



# МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ГЕОМЕХАНІЧНИХ ПРОЦЕСІВ

## Робоча програма навчальної дисципліни (Силабус)

### Реквізити навчальної дисципліни

Рівень вищої освіти	Третій (освітньо-науковий)
Галузь знань	18 Виробництво та технології
Спеціальність	184 Гірництво
Освітня програма	Геоінженерія
Статус дисципліни	Нормативна
Форма навчання	очна(денна)/заочна за вимогою
Рік підготовки, семестр	2 курс, весняний / осінній семестр
Обсяг дисципліни	6 кредитів/180 год
Семестровий контроль/ контрольні заходи	Залік / реферат
Розклад занять	<a href="http://rozklad.kpi.ua/">rozklad.kpi.ua/</a>
Мова викладання	Українська
Інформація про керівника курсу / викладачів	Лектор: <i>д.т.н., Зуєвська Наталя Валеріївна, (+38)0509821770, zuevska@i.ua</i> Практичні: <i>д.т.н., Зуєвська Наталя Валеріївна, (+38)0509821770, zuevska@i.ua</i>
Розміщення курсу	<a href="https://classroom.google.com/c/MjUyNjU2ODI4OTM3?cjc=3tdbc2y">https://classroom.google.com/c/MjUyNjU2ODI4OTM3?cjc=3tdbc2y</a>

### Програма навчальної дисципліни

#### 1. Опис навчальної дисципліни, її мета, предмет вивчення та результати навчання

Фахівець, що володіє сучасною методикою математичного моделювання геомеханічних процесів, спроможний адекватно обрати математичну модель, вибрати оптимальний тип фундаменту, правильно проводити роботи по його будівництву, передбачати можливі наслідки, що виникають процесі експлуатації споруд, та ефективно впливати на їх розвиток.

Під час викладання теоретичного матеріалу застосовується дослідницький метод спрямований на вивчення літератури, джерел, проводити спостереження, виконувати дії пошукового характеру.

А також передбачені практичні заняття, консультації, самостійна підготовка у бібліотеці та на базі інтернет - ресурсів, самостійна індивідуальна робота

#### Програмні компетентності:

ЗК02. Здатність до абстрактного мислення, аналізу, синтезу та оцінки сучасних наукових досягнень, генерування нових знань при вирішенні дослідницьких і практичних завдань;

ФК03. Здатність виявляти, ставити та вирішувати проблеми дослідницького характеру в сфері гірництва, оцінювати та забезпечувати якість виконуваних досліджень.

ФК05. Здатність застосовувати сучасні інформаційні технології з геомоніторингу та дослідження властивостей масивів.

#### Програмні результати навчання:

ПРН03. Планувати і виконувати експериментальні та/або теоретичні дослідження з гірництва та дотичних міждисциплінарних напрямів з використанням сучасних інструментів, критично аналізувати результати власних досліджень і результати інших дослідників у контексті усього комплексу сучасних знань щодо досліджуваної проблеми.

ПРН05. 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 геоінженерії.

ПРН06. Застосовувати сучасні інструменти і технології пошуку, оброблення та аналізу інформації, інформаційні системи геомоніторингу та дослідження властивостей масивів.

## **2. Пререквізити та постреквізити дисципліни (місце в структурно-логічній схемі навчання за відповідною освітньою програмою)**

Дисципліна викладається на другому курсі (весняний / осінній семестр) підготовки доктора філософії, є нормативною дисципліною і потребує від здобувачів базової підготовки з природничих і технічних наук, дисциплін професійного спрямування та є базовою для завершального циклу робіт з підготовки дисертації.

## **3. Зміст навчальної дисципліни**

### **Розділ 1. МАТЕМАТИЧНІ МОДЕЛІ МСС**

*Проблеми математичного моделювання задач механіки суцільних середовищ.*

*Основні поняття математичного моделювання. Основні властивості моделей. Основні види та етапи моделювання. Поняття, класифікація та основні властивості математичних моделей. Загальна схема побудови математичної моделі. Предмет механіки суцільних середовищ. Проблеми механіки суцільних середовищ. Методи механіки суцільних середовищ. Основні гіпотези механіки суцільних середовищ.*

### **Розділ 2. ЧИСЕЛЬНІ МЕТОДИ В ГЕОМЕХАНІЦІ**

*Застосування МСЕ до вирішення завдань механіки деформованого твердого тіла.*

*Поняття про метод скінчених елементів. Основні операції з скінченими елементами. Матричне формулювання співвідношень теорії пружності. Основні співвідношення теорії пружності. Матрична запис співвідношень Коші і закону Гука. Загальний алгоритм методу кінцевих елементів.*

### **Розділ 3. АЛГОРИТМИ ДЛЯ ПРОГРАМУВАННЯ МЕТОДУ СКІНЧЕНИХ ЕЛЕМЕНТІВ ДЕЯКИХ ЗАДАЧ ПРУЖНОСТІ І ТЕПЛОПРОВІДНОСТІ**

*Реалізація МСЕ в одновимірному випадку. Одновимірний елемент з кусочно-лінійними базисними функціями. Лінійний трикутний елемент. Застосування трикутних кінцевих елементів в задачі теплопровідності, граничні умови. Застосування чотирикутних скінчених елементів в задачі пружності.*

### **Розділ 4. РІШЕННЯ ПЛОСКОЇ ЗАДАЧИ МЕХАНІКИ ДЕФОРМОВАНОГО ТВЕРДОГО ТІЛА МЕТОДОМ СКІНЧЕНИХ ЕЛЕМЕНТІВ В ПАКЕТІ MATHCAD**

*Реалізація МСЕ в пакеті Mathcad. Завантаження даних в Mathcad, підготовка змінних. Розрахунок матриці жорсткості системи. Пошуки осьових деформацій і напружень в елементах. Основне рівняння МСЕ представляє собою систему лінійних алгебраїчних рівнянь (СЛАР).*

## **4. Навчальні матеріали та ресурси**

Базова література:

1. Карвацький А.Я. Метод скінчених елементів у задачах механіки суцільних середовищ. Програмна реалізація та візуалізація результатів [Електронний ресурс]: навч. посіб. – К.: НТУУ «КПІ», 2015. –

391 с. <https://cpsm.kpi.ua/publikatsiji/kniqi/957-metod-skinchennikh-elementiv-u-zadachakh-mekhaniki-sutslinikh-seredovishch-programna-realizatsiya-ta-vizualizatsiya-rezultatativ.html>

2. Зуєвська Н.В. Прикладні аспекти використання геостатистичних методів дослідження в гірництві : монографія / Зуєвська Н.В., Соболевський Р.В., Виноградова О.П., Горобчишин О.В. Електронні текстові дані (1 файл: 6,94 Мбайт). - КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019 р. – 150 с.
3. Antonio Bobet. NUMERICAL METHODS IN GEOMECHANICS School of Civil Engineering, Purdue University, West Lafayette, IN, USA The Arabian Journal for Science and Engineering, Volume 35, Number 1B, I 2010 [http://ssu.ac.ir/cms/fileadmin/user\\_upload/Moavenatha/Mposhtibani/Mdaftar\\_fani/KhadamatKarkonan/Articles/EN/351B-p.3.pdf](http://ssu.ac.ir/cms/fileadmin/user_upload/Moavenatha/Mposhtibani/Mdaftar_fani/KhadamatKarkonan/Articles/EN/351B-p.3.pdf)

Додаткова література:

1. Zuievskaya, N. Cluster analysis of fracturing in the deposits of decorative stone for the optimization of the process of quality control of block raw material/ / Eastern European Journal of Enterprise Technologies. – 2016. – Issue 5/3 (83). – P. 21–29. Режим доступу: <http://journals.uran.ua/eejet/article/view/80652>

2. Zuievskaya, N. Modeling of the effect of a high-pressure jet of cement mortar on the surrounding soil environment when performing jet grouting columns using jet technology/ N. Zuievskaya, V. Gubashova, V. Korobiichuk// Second International Conference on Sustainable Futures: Environmental, Technological, Social and Economic Matters (ICSF 2021), 2021 <https://notso.easyscience.education/icsf/2021/paper/131?cap=0131apC9A5OqVZA4>

3. Зуєвська Н.В., Губашова В.Є. Моделювання підсилення ґрунтової основи складно-компонентними системами. Вісті Донецького гірничого інституту. м. Покровськ, 2020. №1 (46). С. 36-44 Index Copernicus International (Республіка Польща).

4. Зуєвська Н.В. Моделювання температурного режиму ґрунтів при застосуванні горизонтального направленої буріння / Зуєвська Н.В., Булітко К.О., Пасько О.З. / Вісник Національного технічного університету України "КПІ". Серія "Гірництво": Збірник наукових праць. – Київ: НТУУ "КПІ": ЗАТ "Техновибух", 2016. – Вип. 30. – С. 60–67.

## Навчальний контент

### 5. Методика опанування навчальної дисципліни (освітнього компонента)

#### Назви тем лекцій та перелік основних питань

#### Розділ 1. МАТЕМАТИЧНІ МОДЕЛІ МСС

Моделювання систем найчастіше реалізують за допомогою сучасних комп'ютерних технологій. Такий підхід передбачає необхідність попередньої формалізації концептуальної моделі об'єкта дослідження та її подання у вигляді, придатному для реалізації тих чи інших алгоритмів чисельного аналізу або комп'ютерної імітації.

Обидва підходи передбачають необхідність застосування сучасних математичних методів, що використовуються при створенні алгоритмів моделювання. Навіть при застосуванні спеціалізованих пакетів програмного забезпечення досліднику необхідно володіти основами відповідних математичних методів, оскільки користування такими пакетами зазвичай передбачає необхідність вибору оптимального алгоритму й певних параметрів його реалізації, іноді з декількох десятків можливих варіантів. Це зумовлює необхідність вивчення основних методів математичного моделювання систем майбутніми фахівцями.

#### Розділ 2. ЧИСЕЛЬНІ МЕТОДИ В ГЕОМЕХАНИЦІ

Основна ідея методу СЕ полягає в наступному: суцільне середовище або конструкція моделюється шляхом розбиття її на невеликі області (кінцеві елементи), в кожній з яких поведінка середовища описується за допомогою свого окремого набору певних функцій, що представляють переміщення або напруги в зазначеній галузі. Цілісність об'єкта забезпечується взаємодією кінцевих елементів в ряді точок, які називаються вузловими точками або вузлами. Математичний опис взаємодії кінцевих елементів в вузлах призводить до побудови системи алгебраїчних рівнянь, до вирішення якої в кінцевому рахунку і зводиться

рішення вихідної задачі.

### **Розділ 3. АЛГОРИТМИ ДЛЯ ПРОГРАМУВАННЯ МЕТОДУ СКІНЧЕННИХ ЕЛЕМЕНТІВ ДЕЯКИХ ЗАДАЧ ПРУЖНОСТІ І ТЕПЛОПРОВІДНОСТІ**

Розглядаються основні поняття методу кінцевих елементів для одновимірних і двовимірних задач. Розглядається приклад рішення одновимірного диференціального рівняння методом Галеркіна.

Описується лінійний трикутний елемент і введена природна система координат. Показано уявлення векторних величин в методі кінцевих елементів. Наведено алгоритми для програмування методу скінченних елементів для одновимірних і двовимірних (трикутний і чотирикутний) кінцевих елементів.

### **Розділ 4. РІШЕННЯ ПЛОСКОЇ ЗАДАЧІ МЕХАНІКИ ДЕФОРМОВАНОГО ТВЕРДОГО ТІЛА МЕТОДОМ СКІНЧЕНИХ ЕЛЕМЕНТІВ В ПАКЕТІ MATHCAD**

У геомеханіки і при проектуванні підземних споруд доводиться виконувати розрахунок напружено-деформованого стану масиву гірських порід, який в більшості випадків включає пошук рішення крайової задачі теорії пружності в постановці плоскої деформації. При цьому наявність порожнин неправильної форми, складна конфігурація розрахункової області, фізична неоднорідність і анізотропія властивостей матеріалу виключно ускладнюють або унеможливають знаходження рішення в аналітичному вигляді. Тому при вирішенні таких завдань набули поширення чисельні методи, серед яких найбільш досконалим є метод скінченних елементів (МСЕ).

#### **Назва теми практичних занять та перелік основних питань**

Одномірні МСЕ. Рішення диференціального рівняння методом скінчених елементів  
Завдання теплопровідності. Розглядається двовимірна задача про стаціонарне поширення тепла  
Задачі теорії пружності. Розглядається двовимірна задача теорії пружності (плоско-напружений стан) для пластини. Застосування МСЕ в програмному забезпеченні PLAXIS для геотехнічного аналізу. Використання програмного забезпечення Slide для розрахунку стійкості укосів шаруватого ґрунтового масиву.

## **6. Індивідуальні заняття**

#### **Назва теми, для самостійного вивчення**

Розрахунок труби з товстими стінками (задача Ламе).  
Двовірна задача з визначенням плоско-деформованого стану. Визначення переміщень.

#### **Політика та контроль**

## **7. Політика навчальної дисципліни (освітнього компонента)**

Система вимог, які ставляться перед студентом:

- на лекції викладач користується власним презентаційним матеріалом; використовує Google Клас для викладання матеріалу поточної лекції, додаткових ресурсів, практичних робіт та інше; викладач відкриває доступ до певної директорії Google Класу для скидання електронних звітів
- Презентаційні роботи пишуться самостійно; результат пересилається у файлі до відповідної директорії Google Класу і захищається на лекції.
- заохочувальні бали виставляються за: активну участь на лекціях; підготовка оглядів наукових праць; презентацій по одній із тем СРС дисципліни тощо. Кількість заохочуваних балів на більше 10

## **8. Види контролю та рейтингова система оцінювання результатів навчання (PCO)**

1. Рейтинг студента з навчальної дисципліни розраховується зі 100 балів. Стартовий рейтинг (протягом осіннього семестру) складається з балів, що студент отримує за:
- написання реферату;
  - робота на практичних заняттях;
  - індивідуальні заняття;
2. Критерії нарахування балів:
- 2.1 Реферат оцінюється у 15 балів
- 2.2. Робота на практичних заняттях (4 заняття):
- робота виконана без помилок – 10 балів;
  - є певні недоліки у підготовці або виконанні роботи – 8 бал;
- 2.3. Індивідуальні завдання – (9 занять) ваговий бал – 5 балів
- Стартовий рейтинг (протягом весняного семестру) складається з балів, що студент отримує за:
- робота на практичних заняттях;
  - індивідуальні заняття;
2. Критерії нарахування балів:
- 2.1. Робота на практичних заняттях (2 заняття):
- робота виконана без помилок – 15 балів;
  - є певні недоліки у підготовці або виконанні роботи – 10 бал;
- 2.2. Індивідуальні завдання – (14 занять) ваговий бал – 5 балів
3. Умовою першої атестації є отримання не менше 30 балів та виконання всіх практичних робіт (на час атестації). Умовою другої атестації – отримання не менше 60 балів, виконання всіх практичних робіт (на час атестації).
4. Умовою допуску до заліку є виконання всіх практичних робіт, а для осіннього семестру додатково виконання реферату.
5. Проведення підсумкового контролю проводиться у формі інтерактивного тестування, для якого використовується система тестування «Google Форма».
- База тестових завдань для підсумкового контролю знань з навчальної дисципліни розроблена відповідно до силабусу дисципліни та наведено у Додатку А.
- Ліміт часу на сеанс тестування становить 40 хв, кількість питань у тесті – 32.
- За результатами комп'ютерного тестування формується відомість і викладач ознайомлює студентів із результатами заліку в Google Classroom та Telegram.
6. Сума стартових балів переводиться до залікової оцінки згідно з таблицею:
- Таблиця відповідності рейтингових балів оцінкам за університетською шкалою:

<i>Кількість балів</i>	<i>Оцінка</i>
100-95	Відмінно
94-85	Дуже добре
84-75	Добре
74-65	Задовільно
64-60	Достатньо
Менше 60	Незадовільно
Не виконані умови допуску	Не допущено

## 9. Додаткова інформація з дисципліни (освітнього компонента)

### **Перелік питань, які виносяться на семестровий контроль**

1. Назвіть найбільш відомі чисельні методи, що застосовуються в геомеханіки?
2. У чому полягає ідея методу кінцевих елементів?
3. Що таке «матриця жорсткості» в МСЕ?
4. Що таке «матриця пружності» в МСЕ?
5. Назвіть етапи рішення задач геомеханіки МСЕ.
6. Який алгоритм вирішення пружно завдань в МСЕ?
7. У чому суть методу граничних елементів?
8. Що таке «сингулярне рішення»?
9. Які можливості МСЕ і МГЕ? У чому їх переваги і недоліки?

10. У чому суть методу дискретних елементів? Його достоїнства і недоліки

**Робочу програму навчальної дисципліни (силабус):**

**Складено** професор кафедри геοінженерії, д.т.н., Зуєвська Н.В.

**Ухвалено** кафедрою геοінженерії (протокол № 15 від 23.06.2021 р.)

**Погоджено** Методичною комісією ІЕЕ (протокол № 7 від 23.06.2021 р.)