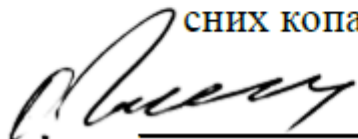


МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Львівський національний університет імені Івана Франка
Факультет геологічний
Кафедра геології корисних копалин і геофізики

Затверджено
на засіданні кафедри геології корисних
копалин і геофізики геологічного
факультету Львівського національного
університету імені Івана Франка
(протокол № 2 від 30.08.2023 р.)

Завідувач кафедри геології корисних
копалин і геофізики


Олег ГАЙОВСЬКИЙ

Силабус з навчальної дисципліни
«Моделювання складних природних систем»,
що викладається в межах ОПШ “Геологія”
другого (магістерського) рівня вищої освіти для здобувачів з
спеціальності 103 “Науки про Землю”

Львів - 2023

Назва дисципліни	Моделювання складних природних систем
Адреса викладання дисципліни	Львівський національний університет імені Івана Франка вул. Грушевського, 4 Львів 79005
Факультет та кафедра, за якою закріплена дисципліна	Геологічний факультет Кафедра геології корисних копалин і геофізики
Галузь знань, шифр та назва спеціальності	Галузь знань: 10 Природничі науки Спеціальність: 103 Науки про Землю
Викладачі дисципліни	Хом'як Микола Миколайович, канд. фіз.-мат. наук, доцент
Контактна інформація викладачів	Микола Хом'як < mykola.khomyak@lnu.edu.ua > вул. Грушевського 4; кімн. 124
Консультації з питань навчання по дисципліні відбуваються	Консультування слухачів викладач здійснює згідно затвердженого графіку або за попередньою домовленістю. Можливі онлайн консультації через Teams, Telegram, Zoom, Moodle, електронну пошту або інші ресурси..
Інформація про дисципліну	Предметом навчальної дисципліни є кількісний опис природних полів у геологічному середовищі, створення адекватних сучасним фізичним уявленням матератичних і комп'ютерних моделей та методів моделювання важливих параметрів геологічного середовища.
Коротка анотація дисципліни	Дисципліна "Моделювання складних природних систем" служить для ознайомлення та оволодіння основними теоретичними засадами моделювання геологічних параметрів середовища, теоретичними основами опису температурних, фільтраційних та інших полів, ознайомлення з прямими та оберненими задачами моделювання геодинамічних процесів. На протязі семестру студент в рамках часу, відведеного на самостійну роботу, виконує також самостійні завдання (у вигляді задач до тем), яке дає змогу повніше виявити практичні знання та вміння щодо методів моделювання параметрів геологічного середовища.
Мета та цілі дисципліни	Мета навчальної дисципліни — викласти студентам теоретичні основи методів моделювання параметрів геологічного середовища як складної системи, основи теорії РТВ-моделювання, моделі реальних геологічних тіл та масивів, математичну постановку задачі та методи розв'язування з допомогою сучасної комп'ютерної техніки. Головні цілі <ul style="list-style-type: none"> ▪ застосовувати поняття теорії деформації, фільтрації міграції, та теплового поля; ▪ описувати взаємодію структурних елементів геологічних масивів та їхніх моделей; ▪ оволодіння термінологією моделювання та методів розв'язування прямих та обернених задач;

	<ul style="list-style-type: none"> ▪ ознайомленням з деякими методами опрацювання даних про параметри геологічного моделювання; ▪ ширше висвітлення деяких з актуальних і прикладних тем, пов'язаних з аналізом геологічних процесів.
Література для вивчення дисципліни	<p style="text-align: center;">Базова</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. KNUT-ANDREAS LIE. AN INTRODUCTION TO RESERVOIR SIMULATION USING MATLAB/GNU OCTAVE. – Cambridge University Press, 2019. – 660 p. 2. Hantschel T., Kauerauf A. I. Fundamentals of Basin and Petroleum Systems Modeling. – Springer Dordrecht Heidelberg London New York, 2009. – 476 p. 3. Моделювання геодинамічних процесів: текст лекцій для студентів-магістрів геологічного факультету напряму підготовки 8.04010301 – геологія / укл.: М.М. Хом'як, Л.М. Хом'як – Львівський національний університет імені Івана Франка, 2017. – 95 с. <p style="text-align: center;">Допоміжна</p> <ol style="list-style-type: none"> 4. Rey P. F. Introduction to Tectonophysics. – 2018.– 130 p. – Режим доступу: – https://www.researchgate.net/publication/328655704_Introduction_to_Tectonophysics 5. Gerya T. Introduction to Numerical Geodynamic Modelling Cambridge, England, Cambridge University Press, 2012. – 345 p. Режим доступу: – https://www.researchgate.net/file.PostFileLoader.html?id=55ad5f016143257f018b4582&assetKey=AS%3A273815538470917%401442294119973 6. Martel S. J. Structural Geology. – Режим доступу: https://www.soest.hawaii.edu/martel/Courses/GG303/ 7. Allmendinger, R. W. Modern Structural Practice. A structural geology laboratory manual for the 21st Century, v. 1.9.1, 2015-2020. – https://www.rickallmendinger.net/download
Тривалість курсу	Один семестр
Обсяг курсу	Викладається для студентів спеціальності "103 Науки про Землю" денної форми навчання на першомуому курсі навчання (магістерський рівень). Загальна кількість годин – 90 (3,0 кредити за ECTS), з яких відведено лекції – 16 год., лабораторні заняття – 32 год. та самостійну роботу – 42 год. Закінчується заліком.
Очікувані результати навчання	У результаті вивчення даної дисципліни студент повинний: знати в обсязі, достатньому для вирішення прикладних задач термінологію, основні визначення, суть методів моделювання складних природних систем; мати уявлення про сучасні програмні засоби та їхню функціональність щодо вирішення теоретичних і прикладних задач; уміти аналізувати дані про поля тисків і деформацій, температур, і міграційних потоків використовувати сучасні моделі даних.
Ключові слова	Геологічне моделювання, фундаментальні фізичні закони (збереження), постановка прямих та обернених задач.

Формат курсу	Очний, а за необхідності дистанційний у Teams
Теми	Подано нижче у табличній формі СХЕМА КУРСУ*
Підсумковий контроль, форма	залік
Пререквізити	Для вивчення курсу студенти мають мати базові знання із загальної геології, вищої математики, інформатики та обробки геологічних даних, виконувати кількісні вимірювання в польових та лабораторних умовах.
Навчальні методи та техніки, які будуть використовуватися під час викладання курсу	Лабораторні заняття та завдання з моделювання та аналізу полів напружень та деформацій у геологічному середовищі. За необхідності висвітлення теоретичних основ у формі лекцій, презентацій, відео. Тестування у системі Moodle. Консультації. Організація самостійної роботи, самоконтроль.
Необхідне обладнання	Персональний комп'ютер або ноутбук, загальноживані (Microsoft Excel, TEAMS) та спеціалізовані (MATLAB тощо) комп'ютерні програми.
Критерії оцінювання (окремо для кожного виду навчальної діяльності)	<p>Оцінювання знань студента викладач здійснює за кредитно-модульною системою з використанням 100-бальної шкали. Підрахунок балів студента буде виконано шляхом їхнього насумовування за формами поточного контролю знань.</p> <p>Форми контролю: опитування на лекції, лабораторні заняття, оцінювання самостійних завдань, тестування. Розподіл балів за формами контролю такий:</p> <ul style="list-style-type: none"> – лекційне опитування – максимум 16 балів; – виконання завдань на лабораторних заняттях (16 занять по 3 бали); максимальна кількість балів 48; – виконання індивідуальних завдань в межах самостійної роботи (2 завдання по 5 балів); максимальна кількість балів 10; – контрольні заміри (тести) (26 питань по 1 балу); максимальна кількість балів 26; <p>Загалом упродовж семестру – максимум 100 балів.</p> <p>Щоб отримати відмітку «зараховано» студенту необхідно набрати в сумі не менше 51 бала.</p> <p><i>Академічна доброчесність.</i> Списування, втручання в роботу студентів, відсутність посилань на використані джерела при написанні рефератів - приклади можливої академічної не доброчесності. Жодні форми порушення академічної доброчесності не толеруються.</p> <p><i>Відвідання занять</i> є важливою складовою навчання. Очікується, що всі студенти відвідають усі лекції. Студенти мають інформувати викладача про неможливість відвідати заняття.</p> <p><i>Література.</i> Уся література, яку студенти не зможуть знайти самостійно, буде надана викладачем виключно в освітніх цілях без права її передачі третім особам. Студенти заохочуються до використання й іншої літератури та джерел, яких немає серед рекомендованих.</p> <p><i>Політика виставлення балів.</i> Враховуються бали набрані на контрольному опитуванні, самостійній роботі.</p>
Питання до тем	Тема 1. Вступ. 1. Що таке системний підхід?

2. Як ви розумієте термін “природне поле”?
3. Пояснити співвідношення між природними об’єктами та явищами і їхніми моделями
4. Які признаки для класифікації моделей використовують?

Тема 2. Математична модель.

- Які види і джерела інформації про геологічне середовище ви знаєте?
- Роль фізичних законів у моделюванні. Які закони збереження ви знаєте? В чому їхня специфіка для геології?
- Що розуміють під комп’ютерною моделлю?
- Пояснити терміни обробка даних, симуляція, числовий експеримент, інтерпретація

Тема 3. Принципи детерміністичного моделювання

- Які параметри геологічного середовища ви знаєте?
- У чому полягає принцип дуальності в задачах моделювання?
- Основні підходи до складання балансових рівнянь середовища.
- Роль систем координат, інваріантність
- Концептуальне розуміння суті прямих та обернених задач моделювання

Тема 4. Статистичне моделювання.

- назвіть принципи, переваги та обмеження статистичного моделювання
- Назвіть важливі статистичні характеристики. Як їх обчислити?
- Що таке кореляція?
- Принципи побудови регресійних моделей
- Що таке мінливість. Характеристики мінливості у просторі та часі

Тема 5. Вступ до геостатистики.

- Що характеризує варіограма? Назвати типи варіограм.
- Що таке крігінг? Переваги перед іншими методами апроксимації даних
- Що розуміють під терміном геостатистика. Назвати геологічні задачі, де використовують геостатистику.

Тема 6. Структурні дані і дані свердловин

- Охарактеризувати структурні, стратиграфічні та літологічні дані. Які шкали кількісних даних використовують
- Назвати приклади 1D-, 2D- і 3D-моделей параметрів геологічного середовища
- Яка роль розломних порушень для моделювання.

Тема 7. PTV-моделювання.

- Обґрунтувати вадливість специфіку та взаємодію природних полів і процесів
- Назвіть етапи моделювання. Масштабний фактор та умови подібності для моделювання
- В чому полягає верифікація і калібрування моделей?

Тема 8. Тиск у гірських породах

- Які чинники формування тиску у гірських породах?
- Які одиниці вимірювання і як виміряти тиск?
- Що таке гідростатичний і літостатичний тиск?
- Як впливають тектонічні процеси на тиск

Тема 9. Модель тиску Терцагі.

- Назвати характеристики пористості середовища
 - Що таке тензор напружень? Які його складові?
 - У чому полягає процес компакції? Які кількісні характеристики, закони ви знаєте?
- Тема 10. Модель фільтрації**
- Яка роль флюїдів у геологічному середовищі?
 - Проникливість середовища і коефіцієнт фільтрації. В чому відмінність?
 - Сформулювати закон Дарсі. Чи завжди він виконується?
 - У чому полягає постановка задачі фільтрації, які умови потрібно мати?
- Тема 11. Температурне поле.**
- Охарактеризувати роль температури в геологічних процесах.
 - Назвати і пояснити кількісні характеристики температури і теплового потоку.
 - Сформулювати закон теплопровідності Фур'є. В чому аналогія з законом Дарсі?
 - Сформулювати Закон збереження енергії. Що таке консервативні і неконсервативні системи?
- Тема 12. В'язкопружнопластичне середовище.**
- Назвіть характеристики в'язкості, пружності, пластичності. Які геологічні чинники впливають (корелюють) з їхніми кількісними значеннями?
 - Пояснити відмінність дії дотичних і нормальних напружень.
 - Пояснити модель в'язкості Н'ютона, Бінгама або іншу відому.
 - Пояснити терміни "турбулентність". Назвати характеристики ламінарних потоків
 - Модель процесів в мантії Землі. Які прояви взаємодії з літосферою можна назвати?
- Тема 13. Сейсмічні моделі.**
- Як поширюються і які характеристики сейсмічних хвиль
 - Назвіть важливі параметри для моделі землетрусів
 - У чому полягає пряма та обернена задача сейсміки
- Тема 14. Приклад складної системи. Седиментаційні процеси.**
- Назвіть важливі параметри сучасних моделей седиментації.
 - Пояснити роль рельєфу, клімату, потоків для геоморфологічного моделювання
 - Яке програмне забезпечення ви знаєте?
- Тема 15. Приклад складної системи. Процеси міграції вуглеводнів**
- Охарактеризувати в цілому та складові моделі "чорної нафти"
 - В яких типових задачах використовують цю модель
 - Які програмні комплекси реалізують моделі міграції вуглеводнів
- Тема 16. Загальні принципи комп'ютерного моделювання.**
- Назвати приклади загального і спеціалізованого програмного забезпечення. Які принципові відмінності між ними?
 - Хто створює вільні програмні засоби?
 - Які комерційні програмні продукти ви можете назвати, чи використовуються вони в Україні?

Опитування	Тестування (в системі MOODLE) для поточного контролю знань
Опитування	Анкету-оцінку з метою оцінювання якості курсу буде надано по завершенню курсу

СХЕМА КУРСУ
«Моделювання складних природних систем»

№	Тема занять (перелік питань)	Форма діяльності та обсяг годин	Термін виконання
1	<p>Тема 1. Вступ.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Геологічне середовище як система • Взаємодія природних полів • Моделі і моделювання. Класифікація. 	<p><i>Лекція – 2 год,</i> <i>лабораторне заняття – 2 год</i> <i>самостійна робота – 2,5 год</i></p>	1-й тжд
2	<p>Тема 2. Математична модель.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Інформаційна модель • Закони збереження • Комп'ютерна модель 	<p><i>лабораторне заняття – 2 год</i> <i>самостійна робота – 2,5 год</i></p>	2-й тжд
3	<p>Тема 3. Принципи детерміністичного моделювання</p> <ul style="list-style-type: none"> • Параметри середовища та їхня дуальність • Балансові співвідношення • Прямі та обернені методи вирішення задач 	<p><i>Лекція – 2 год,</i> <i>лабораторне заняття – 2 год</i> <i>самостійна робота – 2,5 год</i></p>	3-й тжд
4	<p>Тема 4. Статистичне моделювання.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Основні статистичні показники • Кореляція і регресія • Просторова мінливість. Апроксимація числових значень 	<p><i>лабораторне заняття – 2 год</i> <i>самостійна робота – 2,5 год</i></p>	4-й тжд
5	<p>Тема 5. Вступ до геостатистики.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Варіограма та її типи • Крігінг • Застосування геостатистики. 	<p><i>Лекція – 2 год,</i> <i>лабораторне заняття – 2 год</i> <i>самостійна робота – 2,5 год</i></p>	5-й тжд
6	<p>Тема 6. Структурні дані і дані свердловин</p> <ul style="list-style-type: none"> • Геологічні розрізи як 2D-моделі параметрів середовища • Блочні моделі. Роль розломних порушень. • Аналіз просторового характеру даних 	<p><i>лабораторне заняття – 2 год</i> <i>самостійна робота – 2,5 год</i></p>	6-й тжд
7	<p>Тема 7. РТВ-моделювання.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Взаємодія природних полів і процесів • Процес моделювання та його етапи. • Верифікація і калібрування моделей 	<p><i>Лекція – 12 год,</i> <i>лабораторне заняття – 2 год</i> <i>самостійна робота – 2,5 год</i></p>	7-й тжд
8	<p>Тема 8. Тиск у гірських породах</p> <ul style="list-style-type: none"> • Чинники формування • Гідростатичний і літостатичний тиск • Роль тектоніки 	<p><i>Лекція – 12 год,</i> <i>лабораторне заняття – 2 год</i> <i>самостійна робота – 2,5 год</i></p>	8-й тжд

9	<p>Тема 9. Модель тиску Терцагі.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Пористість середовища • Тензор напружень та його складові • Процеси і закони компакції 	<p>лабораторне заняття – 2 год</p> <p>самостійна робота – 2,5 год</p>	9-й тжд
10	<p>Тема 10. Модель фільтрації</p> <ul style="list-style-type: none"> • Роль флюїдів та їхня міграція • Проникливість середовища • Закон Дарсі та межі його застосування • Постановка задач, крайові та початкові умови. 	<p>Лекція – 2 год,</p> <p>лабораторне заняття – 2 год</p> <p>самостійна робота – 2,5 год</p>	10-й тжд
11	<p>Тема 11. Температурне поле.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Чинники формування • Вимірювання температури і теплового потоку. • Закон Фур'є • Закон збереження енергії • 	<p>лабораторне заняття – 2 год</p> <p>самостійна робота – 2,5 год</p>	11-й тжд
12	<p>Тема 12. В'язкопружнопластичне середовище.</p> <ul style="list-style-type: none"> • В'язкість, пружність, пластичність, одиниці вимірювання, чинники • Дотичні напруження, закони тертя. • Моделі в'язкості Н'ютона, Бінгама тощо • Турбулентні і ламінарні потоки • Процеси в мантії Землі • 	<p>Лекція – 2 год,</p> <p>лабораторне заняття – 2 год</p> <p>самостійна робота – 2,5 год</p>	12-й тжд
13	<p>Тема 13. Сейсмічні моделі.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Хвилі у геологічному середовищі • Моделювання вогнищ землетрусів • Пряма та обернена задача 	<p>лабораторне заняття – 2 год</p> <p>самостійна робота – 2,5 год</p>	13-й тжд
14	<p>Тема 14. Приклад складної системи. Седиментаційні процеси.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Моделі седиментації. • Геоморфологічне моделювання • Програмне забезпечення 	<p>Лекція – 2 год,</p> <p>лабораторне заняття – 2 год</p> <p>самостійна робота – 2,5 год</p>	14-й тжд
15	<p>Тема 15. Приклад складної системи. Процеси міграції вуглеводнів</p> <ul style="list-style-type: none"> • Модель “чорної нафти” • Аналіз складових моделі • Програмне забезпечення 	<p>лабораторне заняття – 2 год</p> <p>самостійна робота – 2,5 год</p>	15-й тжд
16	<p>Тема 16. Загальні принципи комп'ютерного моделювання.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Загальне і спеціалізоване програмне забезпечення. • Вільні програмні засоби • Комерційні програмні продукти • Огляд тенденцій розвитку ПЗ 	<p>Лекція – 2 год,</p> <p>лабораторне заняття – 2 год</p> <p>самостійна робота – 3,5 год</p>	16-й тжд

