

Міністерство освіти і науки України  
Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна  
Кафедра гідрогеології

«ЗАТВЕРДЖУЮ»

Проректор з науково-педагогічної  
роботи  
Антон ПАНТЕЛЕЙМОНОВ



\_\_\_\_\_ 2020 р.

РОБОЧА ПРОГРАМА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

### *Гідрогеологічне моделювання*

рівень вищої освіти перший бакалавр

галузь знань Природничі науки

спеціальність 103 Науки про Землю

освітня програма Геологія

вид дисципліни за вибором

факультет геології, географії, рекреації і туризму

2020/2021 навчальний рік

Програму рекомендовано у новій редакції до затвердження Вченою радою факультету геології, географії, рекреації і туризму

“31” серпня 2020 року, протокол № 14

РОЗРОБНИК ПРОГРАМИ:

**Петік Вячеслав Олександрович**, кандидат технічних наук, ст. викладач

Програму у новій редакції схвалено на засіданні кафедри гідрології

Протокол від “26” серпня 2020 року № 1

Завідувач кафедри гідрології

  
(підпис)

**Ігор УДАЛОВ**  
(прізвище та ініціали)

Програму погоджено з гарантом освітньо - професійної програми **Геологія**  
назва освітньої програми

Гарант освітньо-професійної програми

  
(підпис)

**Валерій СУХОВ**  
(прізвище та ініціали)

Програму у новій редакції погоджено методичною комісією ФГГРТ

Протокол від “31” серпня 2020 року № 13

Голова науково-методичної комісії ФГГРТ

  
(підпис)

**Олександр ЖЕМЕРОВ**  
(прізвище та ініціали)

Робоча програма дисципліни уточнена відповідно до наказу по Харківському національному університету імені В. Н. Каразіна «Про організацію освітнього процесу у I семестрі 2020/2021 навчального року» № 0202-1/260 від 07.08.2020 р.

## ВСТУП

Програма навчальної дисципліни “Гідрогеологічне моделювання” складена відповідно до **освітньо-професійної** (освітньо-наукової) **програми** підготовки бакалавра спеціальність 103 Науки про Землю, освітня програма «Геологія» спеціалізація Гідрогеологія

**Предметом** вивчення навчальної дисципліни є теоретичні основи теорії подібності та аналогії, синергетики як науки про саморозвиток гідрогеосистем, їхню взаємодію, а також про конкретні методи аналізу та моделювання гідрогеологічних процесів.

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

1. Теоретичні основи моделювання.
2. Методи моделювання.

### 1. Опис навчальної дисципліни

1.1. **Метою** викладання навчальної дисципліни є сформувані у студентів компетентності стосовно сутності і механізмів гідрогеологічних і геофільтраційних процесів в гідрогеологічних системах, а також підходів та методів їх дослідження.

1.2. **Основними завданнями вивчення дисципліни є:**

- сформувані у студентів сучасну методологію у застосуванні математичних методів та ПК у дослідженні фільтраційних процесів;
- сформувані у студентів знання та поняття про основні підходи та методи моделювання гідрогеологічних, інженерно – геологічних та геоекологічних процесів;
- сформувані у студентів вміння користуватися методами моделювання у дослідженні та аналізі процесів в гідрогеосистемах;
- сформувані у студентів компетентність стосовно використання моделювання та ПК в гідрогеологічних дослідженнях.

1.3. Кількість кредитів 4

1.4. Загальна кількість годин 120

1.5. Характеристика навчальної дисципліни	
Нормативна / за вибором	
Денна форма навчання	Заочна (дистанційна) форма навчання
Рік підготовки	
4-й	
Семестр	
8-й	
Лекції	
24 год.	
Практичні, семінарські заняття	
24 год	
Лабораторні заняття	
Самостійна робота	
72 год	
Індивідуальні завдання	
	год.

## 1.6. Заплановані результати навчання

Згідно з вимогами освітньо-професійної (освітньо-наукової) програми студенти повинні досягти таких результатів навчання:

**Студенти повинні знати** (поглибити знання про) **поняття:** ймовірність геологічних подій, ланцюги Маркова, закон великих чисел, мінливість та неоднорідність геологічних об'єктів, вибірковий метод, організація геологічного середовища, інтервальні оцінки параметрів, регресія, кореляція, розпізнавання образів, узагальнена відстань, просторова змінна, типи геологічних полів, структурна неоднорідність об'єктів, закономірна і випадкова неоднорідність, тренд, фон, аномалія, критерії, константи, індикатори подібності та аналогії, умови однозначності, замкнута система рівнянь, вихідна гідродинамічна схема, прогнозна гідродинамічна схема, прогнозні та епігнозні задачі, просторова та часова дискредитація геофільтраційного процесу, явна, неявна та явно – неявна розрахункові схеми, сходимість та стійкість рішення, методи ітерації, точність рішення, бази, банки гідрогеологічних даних, експертні системи, бази знань, геоінформаційні технології, програмне забезпечення, візуалізація результатів дослідження.

**Студенти повинні вміти:** оцінювати складність гідрогеологічних об'єктів, описувати причинно-наслідкові зв'язки, планувати експеримент, оцінити характер і кількість інформації, ймовірність подій, застосовувати статистичні методи обробки інформації, використовувати просторові змінні для опису та аналізу геологічних полів, застосовувати основні теореми теорії подібності та аналогії у рішенні гідрогеологічних задач, складати вихідну та прогнозну гідродинамічні схеми, оцінити результати моделювання, використовувати ПК і програмне забезпечення для рішення конкретних гідрогеологічних задач.

## 2. Тематичний план навчальної дисципліни

Лекції відповідно до наказу ректора Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна проводяться дистанційно на базі платформ Zoom, Google Class. Навчально-методичний комплекс представлений на сайті кафедри: <http://hydrogeology.univer.kharkov.ua/>. Консультації індивідуальні та групові відбуваються з використанням месенджерів Telegram, Viber.

### Розділ 1. Теоретичні основи моделювання.

#### *Тема 1. Особливості і сутність методу моделювання*

##### *Вступ*

Визначення математичних методів і моделювання. Моделювання як загальнонауковий метод дослідження. Історія застосування математичних методів, моделювання і ПК в гідрогеології. Місце моделювання у сучасній методології геологічних досліджень.

##### *Філософські основи методу моделювання.*

Теорія та експеримент у пізнанні дійсності. Факт, поняття, закономірність, закон, теорія, парадигма, логіка побудови науки. Модель як відображення певного фрагменту універсуму. Роль аналізу і синтезу, абстракції, конкретного і загального в моделюванні. Роль геосистемної парадигми у розвитку моделювання систем.

##### *Основи теорії подібності і моделювання.*

Основні поняття теорії подібності та аналогії. Подібність, аналогія, їх принципові відмінності. Принципи класифікації моделей за подібністю і аналогією. Види подібності і аналогії. Константи, критерії та індикатори подібності. Основні теореми подібності і їх роль у моделюванні.

##### *Прикладне значення теорії подібності та аналогії*

Метод суперпозиції, лінійні та нелінійні процеси у гідрогеосистемах. Принципи синергетики у дослідженні гідрогеосистем. Уявні та матеріальні (натурні, фізичні, математичні) моделі в гідрогеології. Класифікації моделей у гідрогеології (статистичні і детерміновані, статичні і динамічні, концептуальні і експериментальні). Типи задач, що розв'язуються методом моделювання. Прямі, обернені, інверсні, граничні, методичні задачі.

#### *Принципи гідрогеологічного моделювання*

Принципи моделювання в гідрогеології. Загальна методика гідрогеологічного моделювання. Зміст підготовчої стадії. Стадія епігнозного моделювання. Стадія прогнозного моделювання. Заключна стадія моделювання.

#### **Тема 2. Специфіка гідрогеологічних об'єктів**

##### *Основні особливості формалізації гідрогеологічних об'єктів*

Специфіка формування і розвитку гідрогеологічних об'єктів. Гідрогеологічні об'єкти як гідрогеологічні системи. Декомпозиція та інтеграція гідрогеосистем. Багатофакторність гідрогеологічних процесів. Особливості інтерпретації причинно-наслідкових зв'язків у гідрогеосистемах. Особливості гідрогеологічної інформації (просторово-часова неоднорідність, похибки вимірів, методичні похибки, похибка аналогії, проблема статистичної незалежності визначення параметрів гідрогеологічних процесів).

##### *Визначення та опис стану гідрогеологічних систем.*

Комплексування методів дослідження гідрогеологічних систем. Визначення геометричних параметрів гідрогеосистем. Визначення гідрофізичних характеристик гідрогеосистем. Дослідно-фільтраційні дослідження. Режимні спостереження, обробка результатів і використання у моделюванні. Еволюція гідрогеологічних систем з точки зору теорії інформації. Прогнозування змін стану гідрогеологічних об'єктів і процесів. Оцінка точності гідрогеологічного прогнозу.

##### *Схематизація гідрогеологічних об'єктів та систем*

Основні принципи схематизації природних умов. Схематизація геометричних характеристик області фільтрації. Критерії схематизації геологічної будови і параметрів фільтраційного середовища. Методи схематизації гідродинамічного, гідрохімічного і гідрогеохімічного режиму гідрогеосистем. Схематизація крайових умов. Вихідна та прогнозна гідродинамічна схеми.

#### **Розділ 2. Методи моделювання.**

#### **Тема 1. Огляд методів моделювання в гідрогеології.**

##### *Мисленеве, натурне і фізичне моделювання.*

Мисленеві моделі, їхні особливості і роль у процесі моделювання. Приклади уявних моделей. Матеріальні моделі, їх місце у гідрогеологічному моделюванні. Гідрогеологічні системи як об'єкти моделювання і як моделі.

Узагальнення результатів натурних експериментів. Фізичні моделі і їх можливості. Узагальнення результатів фізичного моделювання.

##### *Аналогове моделювання.*

Загальна характеристика аналогових моделей в гідрогеології. Гідравлічні моделі, реалізація гідравлічної аналогії. Електричні моделі, метод ЕГДА. Сіткові електричні моделі, технології і технічні засоби моделювання. Історія використання електричних моделей в гідрогеологічних дослідженнях. Приклади використання електричних моделей.

#### **Тема 2. Метод сіток**

##### *Просторова дискретизація фільтраційного потоку*

Суть сіткового методу. Дискретизація неперервних диференційних рівнянь, що описують фільтраційні процеси. Методи просторової дискретизації фільтраційних потоків (математичні, фізичні).

##### *Часова дискретизація фільтраційних процесів.*

Дискретизація часової похідної «кроком вперед» і «кроком назад». Отримання явної розрахункової схеми, її переваги і недоліки. Отримання неявної розрахункової схеми, її

переваги і недоліки. Явно-неявна розрахункова схема. Реалізація розрахункових схем на комп'ютерах. Ітераційні методи розв'язання систем рівнянь на ПК.

### Тема 3. Комп'ютерно-цифрове моделювання

#### Особливості цифрових моделей

Технології комп'ютерного моделювання. Підготовка бази вихідних даних, організація збереження проміжних результатів. Планування сценарію моделювання. Розрахункові проблеми комп'ютерного моделювання. Вимоги до сучасних пакетів прикладних програм комп'ютерного моделювання. Методи візуалізації результатів цифрового моделювання. Постійно діючі цифрові моделі гідрогеологічних об'єктів.

### 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	ср		л	п	лаб	інд	ср
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
<b>Розділ 1. Прогноз якості підземних вод та їхня охорона на водозабірних ділянках.</b>												
<b>Тема 1. Особливості і сутність методу моделювання</b>		6	6			18						
<b>Тема 2. Специфіка гідрогеологічних об'єктів</b>		6	6			18						
<b>Разом за розділом 1</b>		<b>12</b>	<b>12</b>			<b>36</b>						
<b>Розділ 2. Особливості моделювання в гідрогеології</b>												
<b>Тема 1. Огляд методів моделювання в гідрогеології</b>		4	4			12						
<b>Тема 2. Метод сіток</b>		4	4			12						
<b>Тема 3. Комп'ютерно-цифрове моделювання</b>		4	4			12						
<b>Разом за розділом 2</b>		<b>12</b>	<b>12</b>			<b>36</b>						
<b>Усього годин</b>	<b>120</b>	<b>24</b>	<b>24</b>			<b>72</b>						

### 4. Теми семінарських (практичних, лабораторних) занять

№ з/п	Назва теми	Кількість годин	
		денна	заочна
1	Моделювання системи взаємодіючих водозабірних свердловин (ПР1)	12	
2	Експериментальне визначення фільтраційних параметрів піщаного ґрунту шляхом зворотного моделювання (ПР2)	12	

### 5. Завдання для самостійної роботи

№ з/п	Назва теми	Кількість годин	
		денна	заочна
1	Константи, критерії та індикатори аналогії.	14	

2	Виведення диференційних рівнянь геофільтраційних процесів (Лапласа, Пуассона, Фур'є, Бусінеска).	14	
3	Комп'ютерна графіка.	14	
4	Обробка результатів моделювання.	15	
5	Методи ЕГДА та ГА.	15	
	<b>Разом</b>	<b>72</b>	

### 6. Індивідуальні завдання

Моделювання системи взаємодіючих водозабірних свердловин за матеріалами виробничої практики.

### 7. Методи контролю

До основних методів контролю належать: задача практичних робіт (розрахункових, графічних, тощо); поточне експрес-опитування; контроль –поточний та підсумковий.

### Критерії оцінювання навчальних досягнень студентів по предмету «Гідрогеологічне моделювання»

#### Методи контролю

- Усне опитування (індивідуальне, комбіноване, фронтальне);
- Перевірка практичних робіт;
- Поточний контроль;
- Екзамен.

#### Умови допуску студента до підсумкового семестрового контролю:

- виконання всіх практичних робіт;
- виконання поточного контролю.

#### Нарахування балів за поточний контроль (ПК)

Поточний контроль оцінюється в *20 балів* (4 питання):

- 3 питання, що передбачають розгорнуті відповіді (есе) (6 балів за кожне питання).
- 1 питання, передбачає визначення терміну (2 бали).

#### Нарахування балів за практичні роботи (ПР)

№ з/п	Назва теми	Кількість балів
1	Чисельне моделювання течії підземних вод (ПР1)	20
2	Експериментальне визначення фільтраційних параметрів піщаного ґрунту шляхом зворотного моделювання (ПР2)	20
	<b>Разом</b>	<b>40</b>

1 практична робота оцінюється в *20 балів*, при цьому:

- виконання практичних завдань – 15 балів;
- захист роботи – 5 бали.

#### Нарахування балів за екзаменаційну роботу (ЕР)

Екзаменаційна робота оцінюється в *40 балів* (4 питання)

- 4 питання, що передбачають розгорнуті відповіді (есе) (10 балів за кожне питання).

Підсумкова оцінка (ПО) в балах з дисципліни розраховується за накопичувальною системою як сума балів, отриманих студентом за поточний контроль (ПК), за практичні роботи (ПР1-4) та за екзаменаційну роботу (ЕР):

$$ПО = ПК + ПР1 + ПР2 + ЕР$$

Кількість балів відповідає оцінці, що наведено нижче у шкалі оцінювання.

При остаточному оцінюванні роботи студентів враховується здатність студента:

- диференціювати, інтегрувати та уніфікувати знання;
- інтерпретувати схеми, графіки, діаграми, рисунки;
- аналізувати і оцінювати факти, події та прогнозувати очікувані результати від прийнятих рішень;
- викладати матеріал на папері логічно, послідовно, з дотриманням вимог чинних стандартів.

## 8. Схема нарахування балів

### Критерії оцінювання

#### Методи контролю

- Усне опитування (індивідуальне, комбіноване, фронтальне);
- Перевірка практичних робіт;
- Поточний контроль;
- Екзамен.

#### Умови допуску студента до підсумкового семестрового контролю:

- виконання всіх практичних робіт;
- виконання поточного контролю.

#### Нарахування балів за поточний контроль (ПК)

Поточний контроль оцінюється в *20 балів* (4 питання):

- 3 питання, що передбачають розгорнуті відповіді (есе) (6 балів за кожне питання).
- 1 питання, передбачає визначення терміну (2 бали).

#### Нарахування балів за практичні роботи (ПР)

№ з/п	Назва теми	Кількість балів
1	Чисельне моделювання течії підземних вод (ПР1)	20
2	Експериментальне визначення фільтраційних параметрів піщаного ґрунту шляхом зворотного моделювання (ПР2)	20
	<b>Разом</b>	<b>40</b>

1 практична робота оцінюється в *20 балів*, при цьому:

- виконання практичних завдань – 15 балів;
- захист роботи – 5 бали.

#### Нарахування балів за екзаменаційну роботу (ЕР)

Екзаменаційна робота оцінюється в *40 балів* (4 питання)

- 4 питання, що передбачають розгорнуті відповіді (есе) (10 балів за кожне питання).



Підсумкова оцінка (ПО) в балах з дисципліни розраховується за накопичувальною системою як сума балів, отриманих студентом за поточний контроль (ПК), за практичні роботи (ПР1-4) та за екзаменаційну роботу (ЕР):

$$ПО = ПК + ПР1 + ПР2 + ПР3 + ПР4 + ЕР$$

Кількість балів відповідає оцінці, що наведено нижче у шкалі оцінювання.

При остаточному оцінюванні роботи студентів враховується здатність студента:

- диференціювати, інтегрувати та уніфікувати знання;
- інтерпретувати схеми, графіки, діаграми, рисунки;
- аналізувати і оцінювати факти, події та прогнозувати очікувані результати від прийнятих рішень;
- викладати матеріал на папері логічно, послідовно, з дотриманням вимог чинних стандартів.

Практична робота, поточний контроль			Всього	Залік	Загальна сума балів
Поточний контроль	Практичні роботи				
		(ПР1)	(ПР2)		
20	20	20	60	40	100

#### Шкала оцінювання

Сума балів за всі види навчальної діяльності протягом семестру	Оцінка для заліку
90-100	зараховано
70-89	
50-69	
1-49	

### 11. Рекомендоване методичне забезпечення

#### Базова література

1. *Гавич И.К.* Теория и практика применения моделирования в гидрогеологии. М., Недра, 1980
2. *Жернов И.Е., Павловец И.Н.* Моделирование фильтрационных процессов. Киев, Вища школа, 1976.
3. *Жернов И.Е., Шестаков В.М.* Моделирование фильтрации подземных вод. М., Недра, 1971.
4. *Каждан А.Б., Гуськов О.И.* Математические методы в геологии. М., Недра, 1990.
5. *Кноринг Л.Д., Деч В.Н.* Геологу о математике. Л., Недра, 1989.
6. *Кудрявцев В.А., Демидович В.П.* Краткий курс высшей математики. М., Наука, 1989.
7. *Лукнер Л., Шестаков В.М.* Моделирование геофильтрации. М., Недра, 1976.
8. *Немец К.А.* Обработка гидрогеологической и инженерно - геологической информации на ЭВМ. Методическое пособие. Харьков, изд-во ХГУ, 1982.

#### Допоміжна література:

1. *Аронов В.И.* Методы математической обработки геологических данных на ЭВМ. М., Недра, 1977.

2. *Арабаджи М.С. и др.* Математические методы и ЭВМ в поисково - разведочных работах. М., Недра, 1984.
3. *Арье А.Г.* Физические основы фильтрации подземных вод. М., Недра, 1984.
4. *Браверман Э.М., Мучник И.Б.* Структурные методы обработки эмпирических данных. М., Наука, 1983.
5. *Бусленко Н.П.* Моделирование сложных систем. М., Наука, 1976.
6. *Вистелиус А.Б.* Основы математической геологии. Л., Наука, 1980.
7. *Вычислительная математика и техника в разведочной геофизике. Справочник геофизика. Под ред. В.И. Дмитриева.* М., Недра, 1990.
8. *Гладкий А.В., Ляшко И.И., Мистецкий Г.Б.* Алгоритмизация и численный расчет фильтрационных схем. Киев, Вища школа, 1981.
9. *Годунов С.К., Рябенский В.С.,* Разностные схемы. М., Наука, 1977.
10. *Гороховский В.М.* Математические методы и достоверность гидрогеологических и инженерно - геологических прогнозов. М., Недра, 1977.
11. *Добронравов А.А., Кремез В.С., Сирый В.С.,* Расчет на ЭВМ нестационарной фильтрации в районах гидротехнических сооружений. Киев, Наукова думка, 1980.
12. *Дульнев Г.Н., Парфенов В.Г., Сигалов А.В.* Применение ЭВМ для решения задач теплообмена. М., Высшая школа, 1990.
13. *Дэвис Дж.* Статистический анализ данных в геологии. М., Недра, 1990.
14. *Закиров С.Н. и др.* Многомерная и многокомпонентная фильтрация. Справочное пособие. М., Недра, 1988.
15. *Ивахненко А.Г., Мюллер И.А.* Самоорганизация прогнозирующих моделей. Киев, Техника, 1985.
16. *Крамбейн У., Кауфмен Д., Мак-Кеммон Р.* Модели геологических процессов. М., Мир, 1973.
17. *Немець К.А.* Навчальна програма *Depres* для розрахунку системи взаємодіючих свердловин. 2009. (архів кафедри).
18. *Немець К.А.* Інструкція до навчальної програми *Depres/ 2006.* (архів кафедри).

#### 10. Посилання на інформаційні ресурси в Інтернеті, відео-лекції, інше методичне забезпечення

1. Фонди Центральної наукової бібліотеки ХНУ ім. В.Н.Каразіна.
2. Фонд Харківської державної бібліотеки ім. В.Г. Короленка.
3. Мережа Інтернет.