

**ІНСТИТУТ КІБЕРНЕТИКИ
ІМЕНІ В.М.ГЛУШКОВА НАН УКРАЇНИ**



«ЗАТВЕРДЖУЮ»

Директор Інституту кібернетики
імені В.М.Глушкова НАН України
академік НАН України

Іван СЕРГІЄНКО

2025 року

**РОБОЧА ПРОГРАМА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ
(ПРОЄКТ)
МЕТОДИ ПАРАЛЕЛЬНИХ ОБЧИСЛЕНЬ У
МОДЕЛЮВАННІ МІГРАЦІЙНИХ ПРОЦЕСІВ
(ДВА.3.2.6)**

для здобувачів освітньо-наукового рівня «доктор філософії»

галузь знань	F “Інформаційні технології”
спеціальність	F1 “Прикладна математика”
освітній рівень	третій (освітньо-науковий)
освітньо-наукова програма	“Прикладна математика”
вид дисципліни	вибіркова

Форма навчання	денна / заочна
Навчальний рік	2025/2026
Рік навчання	2
Кількість кредитів ECTS	2
Мова викладання, навчання та оцінювання	українська
Форма заключного контролю	іспит

Викладачі: **Богасько Всеволод Олександрович, д.ф.-м.н.**

Пролонговано Вченою радою Інституту кібернетики імені В.М. Глушкова НАН України

Навчальні роки пролонгації	Учений секретар	Підпис	№ протоколу	Дата протоколу
20___/20___ р.	_____	_____	_____	_____
20___/20___ р.	_____	_____	_____	_____
20___/20___ р.	_____	_____	_____	_____
20___/20___ р.	_____	_____	_____	_____

КИЇВ – 2025

1. Мета дисципліни - одержання фундаментальних і прикладних знань в галузі, яка стосується побудови та дослідження властивостей ефективних високопродуктивних алгоритмів моделювання міграційних процесів, їх програмної реалізації з використанням сучасних інформаційних технологій; формування наукового світогляду стосовно сучасного стану проблем і підходів в галузі розробки паралельних алгоритмів моделювання міграційних процесів на базі сучасних високоефективних обчислювальних систем. На базі набутих знань майбутні фахівці зможуть створювати обчислювально-ефективні засоби моделювання динамічних процесів волого-, масо- та теплоперенесення.

2. Попередні вимоги до опанування або вибору навчальної дисципліни:

- 1. Знати:** принципи і методологію математичного моделювання розподілених процесів у пористих середовищах; основні поняття методів дискретизації основних крайових задач математичної фізики; методи розробки програмного забезпечення, основні класи обчислювальних систем.
- 2. Вміти:** володіти навичками застосування програмних засобів для математичного моделювання, досвідом побудови та дослідження математичних моделей; володіти основами методу скінченних різниць для дискретизації базових задач математичної фізики; розробляти програмне забезпечення для систем за спільною та розподіленою пам'яттю за допомогою сучасних засобів.

3. Анотація навчальної дисципліни:

Дисципліна «Методи паралельних обчислень у моделювання міграційних процесів» орієнтована на формування особистісного і професійного розвитку аспірантів, спрямована на формування базових знань, вмінь та навичок з теоретичних основ розроблення високопродуктивних алгоритмів та програмного забезпечення для моделювання міграційних процесів у пористих середовищах. Задача курсу полягає в досягненні досконалого володіння теоретичними знаннями для ефективного використання та розробки сучасних програмних засобів комп'ютерного моделювання широкого класу екологічних та сільськогосподарських процесів з розподіленими параметрами. Особлива увага приділяється розробці методів та алгоритмів для просторових рівнянь масо-, волого- та теплоперенесення, створенню програмних засобів моделювання міграційних процесів, орієнтованих на використання сучасних високопродуктивних багатопроцесорних обчислювальних засобів з паралельною архітектурою.

4. Завдання (навчальні цілі): набуття знань, умінь та навичок (компетентностей) на рівні новітніх досягнень в області розробки алгоритмів та програмного забезпечення для математичного моделювання динамічних процесів у пористих середовищах, розробці методів моделювання процесів у екології та сільському господарстві з використанням сучасних інформаційних технологій відповідно до науково-освітньої кваліфікації «Доктор філософії». Зокрема, розвивати навички по формуванню наукового світогляду стосовно сучасного стану проблем і підходів в галузі розробки та програмної реалізації паралельних алгоритмів методів моделювання міграційних процесів на базі сучасних високоефективних обчислювальних систем.

5. Результати навчання за дисципліною:

Результат навчання (РН) (1. знати; 2. вміти; 3. комунікація; 4. автономність та відповідальність)		Форми (та/або методи і технології) викладання і навчання	Методи оцінювання та пороговий критерій оцінювання (за необхідності)	Відсоток у підсумковій оцінці з дисципліни
Код	Результат навчання			
РН 1.1	Знати основні задачі, принципи і методологію побудови систем підтримки прийняття рішень в екології та сільському господарстві	Лекція	Іспит, активна робота на лекції, усні відповіді	20%

РН 1.2	Знати основні підходи до організації паралельних обчислень при розв'язанні задач моделювання міграційних процесів на основі диференціальних та інтегро-диференціальних рівнянь			20%
РН 1.3	Знати основні підходи до організації паралельних обчислень при розв'язанні обернених задач методами soft computing			
РН 1.4	Знати основні підходи до оптимізації коду при програмній реалізації паралельних алгоритмів моделювання міграційних процесів			
РН 2.1	Вміти застосовувати програмні засоби паралельного розв'язання систем лінійних алгебричних рівнянь у задачах моделювання динаміки міграційних процесів	Лекція, самостійна робота	Іспит, захист проекту, самостійна робота	20%
РН 2.2	Вміти застосовувати програмні засоби паралельного розв'язання обернених задач методами soft computing при моделюванні міграційних процесів			20%
РН 2.3	Вміти використовувати сучасні підходи до оптимізації програмного коду при комп'ютерному моделюванні міграційних процесів	Самостійна робота	Захист проекту	5%
РН3.1	Здатність обґрунтовувати власний погляд на створення програмних засобів математичного моделювання міграційних процесів, спілкуватися з колегами з питань розробки відповідних алгоритмів та програмних засобів, дотримання норм міжособистісного спілкування у професійній взаємодії			5%
РН 4.1	Мати високий ступінь самостійності, інноваційності, академічної та професійної доброчесності, послідовну відданість розвитку нових ідей або процесів у передових контекстах професійної та наукової діяльності.			5%
РН 4.2	Відповідально ставитися до виконуваних робіт, нести відповідальність за їх якість			5%

6. Співвідношення результатів навчання дисципліни із програмними результатами навчання

Результати навчання дисципліни	РН 1.1	РН 1.2	РН 1.3	РН 1.4	РН 2.1	РН 2.2	РН 2.3	РН 3.1	РН 4.1	РН 4.2
Програмні результати навчання										
<i>(з опису освітньої програми)</i>										
ПРН-3. Знати наукові школи і фундаментальні праці у галузі прикладної математики та інформаційних технологій, праці провідних зарубіжних вчених; формулювати мету власного наукового дослідження	+	+	+	+					+	+
ПРН-5. Знати, розуміти і застосовувати математичні концепції, методи системного аналізу і математичного моделювання.	+	+	+	+	+	+	+			
ПРН-6. Вміти формулювати, експериментально підтверджувати, обґрунтовувати і застосовувати на практиці нові конкурентоздатні ідеї, методи, технології розв'язання професійних, науково-технічних задач.	+	+	+	+	+	+	+			

ПРН-12. Уміти використовувати існуючі та створювати власні теоретичні моделі в математичному дослідженні.	+	+	+		+	+				
ПРН-13. Уміти використовувати та удосконалювати методи прикладної математики на основі впровадження інтелектуальних інформаційних технологій.		+	+	+	+	+	+	+	+	+

7. Схема формування оцінки.

7.1. Форми оцінювання здобувачів освітньо-наукового ступеня:

- оцінювання впродовж навчального періоду:

1. Активна робота на лекції, усні відповіді: РН1.1, РН1.2, РН1.3, РН1.4– 10 балів/6 балів;
2. Виконання завдань, винесених на самостійну роботу: РН2.1, РН2.2 – 20 балів/12 балів;
3. Захист проєкту: РН2.3, РН3.1, РН4.1, РН4.2 – 30 балів/18 балів;

- підсумкове оцінювання: іспит.

- максимальна кількість балів які можуть бути отримані: 40 балів;
- результати навчання які будуть оцінюватись: РН1.1, РН1.2, РН1.3, РН1.4;
- форма проведення і види завдань: письмова робота.

Здобувачі освітньо-наукового ступеня, які набрали сумарно меншу кількість балів ніж критично-розрахунковий мінімум – 20 балів, за рішенням підрозділу не допускаються до складання іспиту.

Рекомендований мінімум – 36 балів.

7.2. Організація оцінювання:

Обов'язковим є виконання завдань, винесених на самостійну роботу, та проєкту за графіком робочої програми.

У частину 1 входять теми 1 - 3, у частину 2 – теми 4 – 6 у частину 3 – теми 7 – 9. Обов'язковим для екзамену є виконання проєкту до вказаної викладачем дати, перед початком екзаменаційної сесії, згідно з навчальним планом.

Терміни проведення форм оцінювання:

1. Активна робота на лекції, усні відповіді: протягом навчального періоду;
2. Виконання завдань, винесених на самостійну роботу: протягом навчального періоду;
3. Захист проєкту : до 9 тижня навчального періоду.

У випадку відсутності з поважних причин, відпрацювання та перездача проєкту здійснюються у відповідності до „Положення про організацію освітнього процесу у Інституті кібернетики імені В.М. Глушкова НАН України”.

7.3. Шкала відповідності оцінок

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

№	Назва лекції	Кількість годин		
		Лекції	Практичні	Самостійна робота
Частина 1. “Методи побудови систем підтримки прийняття рішень, що базуються на моделюванні міграційних процесів”				
1	Тема 1. Системи підтримки прийняття рішень у екології та алгоритми, на яких вони базуються. Використання засобів математичного моделювання в задачах аналізу та прогнозу стану екосистем. Проблема розробки раціональних математичних моделей та створення ефективних комп’ютерних технологій. <i>Самостійна робота:</i> Вивчити методи побудови систем підтримки прийняття рішень в екології.	2		4
2	Тема 2. Системи підтримки прийняття рішень у сільському господарстві та алгоритми, на яких вони базуються. Використання засобів математичного моделювання при плануванні сільськогосподарської діяльності. <i>Самостійна робота:</i> Розглянути методи побудови систем підтримки прийняття рішень у сільському господарстві.	2		4
3	Тема 3. Дробово-диференціальні моделі міграційних процесів та їх використання у системах підтримки прийняття рішень в екології та сільському господарстві. <i>Самостійна робота:</i> Розглянути наявні дробово-диференціальні моделі міграційних процесів та приклади їх практичного застосування.	2		4
Частина 2. “Паралельні алгоритми розв’язання задач щодо моделей міграційних процесів”				
4	Тема 4. Паралельні алгоритми для систем з розподіленою пам’яттю щодо явних та неявних різницевих схем для задач масо-, волого-, та теплоперенесення. <i>Самостійна робота:</i> Розглянути методи побудови алгоритмів для систем з розподіленою пам’яттю щодо рівнянь конвекції-дифузії-реакції.	2		4
5	Тема 5. Багатопотокові алгоритми та алгоритми для графічних процесорів розв’язання задач моделювання міграційних процесів методом скінченних різниць. <i>Самостійна робота:</i> Вивчити основні підходи до побудови паралельних алгоритмів для систем зі спільною пам’яттю щодо розв’язання диференціальних рівнянь методом скінченних різниць.	2		4

6	Тема 6. Паралельні алгоритми розв’язання задач щодо дробово-диференціальних моделей міграційних процесів на системах зі спільною та розподіленою пам’яттю. <i>Самостійна робота:</i> Вивчити особливості побудови паралельних алгоритмів для дробово-диференціальних моделей міграційних процесів.	2		4
Частина 3. “Засоби програмної реалізації паралельних алгоритмів моделювання міграційних процесів”				
7	Тема 7. Алгоритми та програмні засоби паралельного розв’язання систем лінійних алгебричних рівнянь на системах зі спільною та розподіленою пам’яттю. Особливості їх застосування у задачах моделювання міграційних процесів. <i>Самостійна робота:</i> Вивчити засоби розв’язання систем лінійних алгебричних рівнянь на системах зі спільною та розподіленою пам’яттю.	2		4
8	Тема 8. Алгоритми та програмні засоби паралельного розв’язання обернених задач методами генетичних алгоритмів та ройового інтелекту. Особливості їх застосування у задачах моделювання міграційних процесів. <i>Самостійна робота:</i> Вивчити особливості алгоритмів та наявні програмні засоби розв’язання обернених задач методами soft computing.	2		4
9	Тема 9. Підходи до оптимізації обчислень на системах з розподіленою та спільною пам’яттю при розв’язанні диференціальних та інтегро-диференціальних задач. <i>Самостійна робота:</i> вивчити підходи до низькорівневої оптимізації обчислень при розв’язанні диференціальних та інтегро-диференціальних рівнянь. Проект з застосування методів математичного моделювання та високопродуктивних обчислень для розв’язання прикладних задач, пов’язаних з міграційними процесами.	2		8
ВСЬОГО		18		40

Загальний обсяг 60 годин, в тому числі:

Лекцій – **18 годин**,

Консультації - **2 години**,

Самостійна робота – **40 годин**.

9. Рекомендовані джерела

Основні:

1. Богаєнко В.О., Булавацький В.М., Хіміч О.М. Математичне та комп'ютерне моделювання в задачах гідрогеоміграційної динаміки. – Київ: Наукова Думка, 2022.
2. Пасічник Т.В. Моделювання та прогнозування стану довкілля: навчальний посібник. – Львів: «Магнолія 2006», 2025. – 194 с
3. Kumar R., Bhanu M., Mendes-Moreira J., Chandra J.. Spatio-Temporal Predictive Modeling Techniques for Different Domains: a Survey. ACM Comput. Surv. 57, 2, 2024, Article 38. <https://doi.org/10.1145/3696661>
4. Lakicevic M., Povak N., Reynolds K. Introduction to R for Terrestrial Ecology: Basics of Numerical Analysis, Mapping, Statistical Tests and Advanced Application of R (1st. ed.). Springer Publishing Company, Incorporated, 2020.
5. Quarteroni A., Gervasio P. A Primer on Mathematical Modelling. Springer Nature Switzerland AG, 2020, <https://doi.org/10.1007/978-3-030-44541-6>
6. Šimůnek J., van Genuchten M. Th., Šejna M. The HYDRUS Software Package for Simulating the One-, Two-, and Three-Dimensional Movement of Water, Heat, and Multiple Solutes in Variably-Saturated Porous Media. Technical Manual II. Hydrus (2D/3D) Version 5.05, 2022. https://www.pc-progress.com/downloads/Pgm_Hydrus3D5/HYDRUS_Technical_Manual_2D3D_V5.pdf
7. Tomasiello S., Macías-Díaz J. E. A mini-review on recent fractional models for agri-food problems. Mathematics, 11(10), 2023, 2316. <https://www.mdpi.com/2227-7390/11/10/2316>
8. Asgari M., Yang W., Lindsay J., Tolson B., Dehnavi, M. M. A review of parallel computing applications in calibrating watershed hydrologic models. Environmental Modelling & Software, 151, 2022, 105370. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364815222000767>

Додаткові:

1. Ara I., Turner L., Harrison M. T., Monjardino M., DeVoi P., Rodriguez D. Application, adoption and opportunities for improving decision support systems in irrigated agriculture: A review. Agricultural Water Management, 257, 2021, 107161. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378377421004388>
2. Ncube M.M., Ngulube P. Enhancing environmental decision-making: a systematic review of data analytics applications in monitoring and management. Discov Sustain 5, 2024, 290. <https://doi.org/10.1007/s43621-024-00510-0>
3. Gavranovic S., Hassan Z., Failer L., et al. Fast 3D solvers for interactive computational mechanics. J.Math.Industry 14, 2024, 22. <https://doi.org/10.1186/s13362-024-00160-x>
4. Afzal A., Ansari Z., Faizabadi A. R., Ramis M. K. Parallelization strategies for computational fluid dynamics software: state of the art review. Archives of Computational Methods in Engineering, 24(2), 2017, 337-363. <https://link.springer.com/article/10.1007/s11831-016-9165-4>
5. Delmas V., Soulaïmani A. Multi-GPU implementation of a time-explicit finite volume solver using CUDA and a CUDA-Aware version of OpenMPI with application to shallow water flows, Computer Physics Communications, 271, 2022, 108190, <https://doi.org/10.1016/j.cpc.2021.108190>
6. Gong C., Bao W., Tang G., Jiang Y., Liu J. Computational challenge of fractional differential equations and the potential solutions: a survey. Mathematical Problems in Engineering, 2015(1), 2015, 258265. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/pdf/10.1155/2015/258265>
7. Higham N. J., Mary T. Mixed precision algorithms in numerical linear algebra. Acta Numerica, 31, 2022, 347–414. <https://doi.org/10.1017/S0962492922000022>
8. ScaLAPACK Users' Guide. <https://www.netlib.org/scalapack/slug/> . Дата доступу: 29.09.2025

9. Harada T., Alba E. Parallel genetic algorithms: a useful survey. ACM Computing Surveys (CSUR), 53(4), 2020, 1-39. <https://dl.acm.org/doi/abs/10.1145/3400031>
10. de Melo Menezes B. A., Kuchen H., Buarque de Lima Neto F. Parallelization of swarm intelligence algorithms: literature review. International Journal of Parallel Programming, 50(5), 2022, 486-514. <https://link.springer.com/article/10.1007/s10766-022-00736-3>
11. Czarnul P., Proficz J., Drypczewski K. Survey of methodologies, approaches, and challenges in parallel programming using high-performance computing systems. Scientific Programming, 2020(1), 2020, 4176794. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1155/2020/4176794>