



### НАЗВА КУРСУ

#### Моделювання стану суцільного середовища

#### Робоча програма навчальної дисципліни (Силабус)

#### Реквізити навчальної дисципліни

<i>Рівень вищої освіти</i>	<i>Третій (освітньо-науковий)</i>
<i>Галузь знань</i>	13 Механічна інженерія
<i>Спеціальність</i>	133 Галузеве машинобудування
<i>Освітня програма</i>	ОНП Галузеве машинобудування
<i>Статус дисципліни</i>	Нормативна
<i>Форма навчання</i>	очна(денна)/очна(вечірня)/заочна/дистанційна/змішана
<i>Рік підготовки, семестр</i>	2 курс, осінній семестр
<i>Обсяг дисципліни</i>	4 (120)
<i>Семестровий контроль/ контрольні заходи</i>	Екзамен
<i>Розклад занять</i>	3 години на тиждень (1 година лекційних та 2 години практичних занять)
<i>Мова викладання</i>	Українська
<i>Інформація про керівника курсу / викладачів</i>	Лектор: Іваницький Георгій Костянтинович, д.т.н., професор. Практичні/Семінарські: Георгій Іваницький, <a href="mailto:gergey4@gmail.com">gergey4@gmail.com</a>
<i>Розміщення курсу</i>	Посилання на дистанційний ресурс (Moodle, Google classroom, тощо)

#### Програма навчальної дисципліни

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

###### **Опис навчальної дисципліни.**

Методи математичного моделювання широко застосовують при дослідженні різноманітних систем і процесів - природних, технічних, екологічних тощо. Це передбачає створення концептуальної моделі об'єкта дослідження, її формалізацію та перетворення у математичну модель в аналітичному чи чисельному вигляді, придатному для одержання кінцевого вирішення задачі. Реалізація алгоритмів чисельного аналізу проводиться зазвичай на базі сучасних комп'ютерних технологій з використанням спеціалізованих пакетів програмного забезпечення. Але для цього досліднику необхідно володіти основами математичного моделювання, вмінням розробляти адекватні математичні моделі, проводити їх модифікацію, оскільки користування спеціалізованими пакетами завжди передбачає необхідність вибору оптимального алгоритму і шляхів його успішної реалізації, іноді з багатьох можливих варіантів.

В курсі акцентується увага на тісний взаємозв'язок між натурним моделюванням об'єктів та процесів з проведенням експериментальних досліджень на лабораторних стендах та математичним моделюванням цих процесів, що, з одного боку, забезпечує можливість перевірки адекватності і достовірності моделі, шляхи її подальшої модифікації, а з іншого - проведення детального аналізу результатів експерименту і обґрунтування шляхів подальшого

напрямку лабораторних дослідження, внесення необхідних змін в методику проведення експериментів

### **Предмет навчальної дисципліни.**

Дисципліна "Моделювання стану суцільного середовища" викладається як новий універсальний компонент підготовки кваліфікованих фахівців у галузі машинобудування, ресурсозбереження, екології та комп'ютерно-інтегрованих технологій. В курсі розглядаються узагальнені методи моделювання гідродинамічних, теплообмінних та масообмінних процесів, а також методи створення моделей, які є базовими для вивчення цих процесів. Розглядаються моделі, які будуються з єдиних позицій законів збереження маси, імпульсу, енергії та вплив специфічних та загальних механізмів взаємодії об'єктів і середовища на ці моделі.

Оволодіння методами математичного моделювання передбачає не просто засвоєння певних правил і способів дії в алгоритмах побудови моделі і виборі методу рішення, а саме розвиток своєрідного стилю мислення, орієнтованого на аналіз фізичної і математичної суті розглянутих явищ. Освоєння сучасних технологій в області «Галузевого машинобудування» все більше вимагають від аспіранта, інженера-механіка глибокої і системної мультидисциплінарної підготовки, залучення знань і досвіду, накопичених в інших дисциплінах фізико-математичного та хіміко-технологічного напрямів .

### **Мета навчальної дисципліни.**

Метою освоєння даної дисципліни є формування комплексних знань умінь і навичок, що дозволяють використовувати фундаментальні принципи механіки і термодинаміки для моделювання широкого класу фізико-механічних процесів у суцільних середовищах. Крім того, в результаті освоєння дисципліни аспіранти ознайомляться з методологією наукових досліджень з використанням сучасних програмно-цільових комплексів фізичного і математичного моделювання, оволодіють вмінням використовувати базові наукові знання і методи для формування суджень по професійних проблемах при вирішенні комплексних науково-технічних завдань, критично оцінювати та інтерпретувати результати дослідження, робити висновки, отримані в складних і невизначених ситуаціях.

Поставлені цілі дозволять аспірантам глибше опанувати методи математичного моделювання, усвідомити природу розглянутих тепло- та масообмінних і гідродинамічних явищ та процесів, які є предметом наукового дослідження, розвинути технологічні навички побудови відповідних математичних моделей. Вивчення проблем курсу буде орієнтоване на активне використання вітчизняних і зарубіжних публікацій в галузі фізичного і математичного моделювання стану суцільного середовища.

Відповідно до мети даної навчальної дисципліни підготовка докторів філософії за спеціальністю 133 Галузеве машинобудування вимагає подальший розвиток сформованих у аспірантів компетентностей:

Відповідно до мети даної навчальної дисципліни підготовка докторів філософії за спеціальністю 133 Галузеве машинобудування вимагає подальший розвиток сформованих у аспірантів компетентностей:

- знати фундаментальні засади теорії гідродинаміки, тепло- та масообміну та базові положення термодинаміки;

- вміти формулювати наукову проблему в галузі галузевого машинобудування, обґрунтовувати робочі гіпотези вирішення досліджуваної проблеми;

- знати основні класи математичних моделей суцільних середовищ, загальні методи їх побудови на основі фізичних законів збереження, відповідні їм рівнянь балансу;

- володіти навичками застосування математичних моделей суцільних середовищ для моделювання різних фізико-механічних процесів, здійснювати коректний вибір моделі і адаптувати її для моделювання поведінки об'єкту дослідження.

Згідно з вимогами програми навчальної дисципліни «Моделювання стану суцільного середовища» аспіранти після засвоєння матеріалів курсу лекцій мають продемонструвати наступні програмні результати навчання:

- уміти розробляти та досліджувати концептуальні математичні та комп'ютерні моделі процесів з урахуванням властивостей суцільного середовища, здійснювати їх математичне рішення, проводити аналіз результатів,

- знати сучасні методи формалізації станів суцільного середовища, основні типи визначальних співвідношень, що характеризують поведінку і реакцію об'єктів дослідження в рамках узагальнених моделей суцільних середовищ;

- уміти удосконалювати моделі стану суцільних середовищ, застосовувати одержані навички та вивчений матеріал для вирішення нових задач динаміки суцільних середовищ;

- уміти проводити аналіз стану суцільного середовища та обґрунтовувати робочі гіпотези щодо підвищення ефективності процесів перенесення;

- вміти ефективно застосовувати методи аналізу, математичне моделювання, виконувати фізичні та обчислювальні експерименти процесі виконання наукових досліджень, розв'язувати комплексні проблеми в галузі машинобудування, проводити дослідницько-інноваційну діяльність, що передбачає глибоке осмислення наявних та створення нових цілісних знань, а також практичне впровадження отриманих результатів;

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

Освоєння дисципліни «Моделювання стану суцільного середовища» базується на засадах інтеграції комплексу знань, отриманих аспірантами протягом бакалаврської освіти та магістратури при вивченні дисциплін природничого та інженерно-технічного спрямування в галузі «Механічна інженерія». Для успішного засвоєння даної дисципліни необхідно мати основні знання в області вищої математики, фізики, фізичної хімії, теоретичних основи теплотехніки, загальної хімічної технології; знати базові принципи теорії тепло- та масообміну, гідромеханічних та механічних процесів: вміти користуватися комп'ютером на рівні адміністратора; мати навички в сфері прикладного програмування, математичного моделювання процесів та систем.

В результаті освоєння дисципліни аспірант буде знати методологію наукових досліджень з використанням сучасних програмно-цільових комплексів фізичного і математичного моделювання, буде готовий використовувати фундаментальні і природно наукові знання і методи для формування обґрунтованих суджень при вирішенні комплексних науково-технічних проблем у галузі професійної та дослідницько-інноваційної діяльності, що передбачає глибоке переосмислення наявних та створення нових цілісних знань та плідної професійної практики.

## **3. Зміст навчальної дисципліни**

### **Розділ 1 Основи фізичного та математичного моделювання.**

**Тема 1.** Натурне та математичне моделювання. Об'єкти дослідження.. Методи математичного моделювання.

**Тема 2.** Основні вимоги до математичної моделі .

### **Розділ 2. Класифікація математичних моделей.**

**Тема 3.** Класифікація моделей в залежності від складності об'єкта моделювання, параметрів та оператора

**Тема 4.** Класифікація математичних моделей в залежності від мети моделювання та методів реалізації.

**Розділ 3. Застосування методів математичного моделювання при проведенні наукових досліджень.**

**Тема 5.** Етапи побудови фізичних та математичних моделей. Визначальні чинники побудови математичної моделі.

**Тема 6.** Постановка дослідження і вирішення обчислювальних задач. Формалізація математичної моделі.

**Тема 7.** Моделювання руху дисперсій в суцільному середовищі.

**Розділ 4. Математичні моделі суцільного середовища**

**Тема 8.** Визначення поняття суцільного середовища. Базові рівняння математичної моделі.

**Тема 9.** Математичне моделювання на основі фундаментальних законів природи. Класифікація механізмів переносу.

**Розділ 5. Методи виведення базових рівнянь моделі суцільного середовища**

**Тема 10.** Диференціальне рівняння нерозривності.

**Тема 11.** Диференціальне рівняння руху рідини або рівняння імпульсу. Виведення рівняння Нав'є-Стокса.

**Тема 12.** Диференціальне рівняння збереження енергії. Виведення рівняння теплопровідності.

**Тема 13** Процедура розв'язування диференціальних рівнянь.

**4. Навчальні матеріали та ресурси**

**Базова література**

1. Грінченко В.Т., *Механіка рідини, газу і плазми.* //Енциклопедія Сучасної України: електронна версія [веб-сайт] /Гол. редкол.: І.М. Дзюба, А.І. Жуковський, М.Г. Железняк та ін. –Київ: Інститут енциклопедичних досліджень НАН України, 2018. URL:

[http://esu.com.ua/search\\_articles.php?id=67464](http://esu.com.ua/search_articles.php?id=67464)

2. Ванін В. А. *Математичні моделі та чисельні методи в задачах механіки суцільного середовища : навч.-метод. посібник з курсу "Сучасні проблеми математичного та комп'ютерного моделювання" для студ. машинобудівних та енергетичних спец. / В. А. Ванін ; Нац. техн. ун-т "Харків. політехн. ін-т". – Харків : НТУ "ХПІ", 2018. – 209 с.*

3. Білушак Ю., Гайвась Б., Гера Б. та інші. *Математичне моделювання нерівноважних процесів у складних системах. Під ред. Є. Чаплі.* – Центр математичного моделювання Інституту прикладних проблем механіки і математики ім. Я. С. Підстригача НАН України. Львів: Растр – 7, 2019.–256 с.

4. Семенова І.Ю. *Математичні моделі механіки суцільних середовищ Навчальний посібник* Київ: Київський національний університет імені Тараса Шевченка 2014. –82с.

<http://www.mechmat.univ.kiev.ua/wp-content/uploads/2018/03/MatModelMSSlast.pdf>

5. Lai W.M., Rubin R., Kremp E.L. *Introduction to Continuum Mechanics, Elsevier Science, 2009, 881*

**Додаткова**

6. Сахаров О.С., Карвацький А.Я. *Механіка суцільних середовищ в інженерних розрахунках: Для студентів спеціальностей «Обладнання хімічних виробництв і підприємств будівельних матеріалів».*–Київ: НТУУ «КПІ», 2013.–231 с. <https://cpsm.kpi.ua/Doc/MSS-1.pdf>

7. Andersen D.A., Tannehill J.S., Pletcher R.H. *Computational fluid mechanics and heat transfer.* N.-Y.: Hemisphere Publishing Corporation, 1984, 380

8. Chadwick P. *Continuum Mechanics: Concise Theory and Problems, Dover Publication, 2012, 200*

9. Хусаїнов Д.Я., Харченко І.І., Шатирко А.В. *Введення в моделювання динамічних систем: Навч. посібник.* Київ: Київський національний університет імені Тараса Шевченка, 2010.–130 с.

10. Bechtel S.E., Lower R.L. *Fundamental of continues mechanics with application to mechanical, thermo mechanical and smart materials* Academic Press 2014, 330

11. Павленко П.М. *Основи математичного моделювання систем і процесів: Навч. посібн.*– Київ: Книж. вид-во НАУ, 2013.–201 с. <https://cpsm.kpi.ua/Doc/MSS-1.pdf>

12. Бекас Б.О., Капран І.Д., Шиманський В.М. *Matlab в чисельних методах. Використання математичного пакета для розв'язування прикладних задач". Вид. НЛТУУ. Львів. 2016. -170.*

13. Jörgen Bergström *Mechanics of Solid Polymers, William Andrew Publication, 2015, 590*

14. Zeidan B.A. *Mathematical Modeling of Environment Problems" 2015* In book: *Environmental Sci. & Engng., Vol. 7: Instrumentation Modeling and Analysis, Studium Press LLC, USA, 2015 , 423-461*

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

### Лекційні заняття.

Лекційні заняття спрямовані на надання сучасних цілісних, знань з дисципліни «Моделювання стану суцільного середовища», визначення на сучасному рівні розвитку науки в області моделювання при проведенні комплексних досліджень; викладення нових науково обґрунтованих методів математичного моделювання, розробки комп'ютерних програм відповідно до кожної конкретної задачі та шляхів їх реалізації; опис концепцій, основних принципів побудови і застосування математичних моделей в наукових дослідженнях та в інженерній практиці; забезпечення в процесі лекції плідної роботи аспірантів; застосування дієвих методів викладання, подання матеріалу і його засвоєння; виховання у аспірантів професійних якостей і розвиток творчого мислення; формування у них наукового і практичного інтересу до освоєння матеріалу курсу, прагнення до самостійної роботи.

№ з/п	Назва теми лекції, перелік основних питань, посилання на літературу та завдання на СРС.	Годин
1	<b>Натурне та математичне моделювання. Об'єкти дослідження.</b> Визначення математичної моделі. Фізична модель. Властивості моделей. Мета моделювання. Концептуальне моделювання. Інтуїтивне моделювання. Література: [2], [6] с.13-20, [9] с.6-9, [10] с.7-16, [14] с.6-21, [11] с.38-49, [8] с.11-21. [7] с.10-22,.	1
2	<b>Основні вимоги до математичної моделі.</b> Множинність та єдність моделей. Повнота і простота моделі. Адекватність моделі. Область застосування та границі достовірності. Доступність спілкування і управління моделлю. Модифікація моделі. Література: [1], [9] с.10-12, [10] 7-16, [11] с.49-60, с.71-74, [12].	1
3	<b>Класифікація моделей в залежності від складності об'єкта моделювання, параметрів та оператора.</b> Види математичних моделей та методологія. Структурні та функціональні моделі. Дискретні та неперервні моделі. Лінійні та нелінійні моделі. Лінеаризація. Лінійні рівняння і принцип суперпозиції. Поняття «простой моделі» з точки зору її формалізації. Детерміноване та стохастичне моделювання. Розмірність моделі. Література: [4], [8] с.11-25, [9] с.12-17, [10] с.17-34, : [4] с. 237-242, [13] с.6-11, [12] с.36-56, с.245-260.	1
4	<b>Класифікація математичних моделей в залежності від мети моделювання та методів реалізації.</b> Особливості моделі, одним з параметрів яких є час. Динамічні та статичні моделі. Дескриптивні та оптимізаційні моделі. Багатокритеріальні задачі оптимізації.. Поняття структурної моделі. Субмоделі (під-моделі). Література: [2], [8] с.202-270, [11] с.67-71, [12] с.36-56, с. 142-180.	1
5	<b>Етапи побудови фізичних та математичних моделей.</b> Визначальні чинники побудови математичної моделі. Методи математичного моделювання.. Методи реалізації моделі. Аналітичні методи. Чисельні методи. Графічні методи Використання інформаційних технологій. Стандартні моделі. Література: [10] с.35-45, с.78-92, [14] с.225-235, [11] с. 94-102, 154-162, [12] с.56-86.	1
6	<b>Постановка дослідження і вирішення обчислювальних задач.</b> Постановка задачі математичного моделювання. Формалізація	1

	<p>математичної моделі. Обчислювальний експеримент. Перевірка адекватності. Аналіз результатів моделювання. Фізичні парадокси при моделювання. Причини їх виникнення.</p> <p>Література: [1-3], [10] с.104-140, [13] с.12-36, [11] с.38-42, с.88-112, [12] с.245-260.</p>	
7	<p><b>Моделювання руху дисперсій в неперервному середовищі.</b></p> <p>Вплив масових сил та прискорення потоку на відносну швидкість руху дисперсій. Вплив густини дисперсної та суцільної фази. Рівняння руху дисперсних частинок у неперервному середовищі. Основні напрями застосування математичної моделі.</p> <p>Література:[14] с.149-162, [13] с. 176-181, с.213-215, 224-226.</p>	1
8	<p><b>Визначення поняття суцільного середовища.</b></p> <p>Поняття континууму. Проблеми дослідження стану суцільних середовищ. Методи моделювання стану суцільних середовищ. Основні гіпотези механіки суцільних середовищ Базові рівняння механіки суцільних середовища. Рівняння стану. Рівняння нерозривності. Рівняння переносу кількості руху, енергії та маси. Фізичне обґрунтування рівнянь.</p> <p>Література: [2] с.10-26, с.102-116 [6] с.20, с.60-66, [9] с.25-30, [13] с. 38-59.</p>	1
9	<p><b>Математичне моделювання на основі фундаментальних законів природи.</b></p> <p>Класифікація механізмів переносу. Закон Фіка і дифузія. Закон Фур'є і теплопровідність. Закон Ньютона і в'язке тертя.</p> <p>Виведення локальних рівнянь балансу з інтегральних законів збереження. Запис рівнянь балансу в представленні Ейлера та Лагранжа.</p> <p>Література: [1] с.11-15, 58-82, [2] 66-86, [3] с. 17-55, [6] с.199-230.</p>	1
10	<p><b>Диференціальне рівняння нерозривності.</b></p> <p>Збереження маси речовини. с. 58-65. Диференціальний оператор. Градієнт скалярної функції. Потік величини. Дивергенція векторного поля. Ротор векторного поля. Повна похідна. Частинна похідна. Субстанціональна похідна. Рівняння нерозривності для стисливої та нестисливої рідини.</p> <p>Література: [6] с. 66-70, [8] с. 58-65, [9] с.55-60, [13] с.38-62, [4] с.48-50.</p>	1
11	<p><b>Диференціальне рівняння руху рідини або рівняння імпульсу.</b></p> <p>Закон збереження імпульсу. Рівняння Нав'є-Стокса. Перенос кількості руху в елементарній зоні, в елементарній комірці. Форми запису диференціального рівняння руху. Рівняння руху в декартовій, циліндричній, сферичній системі координат.</p> <p>Література: [1], [3] с. 52-64, [7] с. 585-630. [8] с. 93-95, [6] с.94-110, [9] с.17-30, [14] с.148-176,</p>	1
12	<p><b>Диференціальне рівняння збереження енергії.</b></p> <p>Закон збереження енергії. Рівняння Лапласа. Виведення рівняння теплопровідності. Рух твердих, рідких та газоподібних тіл з фазовими перетвореннями. Базові та стандартні рівняння теплопровідності в декартовій, циліндричній та сферичній системі координат.</p> <p>Література: [8] с. 66-76, [9] с.25, [14] с.225-365, [13] с. 138-180, [3] с. 110-1680</p>	1
13	<p><b>Процедура розв'язування диференціальних рівнянь.</b></p> <p>Умови однозначності. Начальні та граничні умови. Комп'ютерна реалізація математичних моделей систем. Інформаційні системи та комп'ютерні програми моделювання технічних систем. Сучасні пакети прикладних програм</p>	1

	<i>Література: [2,5], [8] с.70-78, [10] с. 164-174, [11] с.130-142, [10].</i>	
	<b>Всього годин</b>	<b>13</b>

### **Практичні заняття.**

При вивченні кредитного модуля практичним заняттям відводиться 2/3 аудиторного навантаження. Практичне заняття по окремій темі даної дисципліни спрямовано на закріплення викладеного на лекції матеріалу шляхом розгляду конкретних прикладів, вправ та задач по даній темі. Це дає можливість аспірантам систематизувати і поглибити теоретичні знання стосовно сучасних методів розробки математичної моделі, перевірки її достовірності та адекватності, методам модифікації моделі при необхідності її удосконалення або спрощення. При цьому акцентується увага на тісний взаємозв'язок між методами натурного моделювання на лабораторних стендах і математичного моделювання при проведенні комплексного наукового дослідження. На практичних заняттях при вирішенні прикладних задач аспіранти оволодівають навичками складати систему диференціальних рівнянь моделі з крайовими умовами та вирішувати їх аналітичними методами або чисельними методами із застосуванням сучасних пакетів прикладних програм. Практичне заняття проводиться в діалоговому режимі з проведенням навчальних дискусій. В процесі заняття проводиться контрольне опитування слухачів по матеріалам попередніх лекцій, знайомству їх з літературними джерелами по тематиці дисципліни.

<b>№ з/п</b>	<b>Назва теми практичного заняття, перелік основних питань, посилання на літературу.</b>	<b>Годин</b>
<b>1</b>	<b>Фізичне та математичне моделювання. Об'єкт дослідження. Математична постановка задачі моделювання</b> Визначення об'єкту дослідження. Визначення математичної моделі. Мета моделювання. Базові припущення. Властивості моделей. Література: [6] с.13-20, [10] с.7-16, [11] с.38-49, [12] с.11-21.	<b>2</b>
<b>2</b>	<b>Вміння створювати фізичні моделі та математичні моделі. Вимоги до моделі.</b> Повнота і простота моделі. Адекватність моделі. Область застосування та границі достовірності. Доступність спілкування і управління моделлю. Модифікація моделі. Література: [9] с.10-12, [10] 7-16, [2] с.49-60, с.71-74, [12].	<b>2</b>
<b>3</b>	<b>Види математичних моделей та методологія.</b> Приклади детермінованих та стохастичних моделей. Розмірність моделі. Метод подібності і аналізу розмірності при побудові фізичної та математичної моделі. Література: [1] с.11-25, [8] с.36-56, с.245-260.	<b>2</b>
<b>4</b>	<b>Реалізація математичної моделі у вигляді програми для комп'ютера.</b> Динамічні та статичні моделі. Дескриптивні та оптимізаційні моделі. Методи реалізації моделі. Аналітичні та чисельні методи. Графічні методи. Поняття структурної моделі. Субмоделі. Література: [5], [8] с.202-270, [11] с.67-71, [12] с.36-56, с. 142-180.	<b>2</b>
<b>5</b>	<b>Концептуальна та математична постановка задачі моделювання.</b> Визначальні чинники побудови математичної моделі. Методи математичного моделювання. Використання інформаційних технологій. Стандартні моделі. Література: [3,4], [10] с.35-45, с.78-92, [14] с.225-235, [11] с. 94-102, 154-162, [12] с.56-86.	<b>2</b>
<b>6</b>	<b>Постановка дослідження і вирішення обчислювальних задач.</b>	<b>2</b>

	<p>Постановка задачі математичного моделювання. Формалізація математичної моделі. Обчислювальний експеримент. Перевірка адекватності. Аналіз результатів моделювання. Фізичні парадокси при моделювання.</p> <p>Література: [3], [50], [10] с.104-140, [13] с.12-36, [11] с.38-42, с.88-112, [12] с.245-260.</p>	
7	<p><b>Моделювання руху дисперсій в неперервному середовищі.</b></p> <p>Виведення загального рівняння руху дисперсних частинок у неперервному середовищі. Основні напрями застосування математичної моделі. Рух газових, рідких, твердих дисперсій в гравітаційному полі, в центрифугах. Швидкість витання.</p> <p>Література [3] с. 176-181, с.213-226 [11] с.94,:[14] с.149-162,.</p>	2
8	<p><b>Методи моделювання стану суцільних середовищ.</b></p> <p>Базові рівняння механіки суцільних середовища. Фізичне обґрунтування рівнянь. Рівняння стану. Рівняння нерозривності. Рівняння переносу кількості руху, енергії та маси.</p> <p>Література: [2], [4], [6] с.20, с.60-66, [9] с.25-30, [13] с. 38-59.</p>	2
9	<p><b>Математичне моделювання на основі фундаментальних законів природи.</b></p> <p>Класифікація механізмів переносу. Закон Фіка і дифузія. Закон Фур'є і теплопровідність. Закон Ньютона і в'язке тертя.</p> <p>Виведення локальних рівнянь балансу з інтегральних законів збереження. Запис рівнянь балансу в представленні Ейлера та Лагранжа.</p> <p>Література: [6] 66-86, [8] с.11-15, 58-82, [9] с.17-55, [13] с.199-230.</p>	2
10	<p><b>Диференціальне рівняння нерозривності.</b></p> <p>Збереження маси речовини. Диференціальний оператор. Градієнт скалярної функції. Повна похідна. Частинна похідна. Субстанціональна похідна. Рівняння нерозривності для стисливої та нестисливої рідини.</p> <p>Література: [6] с. 66-70, [7], [8] с. 58-65, [9] с.55-60, [13] с.38-62,</p>	2
11	<p><b>Диференціальне рівняння руху рідини або рівняння імпульсу</b></p> <p>Закон збереження імпульсу. Рівняння Нав'є-Стокса. Перенос кількості руху в елементарній зоні, в елементарній комірці. Форми запису диференціального рівняння руху. Рівняння руху в декартовій, циліндричній, сферичній системі координат.</p> <p>Література: [8] с. 93-95, [6] с.94-110, [9] с.17-30, [14] с.148-176, [10] с. 52-64, [7] с. 52-64,</p>	2
12	<p><b>Диференціальне рівняння збереження енергії.</b></p> <p>Закон збереження енергії. Рівняння Лапласа. Виведення рівняння теплопровідності. Базові та стандартні рівняння теплопровідності в декартовій, циліндричній та сферичній системі координат. Рух твердих, рідких та газоподібних тіл з фазовими перетвореннями. Рівняння теплопровідності для нерухомого твердого тіла. Рівняння переносу теплоти в потоці нестисливої рідини. Рівняння переносу теплоти в потоці з врахуванням в'язкої дисипації.</p> <p>Література: [8] с. 66-76, [9] с.25, [14] с.225-365, [13] с. 138-180, [7] с. 260-310</p>	2
13	<p><b>Процедура розв'язування диференціальних рівнянь.</b></p> <p>Умови однозначності. Начальні та граничні умови. Комп'ютерна реалізація математичних моделей систем. Інформаційні системи та комп'ютерні програми моделювання технічних систем. Сучасні пакети прикладних програм</p>	2



	<i>Література: [5], [7], [8] с.70-78, [10] с. 164-174, [11] с.130-142,.</i>	
	<b>Всього годин</b>	<b>26</b>

### **6. Самостійна робота студента/аспіранта**

При викладенні навчальної дисципліни «Моделювання стану суцільного середовища» самостійна робота аспіранта займає 75% відсотків часу вивчення кредитного модуля, враховуючи підготовку до екзамену. Самостійна робота аспірантів включає підготовку до аудиторних занять, виконання двох індивідуальних завдань у вигляді рефератів та опрацювання розділів програми і тем, які не увійшли у перелік лекційних питань або потребують більш детального вивчення. Опанування знань по цим темам проводиться шляхом докладного ознайомлення з відповідними розділами рекомендованої базової та додаткової літератури та самостійного науково-інформаційного пошуку за власною ініціативою. Підготовка аспіранта до наступних аудиторних занять передбачає освоєння їм в процесі самостійної роботи матеріалу попередніх лекцій.

<b>№ з/п</b>	<b>Вид роботи та назви тем, що виносяться на самостійне опрацювання</b>	<b>Кількість годин</b>
<b>1</b>	<b>Підготовка до аудиторних занять.</b>	<b>40</b>
<b>2</b>	<b>Виконання індивідуальних практичних завдань по темі модуля.</b>	<b>12</b>
<b>Опрацювання розділів програми і тем, які не викладаються на лекціях.</b>		
<b>3</b>	<b>Розділ 1 Основи фізичного та математичного моделювання.</b> Основні поняття математичного моделювання. <i>Література [3], [8] с.11-25, [7] Ч.1, [12], [14] с.7-38,</i>	<b>3</b>
<b>4</b>	<b>Розділ 2. Класифікація математичних моделей.</b> Лінійні та нелінійні моделі. Лінійні рівняння та принцип суперпозиції. <i>Література [4], [12] с.245-310,</i>	<b>6</b>
<b>5</b>	<b>Розділ 3. Застосування методів математичного моделювання при проведенні наукових досліджень.</b> Побудова математичної моделі і обчислювальний експеримент. Приклади математичних моделей у фізиці, хімії, біології <i>Література [1], [7], [8], [14] с.38-81.</i>	<b>4</b>
<b>6</b>	<b>Розділ 4. Математичні моделі суцільного середовища</b> Закони збереження в фізиці суцільних середовищ. Рівняння руху, варіаційні принципи та закони збереження. Запис рівнянь балансу в представленні Ейлера та Лагранжа. <i>Література [8] с.93-105, [6] с. 20-30, с. 66-71, [7] Т.1, с. 279-300</i>	<b>4</b>
<b>7</b>	<b>Розділ 5. Методи виведення базових рівнянь моделі суцільного середовища</b> Моделювання гідромеханічних процесів <i>Література [14] с.148-176</i> Моделювання теплообмінних процесів <i>Література [14] с. 178-220</i> Моделювання процесів масообміну <i>Література[14] с. 225-365</i>	<b>6</b>
<b>8</b>	<b>Чисельні методи вирішення рівнянь механіки рідини та теплообміну.</b> Застосування методу кінцевих різниць для вирішення модельних рівнянь. <i>Література [7] Ч.1.</i> Сучасні пакети прикладних програм <i>Література [11] с.130-150. [10].</i>	<b>6</b>
<b>9</b>	<b>Підготовка до екзамену</b>	
<b>Всього годин</b>		<b>81</b>

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

**Правила відвідування лекцій та практичних занять;**

Відвідування лекційних та практичних занять є обов'язковою складовою вивчення матеріалу. На лекції викладач користується власним презентаційним матеріалом. Аспіранти зобов'язані брати активну участь в навчальному процесі, не спізнюватися на заняття та не пропускати їх без поважної причини, не відволікатися на дії, що не пов'язані з навчальним процесом.

Виконане у визначений термін індивідуальне практичне завдання аспірант представляє у формі реферату з презентацією у вигляді короткої доповіді.

**Політика дедлайнів, перекладань та правила заохочування;**

Пропущені заняття необхідно відпрацювати. Аспірант самостійно підготовлює конспект пропущеної лекції або практичного заняття, відповідає на контрольні запитання викладачу по матеріалам теми пропущеного заняття. Індивідуальні практичні завдання слід виконувати акуратно і в точно визначений термін. Виконання цих вимог забезпечує підвищення рейтингової оцінки результатів освоєння навчальної дисципліни.

**Політика щодо академічної доброчесності;**

Політика навчальної дисципліни будується з урахуванням норм законодавства України щодо академічної доброчесності, Кодексу честі НТТУ «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського та визначається системою вимог, які викладач пред'являє до студента при вивченні дисципліни (правила поведінки на заняттях, пропуски, перездачі тощо).

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

Розподіл навчального часу за видами занять і завдань з дисципліни згідно з робочим навчальним планом:

Навчальний час		Розподіл навчальних годин				Контрольні заходи		
Кредити	акад. год.	Лекції	Практичні	Лаб. роб.	СРС	МКР	РР	Семестровий контроль
4	120	13	26	-	81	-	-	екзамен

Контроль знань аспірантів проводиться за допомогою співбесіди під час практичних занять, результатів виконання індивідуальних практичних завдань, а на екзамені – за допомогою білетів.

Під час оцінювання враховується таке:

1. Відвідування лекцій та практичних занять, плідність роботи під час аудиторних занять.
2. Вчасне і акуратне виконання контрольних практичних завдань для самостійної роботи.
3. Вивчення базової та допоміжної літератури.

1. Рейтинг аспіранта з кредитного модуля складається з балів, що він отримує за роботу на аудиторних заняттях (13 годин лекцій та 26 годин практичних занять), за виконання двох індивідуальних практичних завдань по темі модуля та за результатами семестрового контролю – екзамену.

2. Критерії нарахування балів:

2.1. Робота на аудиторних заняттях:

- плідна робота – 1 бал;
- пасивна робота або відсутність на занятті – 0 балів.

Максимальна кількість балів за роботу під час аудиторних занять -39.

2.2. Критерії оцінювання виконання одного індивідуального практичного завдання

<b>Повнота та своєчасність виконання завдання</b>	<b>Бали</b>
Повне виконання, належне оформлення	<b>8</b>

<i>роботи, подання у визначений термін</i>	
<i>Роботу виконано своєчасно, але є певні недоліки у виконанні роботи</i>	6
<i>Роботу виконано своєчасно, але із суттєвими недоліками</i>	2-3
<i>Роботу представлено пізніше визначеного терміну</i>	4
<i>Роботу виконано несвоєчасно з певними недоліками</i>	3
<i>Роботу виконано несвоєчасно із суттєвими недоліками</i>	1
<i>Роботу не виконано</i>	0

Максимальна кількість балів за бездоганне виконання обох практичних завдань – 16.

За 13 тижнів навчання за результатами навчальної роботи і виконання двох практичних завдань максимальна кількість балів, яку може набрати аспірант, складає 55 балів

### 2.3. Складання екзаменаційних іспитів

В екзаменаційному білеті містяться три запитання, відповідь на кожне з яких оцінюється за такими рейтинговими балами:

Критерії оцінювання відповіді на кожне питання екзаменаційного білета

<b>Повнота відповіді на кожне питання екзаменаційного білета</b>	<b>Бали</b>
<i>Відмінно</i>	15
<i>Дуже добре</i>	13-14
<i>Добре</i>	10-12
<i>Задовільно</i>	7-9
<i>Достатньо</i>	6-7
<i>Незадовільно</i>	<5
<i>Не допущено до екзамену</i>	0

Максимальна кількість балів, яку може одержати аспірант в результаті успішного складання екзамену дорівнює 45 балам.

Згідно рейтингової шкали (R), максимальна сума балів дорівнює 100.

Необхідною умовою допуску до екзамену є рейтинг, що складає не менше 30% від рейтингової шкали (R), тобто 30 балів.

Розподіл рейтингових балів, які отримують аспіранти після вивчення кредитного модуля та складання іспитів.

<b>Змістовий модуль</b>	<b>Сума балів</b>
<i>Лекції</i>	13
<i>Практичні заняття</i>	26
<i>Виконання практичних завдань</i>	16
<b>Семестровий контроль</b>	
<i>Екзамен</i>	45
<b>Разом:</b>	<b>100</b>

Порядок зарахування пропущених лекцій та практичних занять: аспірант самостійно підготовлює конспект пропущеної лекції та/або практичного заняття, відповідає на контрольні запитання викладачу.

Сума рейтингових балів, отриманих аспірантом після освоєння дисципліни та складання екзамену, переводиться до підсумкової оцінки згідно з таблицею:

<b>Кількість балів</b>	<b>Оцінка</b>
95...100	відмінно
85...94	дуже добре

75...84	добре
65...74	задовільно
60...64	достатньо
< 60	незадовільно
Не виконані умови допуску	не допущено

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

### Попередній перелік питань, що виносяться на семестровий контроль.

1. Пояснити, що ми називаємо об'єктом дослідження. Розглянути суть фізичної та математичної моделі об'єкту дослідження та їх взаємозв'язок.
2. Пояснити принципи побудови фізичної та математичної моделі відносного руху дисперсій в неперервному середовищі.
3. Пояснити різницю між концептуальною і математичною постановкою задачі моделювання
4. Розглянути основні методи моделювання Форма и принципи представлення математичних моделей.
5. Проаналізувати особливості побудови математичних моделей. Перерахувати основні етапи створення моделі
6. Проаналізувати основні етапи створення математичної моделі для проведення наукових досліджень.
7. Пояснити взаємозв'язок між постановкою задачі дослідження та побудовою відповідної математичної моделі.
8. Проаналізувати етапи побудови математичної моделі. Розглянути базові принципи формалізація математичної моделі, як процес відображення множини змінних вхідних параметрів у множину вихідних параметри об'єкта дослідження.
9. Пояснити на конкретних прикладах, яку функцію виконує множина операторів  $\bar{F}$  при формалізації моделі.
10. Пояснити, що розуміється під поняттям математичне моделювання. Розглянути основні етапи математичного моделювання із застосуванням комп'ютера при проведенні наукового дослідження.
11. Пояснити принципи побудови математичної моделі. Проаналізувати множини елементів математичної моделі – змінні вхідні  $\bar{x}$  та вихідні параметри  $\bar{y}$ , незмінні внутрішні  $\bar{U}_{ext}$  та зовнішні  $\bar{U}_{int}$  параметри. Показати, в якій формі ці елементи входять в рівняння математичної моделі.
12. Проаналізувати особливості застосування натурального та математичного моделювання при проведенні наукових досліджень. Пояснити що спільного і яка принципова відмінність між цими методами моделювання.
13. Перерахувати основні переваги математичного моделювання при проведенні наукових досліджень або інженерного проектування. Пояснити поняття натурального та математичного моделювання
14. Обґрунтувати принцип поєднання та взаємо доповнення натурних (експериментальних) методів дослідження та методів математичного моделювання. Показати доцільність сумісного застосування обох методів моделювання при проведенні досліджень.
15. Пояснити принципову відміну відображення вхідних параметрів об'єкта у вихідні параметри, яке представлено в натурних і в математичних моделях. В чому, з цієї точки зору, полягає перевага математичних моделей і яку роль відіграє оператор  $\bar{F}$ .
16. Пояснити висловлювання, що метою моделювання є визначення структури оператора  $\bar{F}$ . В якому вигляді і в якій формі множина операторів  $\bar{F}$  застосовується в математичних моделях.

17. Проаналізувати основні вимоги, які висуваються при побудові математичної моделі. Повнота та простота моделі. Компроміс між повнотою і простотою моделі.
18. Розглянути принципи побудова простих та складних моделей в залежності від складності об'єкта дослідження. Пояснити різницю понять простоти моделі не відносно складності моделі, а відносно форми оператора  $\bar{F}$ .
19. Охарактеризувати область застосування моделі, межі достовірності моделі, адекватність моделі; можливість модифікації моделі.
20. Обґрунтувати необхідність створення субмоделей (під моделей) в якості складових базової моделі об'єкта дослідження.
21. Навести основні чинники, по яким проводиться класифікація моделей. Пояснити необхідність та доцільність класифікації математичних моделей
22. Розглянути основні різновиди моделей. Статичні та динамічні моделі. Детерміновані та стохастичні моделі.
23. Класифікація моделей в залежності від їх вхідних параметрів. В чому полягає розподіл математичних моделей по розмірності (1-D, 2-D, 3-D моделі). Розглянути умови доцільності зменшення розмірності моделі
24. Пояснити, в чому полягає метод подібності і аналізу розмірності при побудові фізичної та математичної моделі.
25. Пояснити різницю між стаціонарними та динамічними процесами з точки зору тривалості переходу системи до нового рівноважного стану. Умови застосування динамічних та статичних моделей
26. Проаналізувати методи моделювання динамічних та стаціонарних процесів. Назвати особливості моделювання квазістаціонарних процесів.
27. Навести приклади лінійних та нелінійних моделей. Розглянути метод лінеаризація. Пояснити визначення лінійного рівняння і принципу суперпозиції.
28. Проаналізувати чисельні методи вирішення нелінійних рівнянь.
29. Обґрунтувати існуючі підходи до класифікації математичних моделей в залежності від мети моделювання. Мета застосування дескриптивних та оптимізаційних моделей.
30. Навести приклади застосування оптимізаційних моделей для вирішення задач оптимізації по одному чи декільком критеріям.
31. Визначити поняття суцільного середовища. Пояснити можливість в рамках механіки суцільного середовища моделювати гідромеханічні процеси та процеси масообміну в дисперсних середовищах, процеси екстрагування, емульгування, сорбції та інші.
32. Проаналізувати загальні умови, за якими речовину, яка має дискретну молекулярну структуру, а також гетерогенні суміші можна розглядати як рідинне середовище.
33. Пояснити, за яких умов можна описувати процеси теплопереносу, розповсюдження звукових, ультразвукових, електромагнітних хвиль в речовині із застосуванням відповідних рівнянь для суцільного середовища.
34. Проаналізувати базові рівняння математичної моделі суцільного середовища. Пояснити необхідність застосування в системі рівнянь математичної моделі рівняння стану та рівняння нерозривності.
35. Визначити поняття суцільного середовища. Пояснити можливість в рамках механіки суцільного середовища моделювати гідромеханічні процеси та процеси масообміну в дисперсних середовищах, процеси екстрагування, емульгування, сорбції та інші.
36. Проаналізувати рівняння нерозривності для нестисливої рідини у формі диференціального та векторного рівнянь. Що таке субстанціональна похідна по часу?
37. Навести оператор субстанціональної похідної. Як виглядає субстанціональна похідна по часу при часу в рівняннях, які описують стаціонарні або нестаціонарні процеси течії рідини в каналах?
38. Показати необхідність застосування комп'ютерного моделювання при вирішення нелінійних рівнянь. Пояснити поняття динамічної системи.

39. Проаналізувати методи знаходження наближених значень інтегралів. Застосування чисельних методів вирішення диференціальних рівнянь.

40. Пояснити, на основі яких базових законів природи побудовані рівняння переносу кількості руху, рівняння енергій (переносу теплоти) та рівняння переносу маси.

41. Проаналізувати складові рівняння Нав'є-Стокса при моделюванні стаціонарної і нестаціонарної одномірної течії рідини в циліндричних каналах.

42. Пояснити загальні принципи виведення рівняння Нав'є-Стокса шляхом застосування стандартного методу опису елементарних потоків через поверхні елементарного кубічного об'єму в трьох напрямках.

43. Показати, що при використанні методу елементарного куба для виведення рівняння руху достатньо застосувати базові рівняння другого закону Ньютона та рівняння в'язкості Ньютона в одномірному вигляді.

44. Проаналізувати можливість виведення одномірного рівняння Нав'є-Стокса, наприклад, в напрямку  $x$ , якщо розглянути перенесення кількості руху лише через дві протилежні поверхні  $ABCD$  та  $A'B'C'D'$ ,

45. Розглянути основні принципи виведення рівняння теплопровідності методом балансу теплових потоків через грані елементарного куба. Навести загальне рівняння теплопровідності.

46. Проаналізувати складові рівняння переносу теплоти в суцільному середовищі у векторному вигляді із застосуванням оператора Лапласа. Навести стандартне одномірне рівняння

48. Обґрунтувати рівняння переносу теплоти в потоці рідини з врахуванням в'язкої дисипації. Навести відповідне рівняння переносу тепла.

49. Пояснити поняття дисипативної функції? Написати співвідношення для дисипативної функції для одномірного рівняння теплопровідності

50. Розглянути особливості застосування рівняння теплопровідності в твердому тілі та в конвективних потоках нестисливої рідини.

51. Пояснити процедура розв'язування диференціальних задач переносу. Проаналізувати основні умови однозначності, граничні умови для рівнянь переносу тепла в суцільному середовищі.

52. Аналітичні та чисельні методи вирішення рівнянь математичної моделі. Розглянути переваги одержання рішення рівнянь моделі в аналітичному вигляді.

53. Вивести рівняння відносного руху дисперсій в суцільному рідинному середовищі при наявності відцентрових сил.

54. Проаналізувати складові рівняння відносного руху газових дисперсій (бульбашок) при моделюванні процесів виробництва біогазу.

55. Проаналізувати рівняння відносного руху дисперсій в газових потоках.

56. Проаналізувати рівняння відносного руху дисперсій в суцільному середовищі в системі «рідина-рідина».

57. Навести та проаналізувати базове рівняння руху дисперсних частинок у неперервному середовищі.

58. Основні напрями застосування математичної моделі відносного руху дисперсій в суцільному середовищі.

59. Проаналізувати складові рівняння переносу теплоти в суцільному середовищі у векторному вигляді із застосуванням оператора Лапласа. Навести стандартне одномірне рівняння

60. Обґрунтувати необхідність застосування рівняння стану в математичних моделях суцільного середовища.

61. Пояснити застосування стандартної процедури розв'язання системи диференціальних рівнянь в математичних моделі. Проаналізувати основні умови однозначності, граничні умови для рівнянь теплопереносу.

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

**Складено** посада, науковий ступінь, вчене звання, ПІБ

**Ухвалено** кафедрою \_\_\_\_\_ (протокол № \_\_\_ від \_\_\_\_\_)

**Погоджено** Методичною комісією факультету<sup>1</sup> (протокол № \_\_\_ від \_\_\_\_\_)

---

<sup>1</sup> Методичною радою університету – для загальноуніверситетських дисциплін.