ІНСТИТУТ КІБЕРНЕТИКИ
ІМЕНІ В.М.ГЛУШКОВА НАН УКРАЇНИ

«ЗАТВЕРДЖУЮ»
Директор Інституту кібернетики
імені В.М. Глушкова НАН України
академік НАН України

_____ Іван СЕРГІЄНКО

«09» 09 _____2025 року

РОБОЧА ПРОГРАМА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ
(ПРОЄКТ)
МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ МІГРАЦІЙНИХ ПРОЦЕСІВ У ҐРУНТАХ
(ДВА.3.1.3)

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: **Богаєнко 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

© Богаєнко В.О. 2025 рік

РОЗРОБНИК:
Завідувач лабораторії методів математичного моделювання процесів екології та енергетики
д.ф.-м.н.

_____ **Богаєнко Всеволод Олександрович**

Робочу програму розглянуто та схвалено на засіданні відділу чисельних методів та комп'ютерного моделювання

Протокол від «19» вересня 2025 року № 9

Завідувач відділу
академік НАН України, д.ф.-м.н., професор _____ **Олександр ХІМІЧ**

Робочу програму ухвалено науково-методичною радою

Протокол від «22» вересня 2025 року № 2

Голова науково-методичної ради
академік НАН України _____ **Іван СЕРГІЄНКО**
(підпис)

Робочу програму затверджено Вченою радою Інституту кібернетики імені В.М. Глушкова НАН України

Протокол від «29» вересня 2025 року № 15

Учений секретар _____ **Анатолій КУЛЯС**
(підпис)

Робочу програму погоджено з гарантом освітньої програми F1 Прикладна математика

«29» вересня 2025 року

Гарант освітньої програми
доктор фізико-математичних наук _____ **Василь ГОРБАЧУК**

© Богаєнко В.О. 2025 рік

1. Мета дисципліни - одержання фундаментальних і прикладних знань в галузі, яка стосується принципів та методики побудови математичних моделей міграційних процесів у ґрунтах та програмних засобів розв'язання відповідних задач, вивчення закономірностей міграційних процесів, набуття аспірантами знань і формування наукового світогляду стосовно сучасного стану проблем і підходів до математичного моделювання широкого класу ґрунтових процесів волого-, масо- та теплоперенесення. На базі набутих знань майбутні фахівці зможуть розробляти математичні моделі та програмні засоби, на їх основі досліджувати стаціонарні й динамічні міграційні процеси у ґрунтах.

2. Попередні вимоги до опанування або вибору навчальної дисципліни:

1. *Знати*: основні підходи до розробки математичних моделей явищ та об'єктів; основні закони збереження для побудови математичних моделей у вигляді диференціальних рівнянь з частинними похідними; основи методів дискретизації базових крайових задач математичної фізики; методи розробки програмного забезпечення, основні класи обчислювальних систем.
2. *Вміти*: володіти основами методу скінченних різниць; володіти основними підходами до побудови моделей процесів в пористих середовищах; використовувати сучасні підходи до побудови обчислювальних алгоритмів; розробляти програмне забезпечення за допомогою засобів сучасних технологій.

3. Анотація навчальної дисципліни:

Дисципліна «Математичне моделювання міграційних процесів у ґрунтах» належить до переліку дисциплін вільного вибору аспіранта. Вона орієнтована на професійний розвиток аспірантів, спрямована на формування базових знань, вміння й навичок з теоретичних основ системного аналізу та моделювання стаціонарних і динамічних міграційних процесів у ґрунтах, як пористих середовищах. Задача курсу полягає у формуванні уявлення про ґрунтові екосистеми, важливість використання математичного моделювання для аналізу та прогнозування тенденції розвитку процесів міграції вологи та речовин у них, досягненні досконалого володіння знаннями для ефективного використання принципів побудови математичних моделей та програмних засобів моделювання міграційних процесів у ґрунтах.

4. Завдання (навчальні цілі): набуття знань, умінь та навичок (компетентностей) на рівні новітніх досягнень у області системного аналізу та моделювання міграційних процесів в ґрунтах, використовуючи наявні та розробляючи нові інформаційні технології, відповідно до науково-освітньої кваліфікації «Доктор філософії». Зокрема, розвивати здатність використовувати методи математичного моделювання для аналізу та прогнозування тенденцій розвитку міграційних процесів в ґрунтах, формувати навички по розробці математичних моделей та програмних засобів моделювання зазначених процесів.

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 підходи до розробки математичних моделей міграційних процесів у ґрунтах	*Лекція, самостійна робота*	*Іспит, активна робота на лекції, усні відповіді*	*20%*
РН 1.2	Знати основні підходи до прикладного застосування моделей міграційних процесів у ґрунтах			
РН 1.3	Знати основи методів дискретизації крайових задач щодо моделей міграційних процесів у ґрунтах			*20%*
РН 1.4	Знати методи розробки програмного забезпечення, основні класи обчислювальних систем для дослідження міграційних процесів у ґрунтах			

© Богаєнко В.О. 2025 рік

РН 2.1	Вміти адаптувати методи фундаментальних наук для аналізу міграційних задач у ґрунтах	*Лекція, самостійна робота*	*Іспит, захист проекту, самостійна робота*	*20%*
РН 2.2	Вміти застосовувати метод скінченних різниць для розв'язання задач моделювання міграційних процесів			*20%*
РН 2.3	Вміти використовувати сучасні підходи до побудови обчислювальних алгоритмів розв'язання задач моделювання міграційних процесів; розробляти програмне забезпечення за допомогою засобів сучасних технологій	*Самостійна робота*	*Захист проекту*	*5%*
РН3.1	Здатність обґрунтовувати власний погляд на методи математичного моделювання міграційних процесів, спілкуватися з колегами з питань розробки математичних моделей та їх реалізації з використанням сучасних інформаційних технологій, дотримання норм міжособистісного спілкування у професійній взаємодії			*5%*
РН4.1	Інноваційність, високий ступінь самостійності, академічна та професійна доброчесність, послідовна відданість розвитку нових ідей або процесів у передових контекстах професійної та наукової діяльності.			*5%*
РН4.2	Відповідальність у ставленні до виконуваних робіт, відповідальність за їх якість			*5%*

6. Співвідношення результатів навчання дисципліни із програмними результатами навчання

Результати навчання дисципліни **Програмні результати навчання**	**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**
(з опису освітньої програми)										
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	**2+**	**3+**	**4+**	**5+**	+	+	+			
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.				+		+	+	+	+	+

© Богаєнко В.О. 2025 рік

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 проекту : 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

© Богаєнко В.О. 2025 рік

8. СТРУКТУРА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ. ТЕМАТИЧНИЙ ПЛАН ЛЕКЦІЙ І ПРАКТИЧНИХ ЗАНЯТЬ

№	Назва лекції	Кількість годин		
		Лекції	Практичні	Самостійна робота
Частина 1. “Математичні моделі міграційних процесів у ґрунтах ”				
1	**Тема 1.** Фізичні та математичні основи руху рідини в пористому середовищі. Рівняння вологоперенесення та фільтрації. *Самостійна робота:* Вивчити методи побудови математичних моделей вологоперенесення в ґрунтах за різних припущень щодо їх структури.	2		4
2	**Тема 2.** Фізичні та математичні основи масоперенесення у ґрунтах. Рівняння конвекції-дифузії-реакції, масообміну, перенесення твердих часток. *Самостійна робота:* Вивчити методи побудови моделей масоперенесення у ґрунтах.	2		4
3	**Тема 3.** Рівняння теплоперенесення у ґрунтах. Неізотермічні моделі волого- та масоперенесення. *Самостійна робота:* Розглянути методи побудови рівняння неізотермічних моделей волого- та масоперенесення.	2		4
Частина 2. “Прикладні аспекти моделювання міграційних процесів у ґрунтах ”				
4	**Тема 4.** Математичні моделі міграційних процесів у сільському господарстві. Моделювання процесів зрошення та дренажу. *Самостійна робота:* Системи підтримки прийняття рішень у сільському господарстві та алгоритми, на яких вони базуються. Використання засобів математичного моделювання при плануванні сільськогосподарської діяльності..	2		4
5	**Тема 5.** Математичні моделі екологічних процесів у ґрунтах. Моделювання перенесення забруднень. Моделювання динаміки органічного вуглецю у ґрунтах та емісії парникових газів. *Самостійна робота:* Системи підтримки прийняття рішень у екології та алгоритми, на яких вони базуються. Використання засобів математичного моделювання в задачах аналізу та прогнозу стану екосистем.	2		4
6	**Тема 6.** Уявлення про ґрунт, як пористе середовище фрактальної структури. Дробово-диференціальні моделі волого-, масо- та теплоперенесення. *Самостійна робота:* Вивчити особливості дробово-диференціальних моделей міграційних процесів у ґрунтах.	2		4

© Богаєнко В.О. 2025 рік

Частина 3. “Чисельне моделювання міграційних процесів у ґрунтах ”				
7	**Тема 7.** Скінченно-різницеві схеми для задач моделювання міграційних процесів у ґрунтах. Скінченно-різницева дискретизація дробово-диференціальних моделей міграційних процесів. *Самостійна робота:* Вивчити різницеві схеми для рівняння конвекції-дифузії-реакції.	2		4
8	**Тема 8.** Прикладні обернені та оптимізаційні задачі моделювання міграційних процесів у ґрунтах. Задачі ідентифікації параметрів. Методи штучного інтелекту та soft computing для їх розв’язання. *Самостійна робота:* Вивчити методи генетичних алгоритмів та ройового інтелекту для розв’язання задач ідентифікації параметрів моделей міграційних процесів.	2		4
9	**Тема 9.** Методи паралельних обчислень при розв’язанні прямих та обернених задач моделювання міграційних процесів у ґрунтах. Підходи до розпаралелення скінченно-різницевих схем для дробово-диференціальних рівнянь. *Самостійна робота:* Вивчити підходи до паралельної реалізації скінченно-різницевих схем для задач міграції забруднень на системах зі спільною пам’яттю. Проєкт з дослідження процесів міграції у ґрунтах засобами математичного моделювання та із застосуванням ІТ	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. Hesselbarth M.H.K., Nowosad J., de Flamingh A. et al. Computational Methods in Landscape Ecology. Curr Landscape Ecol Rep 10, 2, 2025. https://doi.org/10.1007/s40823-024-00104-6
3. Моніторинг довкілля : навч. посіб. Л. Л. Гурець та ін.; за заг. ред. Л. Л. Гурець. Суми : Сумський державний університет, 2023, 206 с.
4. 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

© Богаєнко В.О. 2025 рік

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. Пасічник Т.В. Моделювання та прогнозування стану довкілля: навчальний посібник. – Львів: «Магнолія 2006», 2025. – 194 с.

7. 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.

Додаткові:

1. Kolymbas D. A Primer on Theoretical Soil Mechanics. Cambridge : Cambridge University Press, 2022. https://doi.org/10.1017/9781009210324

2. 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

3. Xue R., Jiang Y., Li H., Shi B. Review of advancements and challenges in delayed irrigation: Enhancing crop water productivity and sustainable crop production, Agricultural Water Management, 318, 2025, 109739, https://doi.org/10.1016/j.agwat.2025.109739

4. Campbell E. E., Paustian K. Current developments in soil organic matter modeling and the expansion of model applications: a review. Environmental Research Letters, 10(12), 2015, 123004. https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1748-9326/10/12/123004/meta

5. 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

6. Ninghu Su Fractional Calculus for Hydrology, Soil Science and Geomechanics. An Introduction to Applications. 2020. https://www.taylorfrancis.com/books/mono/10.1201/9781351032421/fractional-calculus-hydrology-soil-science-geomechanics-ninghu-su

7. 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

© Богаєнко В.О. 2025 рік