отримає відповідні бали до підсумкової оцінки.

Результати навчальної діяльності аспірантів оцінюються за 100 бальною шкалою.

Загальна оцінка виставляється за результатами роботи аспіранта впродовж семестру та підсумкового оцінювання у формі іспиту, як сума (проста або зважена) балів за систематичну роботу впродовж семестру та балів отриманих в результаті підсумкового оцінювання у формі іспиту.

	Семестрова кількість балів за семестр	ПКР (підсумкова контрольна робота) чи/або іспит	Підсумкова оцінка
Мінімум	36	24	60
Максимум	60	40	100

Аспірант не допускається до підсумкового оцінювання у формі іспиту, якщо під час семестру набрав менше 20 балів.

7.2. Організація оцінювання: Контроль здійснюється за модульно-рейтинговою системою та передбачає: 4 лекції та виконання 3 практичних робіт (де аспіранти мають продемонструвати якість засвоєних знань та вирішити поставлені задачі використовуючи окреслені викладачем методи та засоби) та проведення 1 контрольної роботи. Підсумкове оцінювання проводиться у формі письмово-усного іспиту.

7.3. Шкала відповідності

Відмінно / Excellent	90-100
Добре / Good	75-89
Задовільно / Satisfactory	60-74
Незадовільно / Fail	0-59

8. СТРУКТУРА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ ТЕМАТИЧНИЙ ПЛАН ЛЕКЦІЙ І ПРАКТИЧНИХ ЗАНЯТЬ

№ п/п	Назва теми	Кількість годин		
		лекції	практичні	Самостійна робота
1	Тема 1. Якісні характеристики космічних знімків. Сучасні сенсори ДЗЗ та їх характеристики. Особливості оптичних та радіолокаційних даних ДЗЗ.	1		6
2	Тема 2. Методи та моделі підвищення просторової розрізненості супутникових даних. Модель оцінки субпіксельного зсуву пари зображень даних ДЗЗ.	2		6
3	Тема 3. Зворотне радіолокаційне розсіювання. Моделі перетворення різнополяризаційних радарних даних у спільний фізичний показник.	2		6
4	Тема 4. Оцінка просторової розрізненості супутникових зображень.	1		6
	Практична робота 1. Відбір та обробка супутникових зображень для методів підвищення просторової розрізненості аерокосмічних даних.		2	6
	Практична робота 2. Перерахунок коефіцієнта зворотного радіолокаційного відбиття у діелектричну проникність земної поверхні із застосуванням мови програмування Python.		2	6
	Практична робота 3. Підвищення просторової розрізненості супутникових даних та оцінка їх просторової розрізненості за допомогою спеціалізованого програмного забезпечення.		2	6
	<i>Контрольна робота</i>		2	
	<i>Іспит з дисципліни</i>		2	
	Всього за семестр	12	10	42

Примітка: слід зазначити теми, винесені на самостійне вивчення

Загальний обсяг 60 год., в тому числі:

Лекцій – **12 год.**

Практичні заняття - **6 год.**

Самостійна робота - **42 год.**

Контрольна робота– **2 год.**

Іспит – **2 год.**

РЕКОМЕНДОВАНІ ДЖЕРЕЛА:

Основні:

1. Кобилін О. А., Творошенко І. С. Методи цифрової обробки зображень: навч. посібник. – Харків: ХНУРЕ, 2021. – 124 с.
2. Довгий С. О., Лялько В. І., Бабійчук С. М., Кучма Т. Л., Томченко О. В., Юрків Л. Я. Основи дистанційного зондування Землі: історія та практичне застосування: навч. Посіб. / С. О. Довгий, В. І. Лялько, С. М. Бабійчук, Т. Л. Кучма, О. В. Томченко, Л. Я. Юрків. – К. : Інститут обдарованої дитини НАПН України, 2019. – 316 с.
3. Чужа О. О., Ситник О. Г., Хімін В. М., Кожохіна О. В. Авіаційні радіоелектронні системи: навч. посібник. – Київ: НАУ, 2017. – 264 с.
4. Fathi E. A., Mohiy M. H., Said E. E. Image Super-Resolution and Applications / CRC Press, 2019. – 504 p.
5. Вовк Р. В., Попов А. В. Електрика і магнетизм: навч. посібник. – Харків: УкрДАЗТ, 2010. – 178 с.
6. Зацерковний В. І., Демидов В. К., Цюпа І. В., Малік Т. М. Моделювання в ГІС – 2024. – 420 с.

Додаткові:

1. Richards M. A. Fundamentals of Radar Signal Processing / McGraw Hill, 2022. – 736 p.
2. Maurice G. Bellanger. Digital Signal Processing (10th ed.) / John Wiley & Sons, 2024 – 400 p.
3. Parker J. R. Algorithms for Image Processing and Computer Vision (2nd ed.) / John Wiley & Sons, 2010. – 512 p.
4. Бурштинська Х.В., Аерокосмічні знімальні системи: підручник / Х.В. Бурштинська, С.А. Станкевич. - Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2013. - 316 с.
5. Dowman I., Jacobsen K., Konecny G., Sandau R. High resolution optical satellite imagery (2nd ed.) / Whittles Publishing, 2022. – 304 p.

Питання до диференційованого іспиту:

1. Що таке інформативність даних ДЗЗ?
2. Що таке просторова розрізненність зображення?
3. Який зв'язок інформативності з просторовою розрізненністю даних ДЗЗ?
4. Що таке оптичні сенсори ДЗЗ, які їх типи та особливості?
5. Що таке радарні сенсори ДЗЗ, які їх типи та особливості?
6. Які типи супутникових радарних даних та які їх особливості?
7. Які існують методи обробки радарних даних?
8. Наведіть та опишіть алгоритм підвищення просторової розрізненності супутникового зображення.
9. Наведіть формулу та поясніть суть дискретного перетворення Фур'є.
10. Наведіть та опишіть цільову функцію моделі оцінки цілопиксельного зсуву зображень.
11. Що таке субпиксельне зміщення пари зображень та яка його роль у моделі підвищення просторової розрізненності супутникового зображення?
12. Наведіть та опишіть цільову функцію моделі оцінки субпиксельного зміщення пари зображень.
13. Наведіть та опишіть основне рівняння моделі побудови зображення підвищеної просторової розрізненності.
14. Що таке коефіцієнт зворотного радіолокаційного розсіювання σ^0 ?
15. Які є типи зворотного радіолокаційного відбиття від земної поверхні?
16. Які основні моделі зворотного радіолокаційного розсіювання? В чому їх відмінності?
17. Опишіть модель зворотного радіолокаційного розсіювання Оха (початкова версія 1992 року).
18. Опишіть модель зворотного радіолокаційного розсіювання Дюбуа.
19. Опишіть модель зворотного радіолокаційного розсіювання Фанга (модель інтегрального рівняння) для малих збурень.
20. Опишіть модель оцінки просторової розрізненності супутникового знімка.
21. Наведіть типовий алгоритм обробки радіолокаційних зображень та опишіть його.
22. Опишіть вимоги до даних для методу підвищення просторової розрізненності аерокосмічного зображення шляхом злиття вхідних даних ДЗЗ.
23. Що таке діелектрична проникність земної поверхні?
24. Яку роль діелектрична проникність земної поверхні відіграє при підвищенні розрізненності радарних зображень?