

**Одеський національний університет імені І.І. Мечникова**

Факультет                      Геолого-географічний

Кафедра                      Інженерної геології і гідрогеології



**“ЗАТВЕРДЖУЮ”**

Проректор з науково-педагогічної роботи

(П.І.Б.)  
2020 р.

**РОБОЧА ПРОГРАМА ДИСЦИПЛІНИ**

**ВБ 3.2 Математичні методи моделювання в інженерній геології та  
гідрогеології**

Рівень вищої освіти                      третій (освітньо-науковий)

Спеціальність                      103 «Науки про Землю»

Освітньо-наукова програма                      Науки про Землю

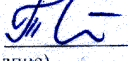
**2020-2023**

Робоча програма складена на основі навчальної програми з дисципліни «Математичні методи моделювання в інженерній геології та гідрогеології» відповідно до освітньо-наукової програми підготовки докторів філософії спеціальності 103 «Науки про Землю».

Розробник: Мелконян Д.В., к. фіз.-мат. наук, доцент кафедри інженерної геології і гідрогеології

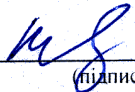
Робоча програма затверджена на засіданні кафедри інженерної геології і гідрогеології

Протокол № 1 від “28”\_серпня 2020р.

Завідувач кафедри інженерної геології і гідрогеології  Козлова Т.В.  
(підпис) (прізвище та ініціали)

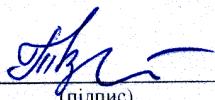
Схвалено навчально-методичною комісією (НМК) геолого-географічного факультету

Протокол № 1 від. “23”\_вересня 2020 р.

Голова НМК  доц. Сич В. А.  
(підпис) (прізвище та ініціали)


Переглянуто та затверджено на засіданні кафедри інженерної геології і гідрогеології

Протокол № 1 від. “30”\_серпня 2021 р.

Завідувач кафедри  ( Козлова Т.В. )  
(підпис) (прізвище та ініціали)

Переглянуто та затверджено на засіданні кафедри інженерної геології і гідрогеології

Протокол № \_\_\_\_ від. “ \_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 20\_\_ р.

Завідувач кафедри  ( Козлова Т.В. )  
(підпис) (прізвище та ініціали)

## Опис навчальної дисципліни

| Найменування показників                 | Галузь знань, спеціальність, спеціалізація, рівень вищої освіти  |  |                               |
|---|--|--|-------------------------------|
|   |  | <i>денна форма навчання</i>                      | <i>вечірня форма навчання</i> |
| Загальна кількість: кредитів – <b>3</b> | Галузь знань<br><u><b>10 Природничі науки</b></u><br>(шифр і назва)<br><br>Спеціальність<br><u><b>103 «Науки про Землю»</b></u><br>(код і назва)<br><br>Освітня програма<br><u><b>Науки про Землю</b></u><br>(назва)<br><br>Рівень вищої освіти:<br><u><b>третій (освітньо-науковий)</b></u> |  |                               |
| годин – <b>90</b>                       |  |  |                               |
| залікових модулів – <b>1</b>            |  | <b>1-й</b>                                       | <b>1-й</b>                    |
| змістових модулів – <b>3</b>            |  |  |                               |
| ІНДЗ* – .....<br>(вид завдання)         |  | <b>16 год.</b>                                   |                               |
|   |  | <i>Практичні, семінарські</i>                    |                               |
|   |  | <b>14 год.</b>                                   |                               |
|   |  | <i>Лабораторні</i>                               |                               |
|   |  | <i>Самостійна робота</i>                         |                               |
|   |  | <b>60 год.</b>                                   | <b>60 год.</b>                |
|   |  | Форма підсумкового контролю:<br><br><b>залік</b> |                               |

\* – за наявності

## 2. Мета та завдання навчальної дисципліни

**Метою** навчальної дисципліни "Математичні методи моделювання в інженерній геології та гідрогеології" є отримання аспірантами знань про математичні методи моделювання інженерно-геологічних і гідрогеологічних процесів.

**Завдання** дисципліни:

- формування теоретичних знань та набуття практичних навичок щодо проведення моделювання;
- вивчення принципів і прийомів практичного застосування математичних методів для моделювання інженерно-геологічних і гідрогеологічних процесів.

Згідно з вимогами освітньо-наукової програми вищої освіти аспіранти мають здобути **компетентності**:

### а) загальні (ЗК):

ЗК 01. Здатність до абстрактного мислення, аналізу та синтезу.

ЗК 03. Здатність до організації, планування та управління науковими проектами.

ЗК 04. Здатність породжувати нові ідеї (креативність).

ЗК 05. Здатність застосовувати набуті знання в практичних ситуаціях.

ЗК 07. Здатність спілкуватися на фахову тематику з експертами з інших галузей.

### б) спеціальні (СК):

СК 01. Здатність виконувати оригінальні дослідження, досягати наукових результатів, які створюють нові знання у геології та дотичних до неї міждисциплінарних напрямках і можуть бути опубліковані у провідних наукових виданнях з геології та суміжних галузей.

СК 03. Здатність виявляти, ставити та вирішувати проблеми дослідницького характеру в сфері морської геології, палеонтології, інженерної геології, гідрогеології, оцінювати та забезпечувати якість виконуваних досліджень.

СК 04. Здатність ініціювати, розробляти і реалізовувати комплексні інноваційні проекти в геології та дотичні до неї міждисциплінарні проекти, лідерство під час їх реалізації.

СК 05. Здатність використовувати новітні інформаційно-комунікаційні технології, спеціалізоване програмне забезпечення у науковій та навчальній діяльності.

СК 08. Здатність проводити пошук, обробляти, аналізувати та систематизувати наукову інформацію за темою дисертації, обирати методики і засоби вирішення наукових задач.

СК 10. Здатність самостійно здійснювати науково-дослідницьку діяльність в галузі геології та суміжних науках, інтерпретувати дані власного наукового дослідження, відносити їх до відповідної теорії з використанням сучасних методів дослідження, інформаційних технологій.

СК 11. Здатність демонструвати знання сучасного стану, основних тенденцій та перспектив розвитку геологічної науки, орієнтуватись в сучасних проблемах наукових досліджень в галузі геології та суміжних науках, продукувати нові ідеї при вирішенні дослідницьких і практичних задач.

**Програмні результати навчання (РН).** У результаті вивчення навчальної дисципліни аспірант повинен:

PH 01. Володіння концептуальними та методологічними знаннями в галузі геології, бути здатним застосовувати їх до професійної діяльності на межі предметних галузей.

PH 02. Глибоке розуміння загальних принципів, методів геологічних наук, методології наукових досліджень, застосувати їх у власних дослідженнях (у сфері морська геологія, палеонтологія, інженерна геологія, гідрогеологія) та у викладацькій практиці.

PH 05. Ґрунтовні знання методів наукових досліджень морської геології, палеонтології, інженерної геології, гідрогеології та вміння їх використовувати на належному науковому рівні.

PH 06. Поглиблене знання ранніх та нових актуальних напрямів досліджень, сучасних досягнень в галузі геології, застосування їх для вирішення наукових завдань і самостійної пошукової роботи в межах обраного наукового напрямку (морська геологія, палеонтологія, гідрогеологія, інженерна геологія).

PH 08. Вміння планувати і виконувати експериментальні та теоретичні дослідження з геології, дотичних міждисциплінарних напрямів з використанням сучасного обладнання, критично аналізувати результати власних і отриманих іншими дослідниками досліджень у контексті усього комплексу сучасних знань щодо розглянутої проблеми.

PH 10. Володіння сучасними інформаційними та комунікаційними технологіями, комп'ютерними засобами та програмами для проведенні наукових досліджень та освітній діяльності (пошук, оброблення та аналіз інформації, статистичні методи аналізу даних великого обсягу, геологічне, гідрогеологічне та інженерно-геологічне моделювання).

PH 11. Вміння ініціювати, організовувати та проводити комплексні міждисциплінарні дослідження в галузі геології, науково-дослідницькій та інноваційній діяльності, результатом яких є отримання нових знань.

У результаті вивчення навчальної дисципліни аспірант повинен:

**знати:**

- основні принципи побудови математичних моделей геологічних середовищ, процесів та явищ;
- типи розрахункових схем і методику побудови розрахункових схем;
- методи числового моделювання: метод кінцевих різниць, метод кінцевих елементів;
- особливості задання граничних умов;
- лінійні і нелінійні моделі, характерні особливості їх математичного аналізу;
- методи та умови застосування статистичних методів аналізу даних інженерно-геологічних і гідрогеологічних досліджень;
- математичні основи моделювання напружено-деформованого стану масивів ґрунтів, зсувних схилів і укосів;
- загальні положення сучасної теорії гідрогеологічного моделювання;
- принципи схематизації гідрогеологічних умов;
- математичні основи вивчення процесів фільтрації підземних вод;
- базові диференціальні рівняння фільтрації підземних вод та основні методи їх розв'язання;
- основні класифікаційні схеми та особливості структури потоків підземних вод;
- основні математичні моделі руху підземних вод та закони фільтрації;

**вміти:**

- ставити наукові і практичні завдання в галузі інженерної геології;

- систематизувати об'єкти моделювання;
- застосовувати числові методи і готувати обчислювальні програми;
- проводити дисперсійний, кореляційний, регресійний та факторний аналізи;
- з застосуванням статистичних моделей прогнозувати інженерно-геологічні процеси і явища;
- моделювати просторово-часову мінливість властивостей геологічних та інженерно-геологічних об'єктів;
- оцінювати і прогнозувати стійкість масивів ґрунтів, зсувних схилів і укосів;
- застосовувати знання з математики для аналізу даних режимних спостережень і створювати фізико-математичні моделі гідрогеологічного середовища;
- схематизувати гідрогеологічні умови для подальшого моделювання;
- використовувати математичне моделювання для аналізу гідрогеологічних та гідроекологічних процесів;
- ставити наукові і практичні завдання в галузі регіональної та інженерної гідрогеології;
- використовувати сучасні програми математичного моделювання (MODFLOW, Statistica, ArcGIS, Golden Software Surfer, CorelDraw та ін.).

### **3. Зміст навчальної дисципліни**

#### **ЗМІСТОВИЙ МОДУЛЬ 1. Емпіричні аналітичні моделі**

##### **Тема 1. Методи побудови емпіричних аналітичних моделей.**

Основні поняття. Алгоритм побудови аналітичної моделі. Характеристика основних етапів алгоритмів побудови емпіричних аналітичних моделей. Точність аналітичних моделей.

#### **ЗМІСТОВИЙ МОДУЛЬ 2. Методи статистичної обробки експериментальних даних**

##### **Тема 2. Методи побудови емпіричних регресійних моделей.**

Основні поняття. Алгоритм побудови емпіричної регресійної моделі. Точність регресійних моделей. Характеристика основних етапів алгоритмів побудови емпіричних регресійних моделей. Методи та умови застосування статистичних моделей аналізу даних інженерно-геологічних досліджень. Прогнозування інженерно-геологічних процесів і явищ з застосуванням статистичних моделей.

##### **Тема 3. Регресійні моделі з однією і декількома вхідними змінними.**

Види регресійних моделей з однією вхідною змінною. Множинна регресія. Матричний підхід до визначення коефіцієнтів регресії. Лінійні регресійні моделі з декількома вхідними змінними. Нелінійні регресійні моделі з декількома вхідними змінними. Крокові методи побудови регресійних моделей. Програми для проведення статистичного аналізу інженерно-геологічних і гідрогеологічних даних: ArcGIS, Statistica, MS Excel.

#### **ЗМІСТОВИЙ МОДУЛЬ 3. Чисельне моделювання інженерно-геологічних і гідрогеологічних процесів**

#### Тема 4. Чисельні методи.

Чисельні методи рішення систем алгебраїчних рівнянь: методи виключення, ітераційні методи. Чисельні методи інтегрування звичайних диференціальних рівнянь - метод кінцевих різниць (МКР), метод кінцевих елементів (МКЕ).

#### Тема 5. Метод електрогеодинамічних аналогій.

Основи теорії геодинамічного поля. Геодинамічна сітка. Закони заломлення силових і ізопотенційних ліній на межі розділу двох шарів. Задачі теорії геодинамічного поля. Рішення крайових задач. Особливості задання граничних умов. Оцінка напружено-деформованого стану і стійкості масивів ґрунтів, схилів методом електрогеодинамічних аналогій та комплексним методом граничних елементів.

### 4. Структура навчальної дисципліни

| Назва змістових модулів і тем  | Кількість годин |              |          |     |           |               |              |          |     |           |
|--|-----------------|--------------|----------|-----|-----------|---------------|--------------|----------|-----|-----------|
|  | Денна форма     |              |          |     |           | Вечірня форма |              |          |     |           |
|  | Усього          | у тому числі |          |     |           | Усього        | у тому числі |          |     |           |
|  |                 | л            | п/с      | лаб | ср        |               | л            | п        | лаб | ср        |
| 1  | 2               | 3            | 4        | 5   | 6         | 7             | 8            | 9        | 10  | 11        |
| <b>Змістовий модуль 1. Емпіричні аналітичні моделі</b>                         |                 |              |          |     |           |               |              |          |     |           |
| Тема 1. Методи побудови емпіричних аналітичних моделей                         | 14              | 2            | 2        |     | 10        | 14            | 2            | 2        |     | 10        |
| <b>Разом за змістовим модулем 1</b>  | <b>14</b>       | <b>2</b>     | <b>2</b> |     | <b>10</b> | <b>14</b>     | <b>2</b>     | <b>2</b> |     | <b>10</b> |
| <b>Змістовий модуль 2. Методи статистичної обробки експериментальних даних</b> |                 |              |          |     |           |               |              |          |     |           |
| Тема 2. Методи побудови емпіричних регресійних моделей                         | 14              | 2            | 2        |     | 10        | 14            | 2            | 2        |     | 10        |
| Тема 3. Регресійні моделі з однією і декількома вхідними змінними              | 18              | 4            | 4        |     | 10        | 18            | 4            | 4        |     | 10        |
| <b>Разом за змістовим модулем 2</b>  | <b>32</b>       | <b>6</b>     | <b>6</b> |     | <b>20</b> | <b>32</b>     | <b>6</b>     | <b>6</b> |     | <b>20</b> |
| <b>Змістовий модуль 3. Чисельне моделювання інженерно-геологічних і</b>        |                 |              |          |     |           |               |              |          |     |           |

| гідрогеологічних процесів                   |           |           |           |  |           |           |           |           |  |           |
|---|-----------|-----------|-----------|--|-----------|-----------|-----------|-----------|--|-----------|
| Тема 4. Чисельні методи                     | 16        | 4         | 2         |  | 10        | 16        | 4         | 2         |  | 10        |
| Тема 5. Метод електрогеодинамічних аналогій | 28        | 4         | 4         |  | 20        | 28        | 4         | 4         |  | 20        |
| <b>Разом за змістовим модулем 3</b>         | <b>44</b> | <b>8</b>  | <b>6</b>  |  | <b>30</b> | <b>44</b> | <b>8</b>  | <b>6</b>  |  | <b>30</b> |
| <b>Усього годин</b>                         | <b>90</b> | <b>16</b> | <b>14</b> |  | <b>60</b> | <b>90</b> | <b>16</b> | <b>14</b> |  | <b>60</b> |

### 5. Самостійна робота

| № з/п | Назва теми   | Кількість годин |
|-------|--|-----------------|
| 1.    | Створити аналітичну модель, використовуючи дані інженерно-геологічних і гідрогеологічних досліджень для території м. Одеса та прилеглих районів.   | 10/10           |
| 2.    | Провести статистичний аналіз даних інженерно-геологічних і гідрогеологічних досліджень, створити регресійні моделі для вивчення мінливості фізико-механічних властивостей ґрунтів і хімічного складу підземних вод території м. Одеса. | 20/20           |
| 3.    | Використовуючи чисельні методи (МКЕ, МКР), на основі рівняння Лапласа, створити математичну модель для оцінки напружено-деформованого стану та стійкості зсувних схилів на території м. Одеса та прилеглих районів.                    | 30/30           |
|       | <b>Разом</b>   | <b>60/60</b>    |

### 6. Методи навчання

Поточне оцінювання усних відповідей, завдань, що виносяться на самостійне опрацювання, модульна контрольна робота.

### 7. Питання для підсумкового контролю

1. Предмет, завдання, мета курсу "Математичні методи моделювання в інженерній геології та гідрогеології".
2. Модель, моделювання. Математичне моделювання. Алгоритм побудови моделі.
3. Характеристика основних етапів побудови емпіричних аналітичних моделей.
4. Регресійні моделі з однією і декількома вхідними змінними. Статистична обробка експериментальних даних та побудова регресійних моделей інженерно-геологічних і гідрогеологічних процесів.
5. Геологічна подібність, критерії геологічної подібності.
6. Способи виведення критеріїв геологічної подібності. Виведення критеріїв подібності за допомогою теоретичного аналізу та аналізу розмірності.
7. Критерій геологічної подібності для моделювання інженерно-геологічних і гідрогеологічних процесів.



8. Виведення критеріїв подібності для моделювання плоско-напруженого стану порід на схилі в межах лінійно-деформованого середовища.
9. Чисельне моделювання інженерно-геологічних і гідрогеологічних процесів. Формулювання задачі. Задання початкових і граничних умов.
10. Чисельні методи рішення систем алгебраїчних рівнянь.
11. Метод електрогеодинамічних аналогій та оцінка стійкості схилів.
12. Принцип роботи програм для моделювання інженерно-геологічних і гідрогеологічних процесів: ArcGIS, Statistica, Golden Software Surfer, MODFLOW.

### 8. Розподіл балів, які отримують аспіранти

| Поточний контроль   |                      |    |                      |    | Модульний контроль | Сума балів |
|---------------------|----------------------|----|----------------------|----|--------------------|------------|
| Змістовий модуль №1 | Змістовий модуль № 2 |    | Змістовий модуль № 3 |    |                    |            |
| T1                  | T2                   | T3 | T4                   | T5 |                    |            |
| 10                  | 10                   | 10 | 10                   | 10 | 50                 | 100        |

### Шкала оцінювання: національна та ECTS

| Сума балів за всі види навчальної діяльності | Оцінка ECTS | Оцінка за національною шкалою                              |   |
|--|-------------|--|---|
|  |             | для екзамену, курсового проекту (роботи), практики         | для заліку  |
| 90 – 100                                     | <b>A</b>    | відмінно   | зараховано  |
| 85-89  | <b>B</b>    | добре  |   |
| 75-84  | <b>C</b>    |  |   |
| 70-74  | <b>D</b>    | задовільно   |   |
| 60-69  | <b>E</b>    |  |   |
| 35-59  | <b>FX</b>   | незадовільно з можливістю повторного складання             | не зараховано з можливістю повторного складання             |
| 1-34   | <b>F</b>    | незадовільно з обов'язковим повторним вивченням дисципліни | не зараховано з обов'язковим повторним вивченням дисципліни |

### 9. Методичне забезпечення

1. Мелконян Д.В. Методичні основи застосування натурального моделювання у геологічних дослідженнях. Методичні вказівки для студентів V курсу геолого-географічного факультету / Д.В. Мелконян. – Одеса: ООО "Персей", 2010. – 44 с.
2. Мелконян Д.В. Статистические методы в геологических исследованиях: Методические указания для студентов III-V курсов геолого-географического факультета дневной и заочной форм обучения / Д.В. Мелконян. – Одесса: АО БАХВА, 2004. – 31 с.
3. Мелконян Д.В., Черкез Є.А. Програмування мовою Сі і гідрогеологічні розрахунки на ЕОМ: Методичні вказівки для студентів III-V курсів геолого-географічного факультету

денної і заочної форм навчання / Д.В. Мелконян, Є.А. Черкез. – Одеса: Наука и техника, 2003. – 46 с.

## 10. Рекомендована література

### Основна

1. Веников В.А., Веников Г.В. Теория подобия и моделирования. Москва: Высшая школа, 1984. 439 с.
2. Вижва З.О. Математичні моделі в природознавстві: навч. посібник. Київ: Обрії, 2007. 164 с.
3. Круть И.В. Исследование оснований теоретической геологии. Москва: Наука, 1973. 201 с.
4. Зелинский И.П., Черкез Е.А., Гузенко А.В. Инженерно-геологические прогнозы и моделирование: учеб. пособие. Одесса: Изд-во ОГУ, 1983. 126 с.
5. Іванік О.М., Назаренко М.В., Хоменко С.А. Моделювання геологічних процесів і структур. Практикум. Київ: ВПЦ "Київський університет", 2014. 119 с.
6. Львовский Е.Н. Статистические методы построения эмпирических формул. Москва: Высшая школа, 1982. 224 с.
7. Огурцов А.П., Мамаев Л.М., Каримов И.К. Математические методы и модели в расчётах на ЭВМ. Киев: ИСМО, 1997. 192 с.
8. Розовский Л.Б. Введение в теорию геологического подобия и натурального моделирования. Москва: Недра, 1969. 128 с.
9. Розовский Л.Б., Зелинский И.П., Воскобойников В.М. Инженерно-геологические прогнозы и моделирование. Москва-Киев-Одесса: Вища. школа, 1987. 208 с.
10. Фадеев А.Б. Метод конечных элементов в геомеханике. Москва: Недра, 1987. 221 с.
11. Харбух Дж., Бонэм-Картер Г. Моделирование на ЭВМ в геологии. Москва: Мир, 1974.

### Додаткова

1. Зелинский И.П., Мелконян Д.В. Основы теории геодинамического поля в задачах инженерной геологии. *Геоэкология*. 1998. № 3-4. С. 85-93.
2. Ковальчук В.В. Основы наукових досліджень. Київ: Професіонал, 2008. 240 с.
3. Мелконян Д.В. Комплексний метод граничних елементів стосовно напружено-деформовного стану зсувних схилів. *Вісник Одеського державного університету*. 1999. Т.4, вип.5. С. 55-59.
4. Мелконян Д.В., Черкез Е.А. Моделювання напруженого стану порід схилів складної геологічної будови комплексним методом граничних елементів з урахуванням сейсмічності. *Вісник Київського національного університету. Геологія*. 2005. Вип. 34. С. 24-27.
5. Насонов И.Д. Моделирование горных процессов. Москва: Недра, 1978. 256 с.
6. Новиков А.М., Новиков Д.А. Методология научного исследования. Москва: Либроком, 2010. 280 с.
7. Петрук В.Г., Володарський Є.Т., Мокін В.Б. Основы науково-дослідної роботи. Вінниця: ВНТУ, 2005. 143 с.
8. Хартман Ф. Обыкновенные дифференциальные уравнения. Москва: Мир, 1970. 720 с.

9. Caers, J. Modeling Uncertainty in the Earth Sciences. Chichester, UK: John Wiley & Sons, 2011. 229 p.
10. Mallet J.-L. Geomodeling. New York: Oxford University Press, 2002. 624 p.
11. Hartman P. Ordinary Differential Equations. Philadelphia: SIAM, 2002. 632 p.
12. Kelly W.G., Peterson A.C. The theory of Differential Equations: Classical and Qualitative, 2<sup>nd</sup> edn. New York: Springer. 2010. 424 p.

### **11. Електронні інформаційні ресурси**

1. Бібліотека геолога. Матеріали про геологію і геодезію.  
[http://geobooks.com.ua/books/engineering\\_geology/engineering\\_geology\\_254.html](http://geobooks.com.ua/books/engineering_geology/engineering_geology_254.html)
2. Науково-практичний журнал "Наука та інновації" – <http://scinn.nas.gov.ua/ua>
3. Національна бібліотека України імені В.І. Вернадського – <http://www/nbu.gov.ua>