



Освітній компонент Ф-Каталогу. Прикладні проблеми механіки суцільних середовищ

Робоча програма навчальної дисципліни (Силабус)

Реквізити навчальної дисципліни

Рівень вищої освіти	<i>Другий (магістерський)</i>
Галузь знань	<i>13 Механічна інженерія</i>
Спеціальність	<i>131 Прикладна механіка</i>
Освітня програма	<i>ОНП Інжиніринг пакування та пакувального обладнання Engineering of packaging products, processes and equipment</i>
Статус дисципліни	<i>вибіркова</i>
Форма навчання	<i>очна(денна)/дистанційна/змішана</i>
Рік підготовки, семестр	<i>1 курс, осінній семестр</i>
Обсяг дисципліни	<i>5 кредитів ЄКТС, 150 год.</i>
Семестровий контроль/ контрольні заходи	<i>Екзамен, МКР</i>
Розклад занять	<i>4 години на тиждень (2 година лекційних, 1 година практичних занять та 1 година лабораторних занять)</i>
Мова викладання	<i>Українська</i>
Інформація про керівника курсу / викладачів	<i>Лектор: https://cpsm.kpi.ua/karvatskij-anton-yanovich.html Практичні: https://cpsm.kpi.ua/karvatskij-anton-yanovich.html Лабораторні: https://cpsm.kpi.ua/karvatskij-anton-yanovich.html</i>
Розміщення курсу	<i>Посилання на дистанційний ресурс Google classroom,</i>

Програма навчальної дисципліни

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

Дисципліна «Освітній компонент Ф-Каталог. Прикладні проблеми механіки суцільних середовищ (МСС)» є найважливішою ланкою, яка логічно об'єднує розрізнені знання, здобуті студентами під час вивчення окремих дисциплін, в єдину систему знань, що забезпечує високу якість виконання наукових та прикладних проектно-конструкторських розробок, носить теоретично-практичне спрямування при навчанні фахівців, що спеціалізуються в галузі прикладної механіки.

Предмет навчальної дисципліни «Прикладні проблеми механіки суцільних середовищ» – методи дослідження напружено-деформованого стану твердих, рідких та газоподібних тіл при їх взаємодії між собою та фізичними полями різної фізичної природи – гравітаційними, тепловими, електромагнітними, променевими тощо.

Мета навчальної дисципліни «Прикладні проблеми механіки суцільних середовищ»

Метою навчальної дисципліни є посилення процесу формування комплексу знань студентами щодо теоретичних основ та практичних навичок виконання досліджень напружено-деформованого стану твердих, рідких та газоподібних тіл при їх взаємодії між собою та фізичними полями різної фізичної природи – гравітаційними, тепловими, електромагнітними, променевими тощо.

Відповідно до мети підготовка магістрів за даною спеціальністю вимагає посилення формування таких компетентностей:

Інтегральну компетентність:

- Здатність розв'язувати складні задачі і проблеми у прикладній механіці або у процесі навчання, що передбачає проведення досліджень та/або здійснення інновацій та характеризується невизначеністю умов і вимог.

Загальні компетентності:

- Здатність виявляти, ставити та вирішувати інженерно-технічні та науково-прикладні проблеми (ЗК 1);
- Здатність використовувати інформаційні та комунікаційні технології (ЗК 2);
- Здатність генерувати нові ідеї (креативність) (ЗК 3);
- Здатність вчитися і оволодівати сучасними знаннями (ЗК 6).

Фахові компетентності:

- Здатність застосовувати відповідні методи і ресурси сучасної інженерії для знаходження оптимальних рішень широкого кола інженерних задач із застосуванням сучасних підходів, методів прогнозування, інформаційних технологій та з урахуванням наявних обмежень за умов неповної інформації та суперечливих вимог (ФК 1);
- Здатність описати, класифікувати та змодельовувати широке коло технічних об'єктів та процесів, що ґрунтується на глибокому знанні та розумінні теорій та практик механічної інженерії, а також знаннях суміжних наук (ФК 2);
- Здатність планувати і виконувати експериментальні й теоретичні дослідження з прикладної механіки та дотичних міждисциплінарних проблем, опрацьовувати і узагальнювати результати досліджень (ФК 5);
- Здатність застосовувати фундаментальні та прикладні знання та вміння в галузі інноваційних технологій машинобудування (ФК 7);
- Здатність застосовувати відповідні математичні, наукові і технічні методи, інформаційні технології та прикладне комп'ютерне програмне забезпечення для вирішення інженерних і наукових завдань з прикладної механіки (ФК 8);
- Здатність критичного аналізу та прогнозування параметрів працездатності нових та існуючих механічних конструкцій, машин, матеріалів і виробничих процесів машинобудування на основі знання та використання сучасних аналітичних та/або комп'ютеризованих методів і методик (ФК 9).

Згідно з вимогами програми навчальної дисципліни «Механіка суцільних середовищ», студенти після її засвоєння мають продемонструвати такі посилені **програмні результати навчання:**

- Застосовувати спеціалізовані концептуальні знання новітніх методів та методик проектування, аналізу і дослідження конструкцій, машин та/або процесів в галузі машинобудування та суміжних галузях знань (РН 1);
- Застосовувати фундаментальні та прикладні знання та вміння в галузі інноваційних технологій машинобудування (РН 14);

- Планувати і виконувати експериментальні і теоретичні дослідження у сфері прикладної механіки, аналізувати їх результати, обґрунтовувати висновки (РН 15);
- Оптимізувати технічні рішення на етапі проектування та експлуатації виробів та обладнання за допомогою сучасних розрахункових алгоритмів та спеціалізованих програмних комплексів (РН 16).

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

Для опанування дисципліни необхідне попереднє успішне оволодіння знаннями та уміннями, набутими при вивченні дисциплін освітнього рівня бакалавр. Результати вивчення дисципліни є корисними для подальшого дослідження за програмою магістерської дисертації.

3. Зміст навчальної дисципліни

Розділ 1. Математичні моделі побудовані на ейлеревій системі відліку

Тема 1.1. Моделі турбулентності.

Тема 1.2. Моделі течії реагуючих середовищ.

Тема 1.3. Приклади використання моделей турбулентності та течії реагуючих середовищ.

Розділ 2. Математичні моделі побудовані на лагранжовій системі відліку

Тема 2.1. Моделі статички, динаміки і теплообміну сипких матеріалів.

Тема 2.2. Приклади використання моделей статички, динаміки й теплообміну сипких матеріалів.

Розділ 3. Математичні моделі побудовані на континуально-дискретному наближенні

Тема 3.1. Моделі неізотермічної двофазної течії (газ – краплі рідини або рідина – тверді частинки).

Тема 3.2. Моделі газифікації твердого палива.

Тема 3.3. Приклади використання континуально-дискретних моделей.

4. Навчальні матеріали та ресурси

Базова література

1. Карвацький А. Я. Механіка суцільних середовищ. Теоретичні основи навчальної дисципліни [Електронний ресурс]: навч. посіб. для студ. спеціальностей 131 «Прикладна механіка», 133 «Галузеве машинобудування», спеціалізації «Інжиніринг, комп'ютерне моделювання та проектування обладнання пакування», «Інжиніринг, комп'ютерне моделювання та проектування обладнання виробництв полімерних і будівельних матеріалів і виробів». Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2018. 290 с. <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/23917>

2. Моделювання статички і динаміки сипких матеріалів у LIGGGHTS [Електронний ресурс]: навч. посіб. для здобувачів ступеня магістра за спеціальностями 131 Прикладна механіка, 133 Галузеве машинобудування / А. Я. Карвацький, І. О. Мікульонок, В. М. Витвицький; КПІ ім. Ігоря Сікорського. Електронні текстові дані (1 файл: 4,16 Мбайт). Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2021. 76 с. <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/45613>

3. Карвацький А. Я. Механіка суцільних середовищ – 2. Нелінійні задачі механіки суцільних середовищ. Практикум з навчальної дисципліни [Електронний ресурс]: навч. посіб. для студ. спеціальності 133 «Галузеве машинобудування», спеціалізації «Інжиніринг, комп'ютерне моделювання та проектування обладнання виробництв полімерних і будівельних матеріалів і виробів». Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2018. 390 с. <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/23918>

4. Карвацький А. Я. Метод скінченних елементів у задачах механіки суцільних середовищ. Лабораторний практикум з навчальної дисципліни [Електронний ресурс]: навч. посіб. для студ. спеціальностей 131 «Прикладна механіка», 133 «Галузеве машинобудування», спеціалізації «Інжиніринг, комп'ютерне моделювання та проектування обладнання пакування», «Інжиніринг,

комп'ютерне моделювання та проектування обладнання виробництв полімерних і будівельних матеріалів і виробів». Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2018. 391 с. <http://ela.kpi.ua/handle/123456789/23916>

5. Карвацький А. Я. Нелінійні задачі механіки суцільних середовищ. Комп'ютерний практикум з навчальної дисципліни [Електронний ресурс]: навч. посіб. для студ. спеціальності 133 «Галузеве машинобудування», спеціалізації «Інжиніринг, комп'ютерне моделювання та проектування обладнання виробництв полімерних і будівельних матеріалів і виробів». Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019. 158 с. <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/27528>

6. Карвацький А. Я. Метод скінченних елементів у задачах механіки суцільних середовищ. Програмна реалізація та візуалізація результатів: навч. посіб. Київ : НТУУ «КПІ» ВПІ ВПК «Політехніка», 2015. 392 с. <http://ela.kpi.ua/handle/123456789/11636>

7. Карвацький А. Я. Сучасний стан проблеми теоретичного дослідження надзвукового обтікання тіл за різних конфігурацій / А. Я. Карвацький // Хімічна інженерія, екологія та ресурсозбереження. 2015. № 1(14). С. 5–12. : <http://chemengine.kpi.ua/article/view/52216/48089>

Додаткова література

1. Poinsoot T., Veynante D. *Theoretical and numerical combustion*. 2nd ed. Philadelphia : Edwards, 2005. 522 p.

2. Website: ANSYS Engineering Simulation & 3D Design Software ANSYS [Електронний ресурс]. URL : <https://www.ansys.com/>

3. Website: LIGGGHTS Open Source Discrete Element Method Particle Simulation Code. URL : <https://www.cfdem.com/>

4. Website: ParaView. An open-source, multi-platform data analysis and visualization application. URL: <https://www.paraview.org/>

5. Теоретичні та експериментальні дослідження теплоелектричного та механічного стану високотемпературних агрегатів: моногр. / А. Я. Карвацький, Є. М. Панов, С. В. Кутузов та ін. Київ : НТУУ «КПІ», 2012. 352 с. <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/4718>

6. Закономірності процесу високотемпературного оброблення сипучих вуглецевих матеріалів в електричних печах : монографія / Т. В. Лазарев, А. Я. Карвацький, Є. М. Панов, С. В. Лелека, А. Ю. Педченко. Київ : НТУУ «КПІ» Вид-во «Політехніка», 2016. 156 с. URL : <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/15217>

8. Дослідження взаємодії стрибок ущільнення – пограничний шар при надзвуковому обтіканні тривимірних конфігурацій / Є. М. Панов, А. Я. Карвацький, С. В. Лелека, Т. В. Лазарев, А. Ю. Педченко // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. 2015. № 5/4(77). С. 4–11. DOI: 10.15587/1729-4061.2015.50911, <http://journals.uran.ua/eejet/article/download/50911/47871>

9. Determination of parameters of the carbon-containing materials gasification process in the rotary kiln cooler drum / A. Karvatskii, T. Lazarev, S. Leleka, I. Mikulionok, O. Ivanenko // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2020. Vol. 106. No 4/8. P. 65–76. DOI: 10.15587/1729-4061.2020.210767 <http://journals.uran.ua/eejet/article/view/210767/210939>

10. Mathematical Modeling of Processes and Equipment for the Manufacture of Electrode Carbon Graphite Products / Serhii Leleka, Anton Karvatskii, Ihor Mikulionok, Victor Vytvytskyi & Olena Ivanenko // Design, Simulation, Manufacturing: The Innovation Exchange. DSMIE 2022: Advances in Design, Simulation and Manufacturing V. pp 424–434. https://doi.org/10.1007/978-3-031-06025-0_42

11. Evaluation of the Discrete Element Method for Predicting the Behavior of Granular Media Using Petroleum Coke as an Example / A. Ya. Karvatskii, T. V. Lazarev // Chemical and Petroleum Engineering. 2014. Vol. 50, Nos. 3–4. P. 186–192. <https://link.springer.com/article/10.1007/s10556-014-9877-y>

12. Determining efficient values for the thermophysical properties of bulk materials / Karvatskii A., Panov Ye., Vasylychenko G., Vytvytskyi V., Korolenko K. // EasternEuropean Journal of Enterprise Technologies. 2019. Vol. 2. No 5(98). P. 55–62. DOI: 10.15587/1729-4061.2019.164791 <http://journals.uran.ua/eejet/article/view/164791>

Інформаційні ресурси в Інтернеті

1. DSpace НТБ КПІ ім. Ігоря Сікорського, <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/23917>, <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/45613>, <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/23918>, <http://ela.kpi.ua/handle/123456789/23916>, <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/27528>, <http://ela.kpi.ua/handle/123456789/11636>
2. Website кафедри ХПСМ, <https://cpsm.kpi.ua/metodichni-rozrobki.html>
<https://cpsm.kpi.ua/Doc/MSS%20metod.vkaz.lab.pdf>, https://cpsm.kpi.ua/Doc/Metod_Pract_MSS.pdf
3. Кампус КПІ ім. Ігоря Сікорського, <http://login.kpi.ua/>
4. Платформа дистанційного навчання «Сікорський», <https://sikorsky-distance.kpi.ua/>

Навчальний контент

5. Методика опанування навчальної дисципліни (освітнього компонента)

Лекційні заняття

Лекційні заняття спрямовані на:

- надання сучасних, цілісних, взаємозалежних знань з дисципліни «Прикладні проблеми механіки суцільних середовищ», рівень яких визначається цільовою установкою до кожної конкретної теми;
- забезпечення в процесі лекції творчої роботи студентів спільно з викладачем;
- виховання у студентів професійно-ділових якостей і розвиток у них самостійного творчого мислення;
- формування у студентів необхідного інтересу та надання напрямку для самостійної роботи;
- визначення на сучасному рівні розвитку науки в області сучасних методів механіки суцільних середовищ;
- відображення методичної обробки матеріалу (виділення головних положень, висновків, рекомендацій, чітке і адекватне їх формулювання);
- використання для демонстрації наочних матеріалів, поєднання, за можливості їх з демонстрацією результатів розрахунків;
- викладання матеріалів дисципліни чіткою і якісною мовою з дотриманням структурно-логічних зв'язків, роз'яснення всіх нововведених термінів і понять;
- доступність для сприйняття даною аудиторією.

№ з/п	Назва теми лекції та перелік основних питань (посилання на літературу та завдання на СРС)	Кількість годин
Розділ 1. Математичні моделі побудовані на ейлеревій системі відліку		
1	Тема 1.1. Моделі турбулентності <i>Лекція 1. Математичні моделі для числового моделювання турбулентних потоків. Моделі турбулентності RANS. Стандартна $k-\varepsilon$ модель турбулентності.</i> <u>Перелік дидактичних засобів:</u> На лекції використовується ноутбук з електронною версією лекції та проектор. Рисунки, плакати до лекції. <u>Завдання на СРС.</u> Формулювання задачі тепло-гидродинамічного стану на базі $k-\varepsilon$ моделі турбулентності з врахуванням стисливості в'язкого середовища. Початкові та граничні умови. Література: [1], розділ 11, с. 256–264. [3], с. 79–85; [7]; електронний конспект лекцій.	2
2	<i>Лекція 2. Моделі турбулентності RANS. Формулювання задачі тепло-гидродинамічного стану на базі $k-\omega$ моделі турбулентності з врахуванням стисливості в'язкого середовища. Модель турбулентності Spalart-Allmaras.</i> <u>Перелік дидактичних засобів:</u> На лекції використовується ноутбук з	2

№ з/п	Назва теми лекції та перелік основних питань (посилання на літературу та завдання на СРС)	Кількість годин
	<i>електронною версією лекції та проектор. Рисунки, плакати до лекції. Завдання на СРС. Моделі турбулентності $k - \omega$ і Spalart-Allmaras. Початкові та граничні умови. Література: [1], розділ 11, с. 264–267; [7]; [Д7], [Д8]; електронний конспект лекцій.</i>	
3	<i>Лекція 3. Моделі турбулентності LES. Підсіткові моделі. Модель Smagorinsky-Lilly. Гібридні моделі турбулентності DES. Перелік дидактичних засобів: На лекції використовується ноутбук з електронною версією лекції та проектор. Рисунки, плакати до лекції. Завдання на СРС. Моделі турбулентності LES, DES. Література: [1], розділ 11, с. 267–271; електронний конспект лекцій.</i>	2
4	Тема 1.2. Моделі течії реагуючих середовищ <i>Лекція 4. Рівняння збереження для течії реагуючих середовищ. Загальні положення. Вибір вихідних змінних. Термохімія. Тензор напруження. Теплопровідність і дифузія компонентів реакцій. Хімічна кінетика. Перелік дидактичних засобів: На лекції використовується ноутбук з електронною версією лекції та проектор. Рисунки, плакати до лекції. Завдання на СРС. Рівняння збереження для течії реагуючих середовищ. Загальні положення. Література: [1], розділ 10, с. 218–228; [Д1]; електронний конспект лекцій.</i>	2
5	<i>Лекція 5. Рівняння збереження для течії реагуючих середовищ. Стехіометрія полум'я попередньо змішаної суміші газів. Стехіометрія дифузного полум'я. Рівняння збереження імпульсу. Рівняння збереження маси для компонентів реакцій. Швидкість дифузії: точні рівняння та наближення. Бінарна дифузія. Багатокомпонентна дифузія. Перелік дидактичних засобів: На лекції використовується ноутбук з електронною версією лекції та проектор. Рисунки, плакати до лекції. Завдання на СРС. Стехіометрія полум'я попередньо змішаної суміші газів. Стехіометрія дифузного полум'я. Рівняння збереження імпульсу. Література: [1], розділ 10, с. 229–234; [Д1]; електронний конспект лекцій.</i>	2
6	<i>Лекція 6. Рівняння збереження для течії реагуючих середовищ. Рівняння збереження маси для горючої суміші та корекція швидкості. Рівняння збереження енергії. Перелік дидактичних засобів: На лекції використовується ноутбук з електронною версією лекції та проектор. Рисунки, плакати до лекції. Завдання на СРС. Рівняння збереження маси для горючої суміші та корекція швидкості. Рівняння збереження енергії. Література: [1], розділ 10, с. 234–242; [Д1]; електронний конспект лекцій.</i>	2
7	<i>Лекція 7. Рівняння збереження для течії реагуючих середовищ. Спрощені форми рівняння енергії. Сталий тиск полум'я. Рівність теплоємності для всіх компонентів реакції. Постійна теплоємність суміші. Підсумкові рівняння збереження. Перелік дидактичних засобів: На лекції використовується ноутбук з електронною версією лекції та проектор. Рисунки, плакати до лекції. Завдання на СРС. Сталий тиск полум'я. Рівність теплоємності для всіх компонентів реакції. Постійна теплоємність суміші. Підсумкові рівняння збереження. Література: [1], розділ 10, с. 242–247; [Д1]; електронний конспект лекцій.</i>	2
8	<i>Лекція 8. Постановка задачі тепло-гідродинамічного стану реагуючого</i>	2

№ з/п	Назва теми лекції та перелік основних питань (посилання на літературу та завдання на СРС)	Кількість годин
	<p>середовища підчас згоряння природного газу без попереднього змішування.</p> <p><u>Перелік дидактичних засобів:</u> На лекції використовується ноутбук з електронною версією лекції та проектор. Рисунки, плакати до лекції.</p> <p><u>Завдання на СРС.</u> Задача тепло-гідродинамічного стану реагуючого середовища підчас згоряння природного газу без попереднього змішування. Література: [1], розділ 10, с. 248–253; електронний конспект лекцій.</p>	
9	<p>Тема 1.3. Приклади використання моделей турбулентності та течії реагуючих середовищ</p> <p>Лекція 9. Результати числового моделювання за моделями турбулентності RANS, LES, DES і DNS.</p> <p><u>Перелік дидактичних засобів:</u> На лекції використовується ноутбук з електронною версією лекції та проектор. Рисунки, плакати до лекції.</p> <p><u>Завдання на СРС.</u> Аналіз та порівняння результатів числового моделювання за моделями турбулентності RANS, LES, DES і DNS. Література: [7]; [Д1]; [Д7–Д8]; електронний конспект лекцій.</p>	2
10	<p>Лекція 10. Результати числового моделювання реагуючих середовищ (процесів горіння твердого та газоподібного палива).</p> <p><u>Перелік дидактичних засобів:</u> На лекції використовується ноутбук з електронною версією лекції та проектор. Рисунки, плакати до лекції.</p> <p><u>Завдання на СРС.</u> Аналіз та порівняння результатів числового моделювання реагуючих середовищ (процесів горіння твердого та газоподібного палива). Література: [Д1]; [Д9, Д10]; електронний конспект лекцій.</p>	2
Розділ 2. Математичні моделі побудовані на лагранжевій системі відліку		
11	<p>Тема 2.1. Моделі статички, динаміки і теплообміну сипких матеріалів</p> <p>Лекція 11. Постановка задачі рухомого шару сипкого матеріалу з використанням методу дискретного елемента. Початкові та граничні умови.</p> <p><u>Перелік дидактичних засобів:</u> На лекції використовується ноутбук з електронною версією лекції та проектор. Рисунки, плакати до лекції.</p> <p><u>Завдання на СРС.</u> Задача рухомого шару сипкого матеріалу з використанням методу дискретного елемента. Початкові та граничні умови.</p> <p>Література: [2], розділ 1, с. 7–10; [Д11]; електронний конспект лекцій.</p>	2
12	<p>Лекція 12. Фізична і математична постановки механотермічної задачі для теоретичного визначення теплофізичних властивостей сипких матеріалів. Алгоритм розв'язання задачі теоретичного визначення теплофізичних властивостей сипких матеріалів.</p> <p><u>Перелік дидактичних засобів:</u> На лекції використовується ноутбук з електронною версією лекції та проектор. Рисунки, плакати до лекції.</p> <p><u>Завдання на СРС.</u> Алгоритм розв'язання задачі теоретичного визначення теплофізичних властивостей сипких матеріалів.</p> <p>Література: [2], розділ 1, с. 10–15; [Д12]; електронний конспект лекцій.</p>	2
13	<p>Тема 2.2. Приклади використання моделей статички, динаміки й теплообміну сипких матеріалів</p> <p>Лекція 13. Програмні продукти LIGGGHTS і ParaView для моделювання фізичних полів сипких матеріалів. Вихідний скрипт програми LIGGGHTS. Правила обробки. Приклад вихідного скрипта.</p>	2

№ з/п	Назва теми лекції та перелік основних питань (посилання на літературу та завдання на СРС)	Кількість годин
	<p><u>Перелік дидактичних засобів:</u> На лекції використовується ноутбук з електронною версією лекції та проектор. Рисунки, плакати до лекції.</p> <p><u>Завдання на СРС.</u> Програмні продукти LIGGGHTS і ParaView для моделювання фізичних полів сипких матеріалів.</p> <p>Література: [2], розділ 3, с. 26–35; електронний конспект лекцій.</p>	
14	<p>Лекція 14. Візуалізація результатів виконання скрипта в програмі ParaView. Створення геометрії розрахункової області для скриптів програми LIGGGHTS.</p> <p><u>Перелік дидактичних засобів:</u> На лекції використовується ноутбук з електронною версією лекції та проектор. Рисунки, плакати до лекції.</p> <p><u>Завдання на СРС.</u> Візуалізація результатів виконання скрипта в програмі ParaView. Створення геометрії розрахункової області для скриптів програми LIGGGHTS.</p> <p>Література: [2], розділ 4, с. 37–45, розділ 6, с. 62–70; електронний конспект лекцій.</p>	2
15	<p>Лекція 15. Приклади використання моделей статичної, динамічної й теплообміну сипких матеріалів (програми LIGGGHTS). Барабанний млин. Шнековий живильник. Двочерв'ячний змішувач безперервної дії. Визначення ефективних значень теплофізичних властивостей сипкого матеріалу.</p> <p><u>Перелік дидактичних засобів:</u> На лекції використовується ноутбук з електронною версією лекції та проектор. Рисунки, плакати до лекції.</p> <p><u>Завдання на СРС.</u> Приклади використання програми LIGGGHTS. Барабанний млин. Визначення ефективних значень теплофізичних властивостей сипкого матеріалу.</p> <p>Література: [2], розділ 5, с. 46–61; електронний конспект лекцій.</p>	2
Розділ 3. Математичні моделі побудовані на континуально-дискретному наближенні		
16	<p>Тема 3.1. Моделі неізотермічної двофазної течії (газ – краплі рідини або рідина – тверді частинки).</p> <p>Лекція 16. Математична постановка континуально-дискретної задачі неізотермічної двофазної течії. Початкові та граничні умови.</p> <p><u>Перелік дидактичних засобів:</u> На лекції використовується ноутбук з електронною версією лекції та проектор. Рисунки, плакати до лекції.</p> <p><u>Завдання на СРС.</u> Математична постановка континуально-дискретної задачі неізотермічної двофазної течії. Початкові та граничні умови.</p> <p>Література: [Д2]; електронний конспект лекцій.</p>	2
17	<p>Тема 3.2. Моделі газифікації твердого палива</p> <p>Лекція 17. Математичне формулювання задачі газифікації вуглецевмісного матеріалу на базі DPM для суміші реагуючих газів із врахуванням турбулентного режиму течії. Глобальні гетерогенні та гомогенні реакції, що описують процес газифікації вуглецевмісного матеріалу.</p> <p><u>Перелік дидактичних засобів:</u> На лекції використовується ноутбук з електронною версією лекції та проектор. Рисунки, плакати до лекції.</p> <p><u>Завдання на СРС.</u> Математичне формулювання задачі газифікації вуглецевмісного матеріалу на базі DPM для суміші реагуючих газів із врахуванням турбулентного режиму течії.</p> <p>Література: [Д9, Д10]; електронний конспект лекцій.</p>	2
18	Тема 3.3. Приклади використання континуально-дискретних моделей	2

№ з/п	Назва теми лекції та перелік основних питань (посилання на літературу та завдання на СРС)	Кількість годин
	<p>Лекція 18. Ізотермічна двофазна течія в реакторі. Газифікація частинок вуглецевмісних матеріалів в барабані-охолоджувачі обертової печі.</p> <p><u>Перелік дидактичних засобів:</u> На лекції використовується ноутбук з електронною версією лекції та проектор. Рисунки, плакати до лекції.</p> <p><u>Завдання на СРС.</u> Аналіз результатів числового моделювання процесу ізотермічної двофазної течії в реакторі. Аналіз результатів числового моделювання процесу газифікації частинок вуглецевмісного матеріалу на базі DPM для суміші реагуючих газів із врахуванням турбулентного режиму течії.</p> <p>Література: [Д2]; [Д9, Д10]; електронний конспект лекцій.</p>	
Всього		36

Практичні заняття

Основними цілями циклу практичних занять є застосування студентами теоретичних знань для побудови числових моделей для розв'язання прикладних проблем (задач) МСС [1, 2], [Д1– Д4].

№ з/п	Назва теми практичних занять та перелік основних питань (посилання на літературу та завдання на СРС)	Кількість годин
Розділ 1. Математичні моделі побудовані на ейлеревій системі відліку		
1	<p>Тема 1.3. Приклади використання моделей турбулентності та течії реагуючих середовищ</p> <p>Комп'ютерний практикум 1. Побудова числових моделей турбулентності RANS ($k - \varepsilon$) на прикладі теплообмінника труба в трубі.</p> <p><u>Перелік дидактичних засобів:</u> персональний комп'ютер (notebook), програмні продукти ANSYS Workbench)¹, методичні рекомендації.</p> <p><u>Завдання на СРС.</u> Приклади побудови числових моделей турбулентності RANS ($k - \varepsilon$), ($k - \omega$).</p> <p>Література: [1]; ANSYS Workbench [Д2].</p>	2
2	<p>Тема 1.3. Приклади використання моделей турбулентності та течії реагуючих середовищ</p> <p>Комп'ютерний практикум 2. Побудова числових моделей процесу горіння природного газу без попереднього змішування в обертовій печі з врахуванням ($k - \varepsilon$) моделі турбулентності та радіаційного теплообміну.</p> <p><u>Перелік дидактичних засобів:</u> персональний комп'ютер (notebook), програмні продукти ANSYS Workbench)², методичні рекомендації.</p> <p><u>Завдання на СРС.</u> Приклади побудови числових моделей процесу горіння природного газу без попереднього змішування.</p> <p>Література: [1]; ANSYS Workbench [Д2]; [Д10].</p>	2
Розділ 2. Математичні моделі побудовані на лагранжевій системі відліку		
3	<p>Тема 2.2. Приклади використання моделей статички, динаміки й теплообміну сипких матеріалів</p> <p>Комп'ютерний практикум 3. Побудова числових моделей (підготовка скриптів) динаміки сипких матеріалів в барабанному млині.</p>	3

¹ Для виконання розрахунків в ANSYS Workbench, ANSYS Fluent студенти користуються студентськими ліцензіями.

² Для виконання розрахунків в ANSYS Workbench, ANSYS Fluent студенти користуються студентськими ліцензіями.

№ з/п	Назва теми практичних занять та перелік основних питань (посилання на літературу та завдання на СРС)	Кількість годин
	<p><u>Перелік дидактичних засобів:</u> персональний комп'ютер, програмні продукти LIGGGHTS [Д3] і ParaView [Д4], методичні рекомендації.</p> <p><u>Завдання на СРС.</u> Приклади побудови числових моделей динаміки сипких матеріалів в промисловому обладнанні.</p> <p>Література: [2]; LIGGGHTS [Д3]; ParaView [Д4].</p>	
4	<p>Тема 2.2. Приклади використання моделей статички, динаміки й теплообміну сипких матеріалів</p> <p>Комп'ютерний практикум 4. Побудова числових моделей (підготовка скриптів) термомеханіки для визначення ефективних значень теплофізичних властивостей сипкого матеріалу.</p> <p><u>Перелік дидактичних засобів:</u> персональний комп'ютер, програмні продукти LIGGGHTS [Д3] і ParaView [Д4], методичні рекомендації.</p> <p><u>Завдання на СРС.</u> Приклади побудови числових моделей термомеханіки для визначення ефективних значень теплофізичних властивостей сипкого матеріалу.</p> <p>Література: [2]; LIGGGHTS [Д3]; ParaView [Д4].</p>	3
Розділ 3. Математичні моделі побудовані на континуально-дискретному наближенні		
5	<p>Тема 3.3. Приклади використання континуально-дискретних моделей</p> <p>Комп'ютерний практикум 5. Побудова числових моделей процесу ізотермічної двофазної течії в реакторі з врахуванням $(k - \varepsilon)$ моделі турбулентності.</p> <p><u>Перелік дидактичних засобів:</u> персональний комп'ютер (notebook), програмні продукти ANSYS Workbench², методичні рекомендації.</p> <p><u>Завдання на СРС.</u> Приклади побудови числових моделей процесу ізотермічної двофазної течії в реакторі.</p> <p>Література: Література: [1]; ANSYS Workbench [Д2].</p>	3
6	<p>Тема 3.3. Приклади використання континуально-дискретних моделей</p> <p>Комп'ютерний практикум 6. Побудова числових моделей процесу газифікації частинок вуглецевмісного матеріалу на базі DPM для суміші реагуючих газів із врахуванням турбулентного режиму течії $(k - \varepsilon)$ модель та радіаційного теплообміну.</p> <p><u>Перелік дидактичних засобів:</u> персональний комп'ютер (notebook), програмні продукти ANSYS Workbench³, методичні рекомендації.</p> <p><u>Завдання на СРС.</u> Приклади побудови числових моделей процесу газифікації частинок вуглецевмісного матеріалу на базі DPM для суміші реагуючих газів із врахуванням турбулентного режиму течії та радіаційного теплообміну.</p> <p>Література: Література: [1]; ANSYS Workbench [Д2]; [Д9].</p>	3
7	МКР	2
Всього		18

Семінарські заняття

За робочим навчальним планом семінарські заняття не передбачено.

Лабораторні заняття

Основними цілями циклу практичних занять (комп'ютерних практикумів) є застосування студентами теоретичних знань для розв'язання практичних задач механіки суцільного середовища, здобуття умінь користування такими програмними продуктами ANSYS Workbench [Д2] і LIGGGHTS [Д3] для побудови складних числових моделей вузлів та деталей промислового

обладнання, візуалізації з використанням в'ювера ParaView [Д4]. Аналізу отриманих результатів числового аналізу фізичних полів під час проектування або модернізації машин та апаратів хімічної технології.

№ з/п	Назва теми лабораторних занять та перелік основних питань (посилання на літературу та завдання на СРС)	Кількість годин
Розділ 1. Математичні моделі побудовані на ейлеревій системі відліку		
1	<p>Тема 1.3. Приклади використання моделей турбулентності та течії реагуючих середовищ Лабораторна робота 1. Моделювання тепло-гідродинамічного стану теплообмінника труба в трубі з використанням числової моделі турбулентності RANS ($k - \epsilon$). <u>Перелік дидактичних засобів:</u> персональний комп'ютер (notebook), програмні продукти ANSYS Workbench)³, методичні рекомендації. <u>Завдання на СРС.</u> Аналіз результатів числового моделювання тепло-гідродинамічного стану теплообмінника труба в трубі. Література: [1]; ANSYS Workbench [Д2].</p>	3
2	<p>Тема 1.3. Приклади використання моделей турбулентності та течії реагуючих середовищ Лабораторна робота 2. Моделювання процесу горіння природного газу в обертовій печі з використанням числової моделі з врахуванням турбулентності та радіаційного теплообміну без попереднього змішування. <u>Перелік дидактичних засобів:</u> персональний комп'ютер (notebook), програмні продукти ANSYS Workbench)³, методичні рекомендації. <u>Завдання на СРС.</u> Аналіз результатів числового моделювання процесу горіння природного газу в обертовій печі. Література: [1]; ANSYS Workbench [Д2]; [Д10].</p>	3
Розділ 2. Математичні моделі побудовані на лагранжевій системі відліку		
3	<p>Тема 2.2. Приклади використання моделей статички, динаміки й теплообміну сипких матеріалів Лабораторна робота 3. Моделювання динаміки сипких матеріалів в барабанному млині з використанням відповідної числової моделі МДЕ. <u>Перелік дидактичних засобів:</u> персональний комп'ютер, програмні продукти LIGGGHTS [Д3] і ParaView [Д4], методичні рекомендації. <u>Завдання на СРС.</u> Аналіз результатів числового моделювання динаміки сипких матеріалів в барабанному млині. Література: [2]; LIGGGHTS [Д3]; ParaView [Д4].</p>	3
4	<p>Тема 2.2. Приклади використання моделей статички, динаміки й теплообміну сипких матеріалів Лабораторна робота 4. Моделювання термомеханічного стану циліндричного шару сипкого матеріалу з метою визначення його ефективних теплофізичних властивостей з використанням відповідної числової моделі МДЕ. <u>Перелік дидактичних засобів:</u> персональний комп'ютер, програмні продукти LIGGGHTS [Д3] і ParaView [Д4], методичні рекомендації. <u>Завдання на СРС.</u> Аналіз результатів числового моделювання термомеханічного стану циліндричного шару сипкого матеріалу з метою визначення його ефективних теплофізичних властивостей. Література: [2]; LIGGGHTS [Д3]; ParaView [Д4].</p>	3

³ Для виконання розрахунків в ANSYS Workbench, ANSYS Fluent студенти користуються студентськими ліцензіями.

№ з/п	Назва теми лабораторних занять та перелік основних питань (посилання на літературу та завдання на СРС)	Кількість годин
Розділ 3. Математичні моделі побудовані на континуально-дискретному наближенні		
5	<p>Тема 3.3. Приклади використання континуально-дискретних моделей Лабораторна робота 5. Моделювання процесу ізотермічної двофазної течії в промисловому реакторі з використанням числової моделі з врахуванням ($k - \varepsilon$) моделі турбулентності.</p> <p><u>Перелік дидактичних засобів:</u> персональний комп'ютер (notebook), програмні продукти ANSYS Workbench⁴, методичні рекомендації.</p> <p><u>Завдання на СРС.</u> Аналіз результатів числового моделювання процесу ізотермічної двофазної течії в промисловому реакторі.</p> <p><u>Література:</u> Література: [1]; ANSYS Workbench [Д2].</p>	3
6	<p>Тема 3.3. Приклади використання континуально-дискретних моделей Лабораторна робота 6. Моделювання процесу газифікації частинок вуглецевмісного матеріалу з використанням числової моделі на базі DPM для суміші реагуючих газів із врахуванням турбулентного режиму течії ($k - \varepsilon$ модель) та радіаційного теплообміну.</p> <p><u>Перелік дидактичних засобів:</u> персональний комп'ютер (notebook), програмні продукти ANSYS Workbench⁴, методичні рекомендації.</p> <p><u>Завдання на СРС.</u> Аналіз результатів числового моделювання процесу газифікації частинок вуглецевмісного матеріалу.</p> <p><u>Література:</u> Література: [1]; ANSYS Workbench [Д2]; [Д9].</p>	3
Всього		18

6. Самостійна робота студента

№ з/п	Назва теми, що виносить на самостійне опрацювання	Кількість годин СРС
Розділ 1. Математичні моделі побудовані на ейлеревій системі відліку		
1	<p>Тема 1.1. Моделі турбулентності Математичні моделі для числового моделювання турбулентних потоків. Моделі турбулентності RANS. Стандартна $k - \varepsilon$ модель турбулентності. Формулювання задачі тепло-гідродинамічного стану на базі $k - \varepsilon$ моделі турбулентності з врахуванням стисливості в'язкого середовища. Початкові та граничні умови.</p> <p><u>Література:</u> [1], розділ 11, с. 256–264. [3], с. 79–85; [7]; електронний конспект лекцій.</p> <p>Моделі турбулентності RANS. Формулювання задачі тепло-гідродинамічного стану на базі $k - \omega$ моделі турбулентності з врахуванням стисливості в'язкого середовища. Модель турбулентності Spalart-Allmaras.</p> <p><u>Література:</u> [1], розділ 11, с. 264–267; [7]; [Д7], [Д8]; електронний конспект лекцій.</p> <p>Моделі турбулентності LES. Підсіткові моделі. Модель Smagorinsky-Lilly. Гібридні моделі турбулентності DES.</p> <p><u>Література:</u> [1], розділ 11, с. 267–271; електронний конспект лекцій.</p>	5
2	<p>Тема 1.2. Моделі течії реагуючих середовищ Рівняння збереження для течії реагуючих середовищ. Загальні положення. Вибір вихідних змінних. Термохімія. Тензор напруження. Теплопровідність і дифузія компонентів реакцій. Хімічна кінетика.</p>	5

⁴ Для виконання розрахунків в ANSYS Workbench, ANSYS Fluent студенти користуються студентськими ліцензіями.

№ з/п	Назва теми, що виноситься на самостійне опрацювання	Кількість годин СРС
	<p><i>Література: [1], розділ 10, с. 218–228; [Д1]; електронний конспект лекцій.</i></p> <p><i>Рівняння збереження для течії реагуючих середовищ. Стехіометрія полум'я попередньо змішаної суміші газів. Стехіометрія дифузного полум'я. Рівняння збереження імпульсу. Рівняння збереження маси для компонентів реакцій. Швидкість дифузії: точні рівняння та наближення. Бінарна дифузія. Багатокомпонентна дифузія.</i></p> <p><i>Література: [1], розділ 10, с. 229–234; [Д1]; електронний конспект лекцій.</i></p> <p><i>Рівняння збереження для течії реагуючих середовищ. Рівняння збереження маси для горючої суміші та корекція швидкості. Рівняння збереження енергії.</i></p> <p><i>Література: [1], розділ 10, с. 234–242; [Д1]; електронний конспект лекцій.</i></p> <p><i>Рівняння збереження для течії реагуючих середовищ. Спрощені форми рівняння енергії. Сталий тиск полум'я. Рівність теплоємності для всіх компонентів реакції. Постійна теплоємність суміші. Підсумкові рівняння збереження.</i></p> <p><i>Література: [1], розділ 10, с. 242–247; [Д1]; електронний конспект лекцій.</i></p> <p><i>Постановка задачі тепло-гідродинамічного стану реагуючого середовища під час згорання природного газу без попереднього змішування.</i></p> <p><i>Література: [1], розділ 10, с. 248–253; електронний конспект лекцій.</i></p>	
3	<p>Тема 1.3. Приклади використання моделей турбулентності та течії реагуючих середовищ</p> <p><i>Результати числового моделювання за моделями турбулентності RANS, LES, DES і DNS. Аналіз та порівняння результатів числового моделювання.</i></p> <p><i>Література: [7]; [Д1]; [Д7–Д8]; електронний конспект лекцій.</i></p> <p><i>Результати числового моделювання реагуючих середовищ (процесів горіння твердого та газоподібного палива). Аналіз та порівняння результатів числового моделювання.</i></p> <p><i>Література: [Д1]; [Д9, Д10]; електронний конспект лекцій.</i></p>	5
Розділ 2. Математичні моделі побудовані на лагранжеві системі відліку		
4	<p>Тема 2.1. Моделі статички, динаміки і теплообміну сипких матеріалів</p> <p><i>Постановка задачі рухомого шару сипкого матеріалу з використанням методу дискретного елемента. Початкові та граничні умови.</i></p> <p><i>Література: [2], розділ 1, с. 7–10; [Д11]; електронний конспект лекцій.</i></p> <p><i>Фізична і математична постановки механотермічної задачі для теоретичного визначення теплофізичних властивостей сипких матеріалів. Алгоритм розв'язання задачі теоретичного визначення теплофізичних властивостей сипких матеріалів.</i></p> <p><i>Література: [2], розділ 1, с. 10–15; [Д12]; електронний конспект лекцій.</i></p>	5
5	<p>Тема 2.2. Приклади використання моделей статички, динаміки й теплообміну сипких матеріалів</p> <p><i>Програмні продукти LIGGGHTS і ParaView для моделювання фізичних полів сипких матеріалів. Вихідний скрипт програми LIGGGHTS. Правила обробки. Приклад вихідного скрипта.</i></p> <p><i>Література: [2], розділ 3, с. 26–35; електронний конспект лекцій.</i></p>	5

№ з/п	Назва теми, що вноситься на самостійне опрацювання	Кількість годин СРС
	<i>Візуалізація результатів виконання скрипта в програмі ParaView. Створення геометрії розрахункової області для скриптів програми LIGGGHTS. Створення геометрії розрахункової області для скриптів програми LIGGGHTS. Література: [2], розділ 4, с. 37–45, розділ 6, с. 62–70; електронний конспект лекцій.</i>	
6	Тема 2.2. Приклади використання моделей статичної, динамічної й теплообміну сипких матеріалів <i>Приклади використання моделей статичної, динамічної й теплообміну сипких матеріалів (програми LIGGGHTS). Барабанний млин. Шнековий живильник. Двочерв'ячний змішувач безперервної дії. Визначення ефективних значень теплофізичних властивостей сипкого матеріалу. Література: [2], розділ 5, с. 46–61; електронний конспект лекцій.</i>	5
Розділ 3. Математичні моделі побудовані на континуально-дискретному наближенні		
7	Тема 3.1. Моделі неізотермічної двофазної течії (газ – краплі рідини або рідина – тверді частинки). <i>Математична постановка континуально-дискретної задачі неізотермічної двофазної течії. Початкові та граничні умови. Література: [Д2]; електронний конспект лекцій.</i>	6
8	Тема 3.2. Моделі газифікації твердого палива <i>Математичне формулювання задачі газифікації вуглецевмісного матеріалу на базі DPM для суміші реагуючих газів із врахуванням турбулентного режиму течії. Глобальні гетерогенні та гомогенні реакції, що описують процес газифікації вуглецевмісного матеріалу. Література: [Д9, Д10]; електронний конспект лекцій.</i>	5
9	Тема 3.3. Приклади використання континуально-дискретних моделей <i>Ізотермічна двофазна течія в реакторі. Газифікація частинок вуглецевмісних матеріалів в барабані-охолоджувачі обертової печі. Аналіз результатів числового моделювання процесу ізотермічної двофазної течії в реакторі. Аналіз результатів числового моделювання процесу газифікації частинок вуглецевмісного матеріалу на базі DPM для суміші реагуючих газів із врахуванням турбулентного режиму течії. Література: [Д2]; [Д9, Д10]; електронний конспект лекцій.</i>	5
10	МКР	2
11	Екзамен	30
Всього		78

Індивідуальні завдання

За робочим навчальним планом індивідуальні завдання не передбачено.

Контрольні роботи

Мета модульної контрольної роботи:

- підсумок вивчення тем кредитного модуля;
- застосування отриманих знань для виконання інженерних розрахунків;
- вміння самостійно застосовувати набуті знання для виконання завдань в даному кредитному модулі та в інших дисциплінах: «Пакувальне обладнання», «САПР технологічного обладнання», «Інжиниринг пакувального обладнання. Курсовий проєкт», «Наукова робота за темою магістерської дисертації».

Навчальним планом дисципліни передбачено одну модульну контрольну роботу, яка охоплює розділи 1 і 2. Приблизний перелік питань до МКР наведено в кінці Силабусу. Формулювання питань до МКР може бути незначно змінені у відповідності до особливостей викладання лекційного матеріалу і прийняття його студентами. З метою підготовки студентів у режимі СРС, викладач знайомить їх з питаннями до МКР за 1–2 тижні до виконання роботи. Розроблено пакет завдань до МКР.

Політика та контроль

7. Політика навчальної дисципліни (освітнього компонента)

Правила відвідування занять та поведінки на заняттях

Відвідування занять є обов'язковим компонентом оцінювання. Студенти зобов'язані брати активну участь у навчальному процесі, не запізнюватися на заняття та не пропускати їх без поважної причини, не заважати викладачу проводити заняття, не відволікатися на дії, що не пов'язані з навчальним процесом.

Правила виконання і захисту практичних робіт (комп'ютерних практикумів):

- виконання практичних робіт (комп'ютерних практикумів) відбувається у години практичних занять і СРС та надсилається на електронну пошту викладача або телеграм;
- відповідно до «Кодексу честі» практичні роботи (комп'ютерні практикуми) та підготовка відповідей на теоретичні і практичні питання студенти виконують самостійно;
- правила захисту практичних робіт (комп'ютерних практикумів) базуються на рейтинговій системі оцінювання результатів навчання.

Правила призначення заохочувальних та штрафних балів:

- заохочувальні бали можуть нараховуватись викладачем за активну участь на лекціях, підготовку наукових публікацій за темами дисципліни. При цьому сума заохочувальних балів не може перевищувати 25 % від рейтингової шкали.
- штрафні бали в рамках навчальної дисципліни не передбачено.

Політика дедлайнів та перескладань

У разі виникнення заборгованостей з навчальної дисципліни або будь-яких форс-мажорних обставин, студенти мають зв'язатися з викладачем по доступних (наданих викладачем) каналах зв'язку для розв'язання проблемних питань та узгодження алгоритму дій для відпрацювання.

Політика академічної доброчесності

Порушення Кодексу академічної доброчесності Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» є серйозним порушенням, навіть якщо воно є ненавмисним. Кодекс доступний за посиланням: <https://kpi.ua/code.3>.

Зокрема, дотримання Кодексу академічної доброчесності означає, що вся робота на іспитах та заліках має виконуватися індивідуально. Під час виконання самостійної роботи студенти можуть консультуватися з викладачами та з іншими студентами, але повинні самостійно розв'язувати завдання, керуючись власними знаннями, уміннями та навичками. Посилання на всі ресурси та джерела (наприклад, у звітах з комп'ютерних практикумів, самостійних роботах чи презентаціях) повинні бути чітко визначені та оформлені належним чином. Тобто неприпустимим є відсутність посилань при використанні друкованих та електронних матеріалів, цитат, думок інших авторів.

Політика академічної поведінки і етики

Студенти мають бути толерантним, поважати думку оточуючих, заперечення формулювати в коректній формі, конструктивно підтримувати зворотний зв'язок на заняттях.

Норми етичної поведінки студентів і працівників визначено у розділі 2 Кодексу честі Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського». Детальніше: <https://kpi.ua/code.2>.

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

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

Семестр	Навчальний час		Розподіл навчальних годин					Контрольні заходи		
	кредити	акад. год.	Лекції	Практ.	Лабор.	Інд.зан.	СРС	МКР	РГР	Семестрова атестація
3	5	150	36	18	18	–	78	1	–	екзамен

Поточний контроль: звіти з лабораторних робіт (комп'ютерних практикумів), модульна контрольна робота.

Календарний контроль: провадиться двічі на семестр як моніторинг поточного стану виконання вимог силабусу.

Семестровий контроль: екзамен.

Рейтинг студента з дисципліни складається з балів, що він отримує за:

- 1) виконання лабораторних занять (всього б);
- 2) модульна контрольна робота;
- 3) відповідь на екзамені (письмово).

Система рейтингових (вагових) балів та критерії оцінювання

1. Лабораторні заняття (комп'ютерні практикуми):

- «відмінно», творче виконання завдання, вільне володіння матеріалом – 4-5 балів;
- «добре», виконання завдання в повному обсязі, але з незначними помилками – 3 бали;
- «задовільно», виконання завдання з окремими помилками – 2 бали;
- «незадовільно», невиконання завдання – 0 балів.

2. Модульна контрольна робота:

- «відмінно», повна відповідь (не менше 90% потрібної інформації) – 18-20 балів;
- «добре», достатньо повна відповідь (не менше 75% потрібної інформації), або повна відповідь з незначними неточностями – 15–17 балів;
- «задовільно», неповна відповідь (не менше 60% потрібної інформації) та незначні помилки – 12–14 балів;
- «незадовільно», незадовільна відповідь – 0 балів.

Одному або двом кращим студентам на кожному практичному занятті можуть додаватися 1–2 заохочувальних бали; +5 заохочувальних балів за доповідь за результатами вивчення дисципліни на студентській конференції або публікацію у журналі.

Максимальна сума балів стартової складової дорівнює 50. Необхідною умовою допуску до екзамену є зарахування всіх завдань практичних занять та здачі розрахункової роботи і стартовий рейтинг не менше 25 балів.

За результатами навчальної роботи за перші 7 тижнів «ідеальний студент» має набрати 25 балів. На атестації (8-й тиждень) студент отримує «зараховано», якщо його поточний рейтинг не менше 12 балів.

За результатами 15 тижнів «ідеальний студент» має набрати $r_c = 50$ балів. На другій атестації (14-й тиждень) студент отримує «зараховано», якщо його поточний рейтинг не менше 25 балів.

Максимальна сума балів за семестр R складає 50 (де $R = r_{lab} \cdot 6 + r_{mkp} = 5 \cdot 6 + 20 = 30 + 20 = 50$).

На екзамені студенти виконують письмову контрольну роботу. Кожне завдання містить два теоретичних питання. Перелік питань наведений у методичних рекомендаціях до засвоєння кредитного модуля. Кожне теоретичне питання оцінюється у 25 балів.

Система оцінювання теоретичних питань (r_{T1}, r_{T2}):

- «відмінно», повна відповідь (не менше 90% потрібної інформації) – 23-25 балів;
- «добре», достатньо повна відповідь (не менше 75% потрібної інформації або незначні неточності) – 19-22 балів;
- «задовільно», неповна відповідь (не менше 60% потрібної інформації та деякі помилки) – 15-21 балів;
- «незадовільно», незадовільна відповідь – 0 балів.

Максимальний рейтинг екзаменаційної контрольної роботи становить

$$r_E = r_{T1} + r_{T2} = 25 + 25 + 20 = 50 \text{ балів.}$$

Умови допуску до семестрового контролю: семестровий рейтинг не менше 25 балів.

Сума стартових балів і балів за екзаменаційну контрольну роботу переводиться до екзаменаційної оцінки згідно з таблицею:

Таблиця відповідності рейтингових балів оцінкам за університетською шкалою:

Кількість балів	Оцінка
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

Теоретичні питання

1. Охарактеризуйте три основних групи математичних моделей для описання турбулентних потоків.
2. Проаналізуйте, в чому полягає осереднення фізичних величин за Рейнольдсом і Фаврем?
3. Охарактеризуйте систему диференціальних рівнянь RANS.
4. Проаналізуйте основні класичні підходи для оцінки турбулентної в'язкості.
5. Проаналізуйте, в чому полягає різниця між визначеннями тензора повних напружень і вектора повного теплового потоку в моделях RANS і LES?
6. Проаналізуйте скалярні рівняння стандартної $k - \varepsilon$ моделі турбулентності.
7. Проаналізуйте скалярні рівняння $k - \omega$ моделі турбулентності.

8. Проаналізуйте формулювання задачі тепло-гідродинамічного стану на базі $k-\varepsilon$ моделі турбулентності з врахуванням стисливості в'язкого середовища.
9. Проаналізуйте формулювання задачі тепло-гідродинамічного стану на базі $k-\omega$ моделі турбулентності з врахуванням стисливості в'язкого середовища.
10. Охарактеризуйте модель турбулентності Spalart-Allmaras.
11. Проаналізуйте моделі турбулентності LES та дайте їх характеристику.
12. Проаналізуйте, чим спричинюється необхідність у підсіткових моделях?
13. Охарактеризуйте модель Smagorinsky-Lilly.
14. Охарактеризуйте гібридні моделі турбулентності DES.
15. Проаналізуйте, які відмінності мають рівняння збереження для реагуючих потоків порівняно зі звичайними рівняннями Нав'є-Стокса для нереагуючих середовищ?
16. Охарактеризуйте явище процесу горіння.
17. Охарактеризуйте масову частку компонент хімічних реакцій.
18. Проаналізуйте характеристики реагуючого потоку стисливого середовища.
19. Проаналізуйте, з яких рівнянь складається система диференціальних рівнянь МСС для течії реагуючого середовища та від чого залежить їх кількість?
20. Охарактеризуйте визначення повного і парціального тиску.
21. Охарактеризуйте визначення густини багатоконпонентного газу.
22. Проаналізуйте визначення концентрації компонентів хімічних реакцій через молярну частку та молярну концентрацію.
23. Проаналізуйте форми енергії і ентальпії для реагуючих потоків.
24. Охарактеризуйте визначення теплоємності частки компонентів реагуючих потоків. Що таке стандартна ентальпія?
25. Проаналізуйте формули для повної ентальпії та її складових.
26. Проаналізуйте зв'язок між h_{sk} та e_{sk} .
27. Охарактеризуйте визначення енергії і ентальпії для суміші з N компонент.
28. Охарактеризуйте форми енергії і ентальпії для запису рівнянь збереження.
29. Проаналізуйте, як визначаються масові ізохорна та ізобарна теплоємності суміші газів?
30. Охарактеризуйте визначення тензора в'язкого напруження.
31. Проаналізуйте сутність явищ теплопровідності й дифузії компонентів реакцій.
32. Охарактеризуйте закони Фур'є і Фіка. Проаналізуйте фізичний зміст коефіцієнтів теплопровідності і молекулярної дифузії.
33. Проаналізуйте фізичний зміст числа Левіса.
34. Проаналізуйте число Прандтля, його фізичний зміст.
35. Проаналізуйте, що означає число Шмідта та його зв'язок з числами Прандтля і Левіса?
36. Охарактеризуйте хімічну кінетику.
37. Проаналізуйте рівняння збереження маси для N компонентів реакції.
38. Охарактеризуйте визначення для констант швидкості реакцій.
39. Проаналізуйте, що передбачає собою повне математичне формулювання взаємодії потоків?
40. Проаналізуйте конфігурації дифузного полум'я та з попереднім змішуванням.
41. Охарактеризуйте стехіометрію полум'я попередньо змішаної суміші газів.
42. Проаналізуйте способи для визначення еквівалентного відношення суміші газів.
43. Проаналізуйте формулу для визначення масового стехіометричного відношення.
44. Охарактеризуйте визначення еквівалентного відношення суміші газів. Проаналізуйте багату та бідну суміші.
45. Проаналізуйте формулу для визначення масової частки палива у суміші.
46. Проаналізуйте стехіометрію дифузного полум'я.
47. Охарактеризуйте рівняння збереження імпульсу для реакційних середовищ.
48. Охарактеризуйте рівняння збереження маси для компонентів реакцій.
49. Проаналізуйте визначення швидкості дифузії за допомогою точних та наближених рівнянь. В чому полягає ефект Сорі?

50. Проаналізуйте, чим характеризується бінарна і багатокомпонентна дифузія? Опишіть наближення Хіршфельдера?
51. Проаналізуйте рівняння збереження маси для горючої суміші та корекції швидкості.
52. Проаналізуйте рівняння збереження для повної енергії.
53. Охарактеризуйте визначення вектора потоку енергії.
54. Проаналізуйте рівняння збереження для повної ентальпії.
55. Проаналізуйте рівняння збереження для явної або неізотермічної ентальпії.
56. Проаналізуйте рівняння збереження для явної або неізотермічної енергії.
57. Проаналізуйте ентальпійні і енергетичні форми та відповідні рівняння енергії.
58. Проаналізуйте спрощені форми рівняння енергії.
59. Охарактеризуйте випадок сталого тиску полум'я.
60. Охарактеризуйте випадок рівності теплоємності для всіх компонентів реакції.
61. Охарактеризуйте випадок постійної теплоємності суміші.
62. Проаналізуйте підсумкові рівняння збереження.
63. Проаналізуйте математичну постановку задачі тепло-гідродинамічного стану реагуючого середовища підчас згоряння природного газу без попереднього змішування.
64. Проаналізуйте, у чому полягає головна відмінність між дискретним і континуальним уявленням про рух середовища?
65. Проаналізуйте постановку задачі рухомого шару сипкого матеріалу з використанням методу дискретного елемента (МДЕ).
66. Охарактеризуйте початкові та граничні умови системи рівнянь балансу механічного руху частинки сипкого матеріалу.
67. Охарактеризуйте фізичну постановку механотермічної задачі для теоретичного визначення ТФВ сипких матеріалів.
68. Проаналізуйте математичну постановку механотермічної задачі для теоретичного визначення ТФВ сипких матеріалів.
69. Проаналізуйте алгоритм розв'язання задачі теоретичного визначення ТФВ сипких матеріалів.
70. Проаналізуйте, яке програмне забезпечення потрібно для виконання моделювання статичної і динамічної сипкого середовища? Опишіть його призначення та наведіть основні характеристики.
71. Охарактеризуйте загальні правила розробки скрипта програми LIGGGHTS.
72. Охарактеризуйте інтерфейс програми ParaView, опишіть його головні групи меню.
73. Проаналізуйте структуру і команди файла скрипта для моделювання руху гранул сипкого матеріалу в барабанному млині.
74. Проаналізуйте структуру і команди файла скрипта для моделювання руху полімерних гранул у шнековому живильнику.
75. Проаналізуйте структуру і команди файла скрипта для моделювання руху частинок сипкого матеріалу у двочерв'ячному змішувачі безперервної дії.
76. Проаналізуйте та порівняйте результати моделювання ТФВ сипких матеріалів з моно- і полідисперсним складом.
77. Охарактеризуйте процедуру підготовки файлів геометрії розрахункової області для використання в скриптах програми LIGGGHTS.
78. Опишіть початкові та граничні умови континуально-дискретної задачі неізотермічної двофазної течії.
79. Охарактеризуйте математичну постановку континуально-дискретної задачі неізотермічної двофазної течії (рідина – тверді частинки).
80. Проаналізуйте математичне формулювання задачі газифікації вуглецевмісного матеріалу на базі DPM для суміші реагуючих газів із врахуванням турбулентного режиму течії.
81. Проаналізуйте глобальні гетерогенні та гомогенні реакції, що описують процес газифікації вуглецевмісного матеріалу.

82. Проаналізуйте результати числового моделювання ізотермічної двофазної течії в реакторі.
83. Проаналізуйте результати числового моделювання процесу газифікації вуглецевмісного матеріалу на базі DPM для суміші реагуючих газів із врахуванням турбулентного режиму течії.

Перелік питань і завдань, які виносяться на модульну контрольну роботу

1. Проаналізуйте, чим характеризується бінарна і багатоконпонентна дифузія? Опишіть наближення Хіршфельдера?
2. Проаналізуйте рівняння збереження маси для горючої суміші та корекції швидкості.
3. Проаналізуйте рівняння збереження для повної енергії.
4. Охарактеризуйте визначення вектора потоку енергії.
5. Проаналізуйте рівняння збереження для повної ентальпії.
6. Проаналізуйте рівняння збереження для явної або неізотермічної ентальпії.
7. Проаналізуйте рівняння збереження для явної або неізотермічної енергії.
8. Проаналізуйте ентальпійні і енергетичні форми та відповідні рівняння енергії.
9. Проаналізуйте спрощені форми рівняння енергії.
10. Охарактеризуйте випадок сталого тиску полум'я.
11. Охарактеризуйте випадок рівності теплоємності для всіх компонентів реакції.
12. Охарактеризуйте три основних групи математичних моделей для описання турбулентних потоків.
13. Проаналізуйте, в чому полягає осереднення фізичних величин за Рейнольдсом і Фаврем?
14. Охарактеризуйте систему диференціальних рівнянь RANS.
15. Проаналізуйте основні класичні підходи для оцінки турбулентної в'язкості.
16. Проаналізуйте, в чому полягає різниця між визначеннями тензора повних напружень і вектора повного теплового потоку в моделях RANS і LES?
17. Проаналізуйте скалярні рівняння стандартної $k-\epsilon$ моделі турбулентності.
18. Проаналізуйте скалярні рівняння $k-\omega$ моделі турбулентності.
19. Проаналізуйте формулювання задачі тепло-гідродинамічного стану на базі $k-\epsilon$ моделі турбулентності з врахуванням стисливості в'язкого середовища.
20. Проаналізуйте формулювання задачі тепло-гідродинамічного стану на базі $k-\omega$ моделі турбулентності з врахуванням стисливості в'язкого середовища.
21. Охарактеризуйте модель турбулентності Spalart-Allmaras.
22. Проаналізуйте, які відмінності мають рівняння збереження для реагуючих потоків порівняно зі звичайними рівняннями Нав'є-Стокса для нерреагуючих середовищ?
23. Охарактеризуйте явище процесу горіння.
24. Охарактеризуйте масову частку компонент хімічних реакцій.
25. Проаналізуйте характеристики реагуючого потоку стисливого середовища.
26. Проаналізуйте, з яких рівнянь складається система диференціальних рівнянь MCC для течії реагуючого середовища та від чого залежить їх кількість?
27. Охарактеризуйте визначення повного і парціального тиску.
28. Охарактеризуйте визначення густини багатоконпонентного газу.
29. Проаналізуйте визначення концентрації компонентів хімічних реакцій через молярну частку та молярну концентрацію.
30. Проаналізуйте форми енергії і ентальпії для реагуючих потоків.
31. Охарактеризуйте визначення теплоємності частки компонентів реагуючих потоків. Що таке стандартна ентальпія?
32. Проаналізуйте формули для повної ентальпії та її складових.
33. Проаналізуйте сутність явищ теплопровідності й дифузії компонентів реакцій.
34. Охарактеризуйте закони Фур'є і Фіка. Проаналізуйте фізичний зміст коефіцієнтів теплопровідності і молекулярної дифузії.
35. Проаналізуйте фізичний зміст числа Левіса.

36. Проаналізуйте число Прандтля, його фізичний зміст.
37. Проаналізуйте, що означає число Шмідта та його зв'язок з числами Прандтля і Левіса?
38. Охарактеризуйте хімічну кінетику.
39. Проаналізуйте рівняння збереження маси для N компонентів реакції.
40. Охарактеризуйте визначення для констант швидкості реакції.
41. Проаналізуйте, що передбачає собою повне математичне формулювання взаємодії потоків?
42. Проаналізуйте конфігурації дифузного полум'я та з попереднім змішуванням.
43. Охарактеризуйте стехіометрію полум'я попередньо змішаної суміші газів.
44. Проаналізуйте постановку задачі рухомого шару сипкого матеріалу з використанням методу дискретного елемента (МДЕ).
45. Охарактеризуйте початкові та граничні умови системи рівнянь балансу механічного руху частинки сипкого матеріалу.
46. Охарактеризуйте фізичну постановку механотермічної задачі для теоретичного визначення ТФВ сипких матеріалів.
47. Проаналізуйте математичну постановку механотермічної задачі для теоретичного визначення ТФВ сипких матеріалів.
48. Проаналізуйте алгоритм розв'язання задачі теоретичного визначення ТФВ сипких матеріалів.
49. Проаналізуйте, яке програмне забезпечення потрібно для виконання моделювання статички і динаміки сипкого середовища? Опишіть його призначення та наведіть основні характеристики.
50. Охарактеризуйте загальні правила розробки скрипта програми LIGGGHTS.
51. Охарактеризуйте інтерфейс програми ParaView, опишіть його головні групи меню.
52. Проаналізуйте структуру і команди файла скрипта для моделювання руху гранул сипкого матеріалу в барабанному млині.
53. Проаналізуйте структуру і команди файла скрипта для моделювання руху полімерних гранул у шнековому живильнику.
54. Проаналізуйте структуру і команди файла скрипта для моделювання руху частинок сипкого матеріалу у двочерв'ячному змішувачі безперервної дії.
55. Опишіть початкові та граничні умови континуально-дискретної задачі неізотермічної двофазної течії.
56. Охарактеризуйте математичну постановку континуально-дискретної задачі неізотермічної двофазної течії (рідина – тверді частинки).
57. Проаналізуйте математичне формулювання задачі газифікації вуглецевмісного матеріалу на базі DPM для суміші реагуючих газів із врахуванням турбулентного режиму течії.
58. Проаналізуйте глобальні гетерогенні та гомогенні реакції, що описують процес газифікації вуглецевмісного матеріалу.
59. Проаналізуйте результати числового моделювання ізотермічної двофазної течії в реакторі.
60. Проаналізуйте результати числового моделювання процесу газифікації вуглецевмісного матеріалу на базі DPM для суміші реагуючих газів із врахуванням турбулентного режиму течії.

Робочу програму навчальної дисципліни (силабус):

Складено професор, д.т.н., професор, Карвацький Антон Янович

Ухвалено кафедрою хімічного, полімерного і силікатного машинобудування (протокол № 10 від 17.05.2023 р.)

Погоджено Методичною комісією факультету (протокол № 10 від 26.05.2023 р.)