



МЕХАНІКА СУЦІЛЬНИХ СЕРЕДОВИЩ

Робоча програма освітнього компонента (Силабус)

Реквізити освітнього компонента

Рівень вищої освіти	<i>Другий (магістерський)</i>
Галузь знань	<i>G - Інженерія, виробництво та будівництво</i>
Спеціальність	<i>G11 "Машинобудування"</i>
Освітня програма	<i>ОПП Інжиніринг інноваційного галузевого обладнання Engineering of innovative industry equipment</i>
Статус освітнього компонента	<i>вибіркова</i>
Форма навчання	<i>очна(денна)</i>
Рік підготовки, семестр	<i>1 курс, весняний семестр</i>
Обсяг освітнього компонента	<i>4(120)</i>
Семестровий контроль/ контрольні заходи	<i>Залік</i>
Розклад занять	
Мова викладання	<i>Українська</i>
Інформація про керівника курсу / викладачів	Лектор: https://cpsm.kpi.ua/karvatskij-anton-yanovich.html Практичні: https://cpsm.kpi.ua/karvatskij-anton-yanovich.html Лабораторні: –
Розміщення курсу	Посилання на дистанційний ресурс Google classroom, https://cpsm.kpi.ua/navchannya/sylabusy/sylabusy-2025-roku.html

Програма освітнього компонента

1. Опис освітнього компонента, його мета, предмет вивчення та результати навчання

Освітній компонент «Механіка суцільних середовищ» є найважливішою ланкою, яка логічно об'єднує розрізнені знання, здобуті студентами під час вивчення окремих освітніх компонентів, 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.

Мета освітнього компонента «Механіка суцільних середовищ»

Метою освітнього компонента є посилення процесу формування комплексу знань студентами щодо теоретичних основ 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.

Предмет освітнього компонента «Механіка 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.

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

Інтегральну компетентність:

- Здатність розв'язувати складні задачі і проблеми в галузевому машинобудуванні, що передбачає проведення досліджень процесів, обладнання та/або здійснення інновацій в даній галузі та характеризується невизначеністю умов і вимог.

Загальні компетентності:

- Здатність використовувати інформаційні та комунікативні технології (ЗК 01);
- Здатність вчитися та оволодівати сучасними знаннями (ЗК 02);
- Здатність генерувати нові ідеї (креативність) (ЗК 06);
- Здатність виявляти, ставити та вирішувати проблеми (ЗК 07);
- Здатність приймати обґрунтовані рішення (ЗК 08).

Спеціальні (фахові) компетентності:

- Здатність створювати, удосконалювати та застосовувати кількісні математичні, наукові й технічні методи та комп'ютерні програмні засоби, застосовувати системний підхід для розв'язання інженерних задач галузевого машинобудування, зокрема, в умовах технічної невизначеності (СК 01);
- Критичне осмислення передових для галузі машинобудування наукових фактів, концепцій, теорій, принципів та здатність їх застосовувати для розв'язання складних задач галузевого машинобудування та сталого розвитку (СК 02);
- Здатність виконувати математичне моделювання для вирішення задач наукових досліджень, проектування, обслуговування та модернізації обладнання з використанням комп'ютерних технологій, CAD-систем та інших прикладних програм (СК 07).

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

- Знання і розуміння засад технологічних, фундаментальних та інженерних наук, що лежать в основі галузевого машинобудування відповідної галузі (ПРН 01);
- Знання і розуміння механіки і машинобудування та перспектив їхнього розвитку (ПРН 02);
- Здійснювати інженерні розрахунки для вирішення складних задач і практичних проблем у галузевому машинобудуванні (ПРН 04);
- Використовуючи фундаментальні закони збереження та переносу, обирати/розробляти/аналізувати/реалізовувати у середовищах CAD-систем та інших прикладних програм математичні моделі та регламенти процесів, що відбуваються у робочому просторі та/або в конструкціях технологічного обладнання для вирішення вирішувати задач наукових досліджень, проектування, експлуатації, модернізації обладнання галузевого машинобудування (ПРН 12).

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

Пререквізити: освітній компонент «Механіка суцільних середовищ» базується на вивченні таких кредитних модулів: «Вища математика», «Фізика», «Хімія», «Інженерна та комп'ютерна графіка», «Теоретична механіка», «Програмне забезпечення інженерних розрахунків», «Матеріалознавство», «Теплопередача», «Прикладна механіка твердого деформованого тіла», «Реологія», «Механіка матеріалів і конструкцій», «Технологія переробки полімерів», «Теоретичні основи теплотехніки», «Деталі машин», «Механіка рідини і газу», «Технологія машинобудування», «Підйомно-транспортні машини», «Пресове обладнання», «Гідро та пневмоприводи», «Основи автоматизації», «Процеси, апарати і машини галузі», «Модернізація технологічного обладнання», «Прикладні числові методи», «Сучасні методи розрахунку процесів та обладнання», «Інформаційне забезпечення проектування».

Постреквізити: освітній компонент «Механіка суцільних середовищ» забезпечує такі освітні компоненти: «Конструкторське проектування обладнання», «Інжиніринг інноваційних технологій та обладнання», «Комп'ютерно-інтегровані технології проектування технологічного обладнання» та «Наукова робота за темою магістерської дисертації», виконання магістерських дисертацій.

3. Зміст освітнього компонента

Розділ 1. Механіка суцільних середовищ в інженерних розрахунках

Тема 1. Предмет механіки суцільних середовищ (МСС). Властивості суцільних середовищ.

Тема 2. Основні поняття, визначення та гіпотези МСС.

Тема 3. Введення в тензорний аналіз.

Тема 4. Теорія напружень в суцільному середовищі.

Тема 5. Види напруженого стану суцільного середовища.

Тема 6. Теорія деформацій суцільного середовища.

Тема 7. Фізичні рівняння однорідного середовища.

Тема 8. Закони збереження суцільного середовища.

Тема 9. Розв'язуючі рівняння МСС в декартових та криволінійних координатах.

4. Навчальні матеріали та ресурси

Базова література

1. Механіка суцільних середовищ. [Електронний ресурс] : конспект лекцій : навч. посіб. для здобувачів ступеня магістра за освіт. програмами «Інжиніринг пакування та пакувального обладнання» спец. 131 «Прикладна механіка» та «Інжиніринг та комп'ютерно-інтегровані технології проектування інноваційного галузевого обладнання» спец. 133 «Галузеве машинобудування» / А. Я. Карвацький, А. О. Чемерис ; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – 2-ге вид. переробл. та доп. – Електрон. текст. дані (1 файл: 3,56 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2024. 214 с. URL : <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/72094>

2. 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>

3. 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>

4. 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>

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>

Додаткова література

1. Website: Gmsh: a three-dimensional finite element mesh generator with built-in pre- and post-processing facilities. URL : <http://gmsh.info/>

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

3. Zienkiewicz, O., Taylor, R., Fox, D.: The Finite Element Method for Solid and Structural Mechanics. 7th edn. Elsevier Ltd., Oxford (2014).

4. Mase G. E. Theory and Problems of Continuum Mechanics. New York : McGraw-Hill Book Company. 1970. 230 p. URL : <https://www.twirpx.com/file/897819/>

5. Thompson, M., Thompson, J.: ANSYS Mechanical APDL for Finite Element Analysis, 1st edn. Butterworth-Heinemann, Oxford (2017).

6. 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>

7. 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. Теоретично-експериментальні дослідження печей графітування Кастнера: монографія / А. Ю. Педченко, Є. М. Панов, А. Я. Карвацький, С. В. Лелека, Т. В. Лазарев. Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2017. 174 с. URL : <http://ela.kpi.ua/handle/123456789/20800>

9. Енергоресурсоефективне виробництво ізостатичного графіту : монографія / Є. М. Панов, С. В. Лелека, А. Я. Карвацький, І. О. Мікульонок. Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2020. 140 с. ISBN 978-617-7734-26-9 URL : <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/37590>

10. Енергоресурсоефективне пресування вуглеграфітових виробів : монографія / Є. М. Панов, С. В. Лелека, А. Я. Карвацький, І. О. Мікульонок. Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2020. 84 с. ISBN 978-617-7734-27-6 URL : <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/37591>

11. An Introduction to Granular Flow / K. Kesava Rao, Prabhu R. Nott. New York : Publ. in the USA by Cambridge University Press, 2008. 490 p.

12. Poinso T., Veynante D. Theoretical and numerical combustion. 2nd ed. Philadelphia : Edwards, 2005. 522 p.

13. Website: OpenFOAM. Open Source Field Operation And Manipulation CFD ToolBox – відкрита інтегрована платформа для числового моделювання задач механіки суцільних середовищ URL: <http://www.openfoam.com/>

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

15. Patankar, S.V.: Numerical Heat Transfer and Fluid Flow (Hemisphere Series on Computational Methods in Mechanics and Thermal science). 1st edn. McGraw-Hill Book Company, New York (1980). DOI: 10.1201/9781482234213

16. Mathcad: Math software for your engineering calculations. URL: <https://www.mathcad.com/en>

17. 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>

18. Моделювання статистики 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>

Інформаційні ресурси в Інтернеті

1. DSpace НТБ КПІ ім. Ігоря Сікорського, <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/19011>, <http://ela.kpi.ua/handle/123456789/23916>, <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/23917>, <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/23918>, <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/27528>, <http://ela.kpi.ua/handle/123456789/11636>, <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/4718>, <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/15217>, <http://ela.kpi.ua/handle/123456789/20800>, <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/37590>, <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/37591>
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/>

5. Методика опанування освітнього компонента

Лекційні заняття

Лекційні заняття спрямовані на:

- надання сучасних, цілісних, взаємозалежних знань з освітнього компонента «Механіка 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, чітко і адекватне їх формулюваннях);
- використання для демонстрації наочних матеріалів, поєднання, за можливості їх з демонстрацією результатів розрахунків;
- викладання матеріалів освітнього компонента 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. Механіка суцільних середовищ в інженерних розрахунках		
1	Тема 1. Предмет МСС. Властивості суцільних середовищ Лекція 1. Визначення МСС. Аксиоматика механіки суцільних середовищ. Основні методи та напрямки досліджень різних об'єктів МСС (твердих тіл, рідин та газів). Зв'язок курсу з іншими освітніми компонентами (опір матеріалів, гідравліка, термодинаміка, обчислювальна математика, програмування, технологічні розрахунки та розрахунки на міцність машин та апаратів). Загальна характеристика фізичних явищ та процесів, що протікають в твердих тілах, рідинах та газах. Фізичні моделі МСС. Закони термодинаміки. <u>Перелік дидактичних засобів:</u> На лекції використовується ноутбук з електронною версією лекції та проектор. Рисунки, плакати до лекції. <u>Завдання на СРС.</u> Загальні методи дослідження суцільних середовищ при взаємодії їх між собою та з силовими, температурними, радіаційними, електромагнітними полями. Принцип Сен-Венана. Повторення матеріалів курсу теоретичні основи теплотехніки. Література: електронний конспект лекцій [1], с. 15–21.	1
2	Тема 2. Основні поняття, визначення та гіпотези МСС Лекція 2. Поняття континууму. Лагранжеві та Ейлєреві координати для опису руху тіл, субстанціональна похідна за часом. Векторні базиси в початковій та актуальній конфігурації тіл. Гіпотези МСС і їх роль при розробці математичних моделей. Задачі механіки суцільного середовища. <u>Перелік дидактичних засобів:</u> На лекції використовується ноутбук з електронною версією лекції та проектор. Рисунки, плакати до лекції. <u>Завдання на СРС.</u> Взаємні залежності між лагранжевими та ейлеревими координатами. Ортотропні, анізотропні та трансверсально ізотропні	0,5

№ з/п	Назва теми лекції та перелік основних питань (посилання на літературу та завдання на СРС)	Кількість годин
	тіла. Зовнішні масові та поверхневі сили. Внутрішні сили (зусилля). Література: електронний конспект лекцій [1], с. 22–31; [Д4]: розділ 1, § 2, с. 15–21, розділ 2, § 1–3, с. 22–34.	
3	Тема 3. Введення в тензорний аналіз Лекція 3. Поняття вектора. Координатні системи. Представлення векторів в прямокутних і косокутних прямолінійних координатах. Основний і взаємний векторні базиси. Властивості змішаного добутку векторів. Німий, вільний, коваріантний і контраваріантний індекси. Коваріантні і контраваріантні компоненти вектора. Дії над векторами. <u>Перелік дидактичних засобів:</u> На лекції використовується ноутбук з електронною версією лекції та проектор. Рисунки, плакати до лекції. <u>Завдання на СРС.</u> Формули перетворення компонент вектора при переході від основного до взаємного базису і навпаки. Література: електронний конспект лекцій [1], с. 31–37; [Д4]: розділ 2, § 3–8, с. 34–97.	1
4	Лекція 4. Визначення тензора. Представлення тензорів через вектори основного і взаємного базисів, векторний супровід. Фундаментальні тензори систем координат: метричний, перетворення координат, Леві-Чівіті. Компоненти метричного тензора. Компоненти тензора перетворення координат. <u>Перелік дидактичних засобів:</u> На лекції використовується ноутбук з електронною версією лекції та проектор. Рисунки, плакати до лекції. <u>Завдання на СРС.</u> Властивості компонент метричного тензора. Залежності між коваріантними і контраваріантними компонентами метричного тензора. Симетричність тензорів напружень і деформацій. Література: електронний конспект лекцій [1], с. 37–42; [Д4]: розділ 2, § 4–7, с. 47–107.	0,5
5	Лекція 5. Компоненти тензора Леві-Чівіті. Унарні дії над тензором: транспонування, скалярна згортка, векторна згортка, слід тензора. Бінарні операції з тензорами: сума тензорів, скалярний добуток, подвійний скалярний добуток, векторний добуток, тензорний добуток. Диференціювання тензорів. Оператор Гамільтона. Градієнт тензора. Оператор дивергенції. <u>Перелік дидактичних засобів:</u> На лекції використовується ноутбук з електронною версією лекції та проектор. Рисунки, плакати до лекції. <u>Завдання на СРС.</u> Тензор Леві-Чівіті і його властивості. Формули для компонент векторного добутку тензорів на базі тензора Леві-Чівіті. Література: електронний конспект лекцій [1], с. 42–48; [Д11]: додатки А–І, с. 403–458.	0,5
6	Лекція 6. Ротор. Криволінійні координати. Диференціювання тензорів в криволінійних координатах. Властивості символів Кристофеля. Коваріантні похідні від тензора 2-го рангу заданого контраваріантними компонентами. Диференціювання тензора заданого коваріантними компонентами. <u>Перелік дидактичних засобів:</u> На лекції використовується ноутбук з електронною версією лекції та проектор. Рисунки, плакати до лекції. <u>Завдання на СРС.</u> Тема 4. Теорія напружень в суцільному середовищі. Принцип перерізу для визначення внутрішніх сил. Вектор напружень, середні напруження і напруження в точці тіла. Нормальні та дотичні напруження. Теплові напруження. Визначення напружень на похилій площині. Позначення напружень на координатних площинах та правила	1

№ з/п	Назва теми лекції та перелік основних питань (посилання на літературу та завдання на СРС)	Кількість годин
	знаків для них. Закономірності зміни напружень при поворотах системи координат. Головні інваріанти тензора напружень. Визначення максимальних дотичних напружень і орієнтації площин на яких вони діють. Література: електронний конспект лекцій [1], с. 48–53; с. 143–153; [Д4]: розділ 2, § 2.1–2.14, с. 68–87.	
7	Лекція 7. Коваріантні похідні змішаних компонент тензорів. Перетворення компонент фундаментальних тензорів і символів Кристофеля при зміні системи координат. Скалярний добуток будь-якого тензора на метричний тензор. Зв'язок між метричними тензорами і символами Кристофеля. Символи Кристофеля 1-го роду. Фізичні компоненти тензорів. Матеріальна або тензорна похідна. Інваріантна форма запису рівнянь. <u>Перелік дидактичних засобів:</u> На лекції використовується ноутбук з електронною версією лекції та проектор. Рисунки, плакати до лекції. <u>Завдання на СРС.</u> Тема 5. Види напруженого стану суцільного середовища. Приклади напружених станів. Круги Мора. Центросиметричний, плоский та осесиметричний напружений стан. Диференціальні рівняння статичної та динамічної в циліндричних координатах. Література: електронний конспект лекцій [1], с. 54–61; с. 153–166.	0,5
8	Тема 7. Фізичні рівняння однорідного середовища Лекція 8. Фізичні рівняння стану. Фізичні закони для твердих тіл. Девіатор деформації і напружень. Ізотропні, ортотропні і анізотропні матеріали. Представлення фізичних рівнянь стану в тензорній формі. Тензор 4-го рангу фізичних констант. Властивості компонент тензорів 4-го рангу фізичних (пружних) констант. Перехід з однієї системи координат в іншу. Співвідношення між напруженням і швидкістю деформації для рідин і газів. Закон Нав'є-Стокса. Девіаторні та середні напруження в рідині. <u>Перелік дидактичних засобів:</u> На лекції використовується ноутбук з електронною версією лекції та проектор. Рисунки, плакати до лекції. <u>Завдання на СРС.</u> Тема 6. Теорія деформацій суцільного середовища. Початковий та актуальний стан середовища. Вектори переміщень та швидкостей. Градієнти переміщень та швидкостей. Лінійні геометричні рівняння. Залежності між лінійними деформаціями, вектором повороту та переміщеннями. Головні деформації і головні напрями. Геометричні рівняння для скінчених деформацій. Логарифмічна міра деформацій. Швидкості деформацій. Температурні деформації. Формули перетворення компонент тензорів деформацій та швидкості деформацій. Представлення скінчених деформацій через лінійний тензор деформацій і лінійний вектор повороту. Література: електронний конспект лекцій [1], с. 62–67; с. 166–176. [Д4]: розділ 3, § 3.1–3.16, с. 112–155.	1
9	Тема 8. Закони збереження суцільного середовища Лекція 9. Формула Остроградського-Гауса. Теорема про дивергенцію. Основні рівняння механіки суцільних середовищ. Закон збереження маси. Вивід рівняння нерозривності. Інваріантна форма рівняння збереження маси. Форма запису рівняння нерозривності в Ейлеревій і Лагранжевій системах координат. <u>Перелік дидактичних засобів:</u> На лекції використовується ноутбук з	0,5

№ з/п	Назва теми лекції та перелік основних питань (посилання на літературу та завдання на СРС)	Кількість годин
	електронною версією лекції та проектор. Рисунки, плакати до лекції. <u>Завдання на СРС.</u> Тема 7. Фізичні рівняння однорідного середовища. Пружні, пружно спадкові тверді деформівні тіла. Закони Гука, Генки, Синьорині. Пружно нелінійні, пружно пластичні тверді тіла. Енергія пружної деформації. Повна потенціальна енергія тіла. Література: електронний конспект лекцій [1], с. 67–72; с. 176–182. [Д4]: розділ 6, 10, § 1–4, с. 410–461.	
10	Лекція 10. Рівняння руху. Форми запису диференціального рівняння руху. Рівняння рівноваги і тензори напружень в Лагранжевих змінних. Тензори Піоли та Коші-Ейлера. <u>Перелік дидактичних засобів:</u> На лекції використовується ноутбук з електронною версією лекції та проектор. Рисунки, плакати до лекції. <u>Завдання на СРС.</u> Тема 7. Фізичні рівняння однорідного середовища. Деформаційна теорія пластичності та теорія пластичної течії. Повзучість твердих тіл. Теорія малих пружно-пластичних деформацій. Література: електронний конспект лекцій [1], с. 72–78, с. 182–190; [Д4]: розділ 9, § 9.1–9.8, с. 279–308.	1
11	Лекція 11. Зовнішні сили на поверхні тіла. Зв'язок між тензором напружень і вектором напружень. Нормальне зусилля і напруження на поверхні. Дотичне напруження на поверхні. Принцип Даламбера. Закон збереження кількості руху (імпульсу). Кількість руху, імпульс. <u>Перелік дидактичних засобів:</u> На лекції використовується ноутбук з електронною версією лекції та проектор. Рисунки, плакати до лекції. <u>Завдання на СРС.</u> Тема 7. Фізичні рівняння однорідного середовища. Фізичні рівняння для в'язких стисливих рідин. Закон Стокса. Фізичні рівняння для в'язких нестисливих рідин. Література: електронний конспект лекцій [1], с. 79–83; с. 190–191.	0,5
12	Лекція 12. Закон збереження механічної енергії. Оператори подвійного (кратного) скалярного добутку двох тензорів. Симетричність тензорів напружень. <u>Перелік дидактичних засобів:</u> На лекції використовується ноутбук з електронною версією лекції та проектор. Рисунки, плакати до лекції. <u>Завдання на СРС.</u> Закони збереження маси і кількості руху в МСС. Дисипативна функція. Рівняння зв'язку між термодинамічними потенціалами. Література: електронний конспект лекцій [1], с. 83–88; с. 191–194.	1
13	Лекція 13. Закон збереження повної енергії. Теплоємність. Закон балансу ентропії. II закон термодинаміки. Рівняння теплопровідності. Основна система рівнянь МСС. Фізичні рівняння стану. Геометричні рівняння. Закон Фур'є. Рівняння теплопровідності. Геометричні рівняння Коші. Швидкості деформації. <u>Перелік дидактичних засобів:</u> На лекції використовується ноутбук з електронною версією лекції та проектор. Рисунки, плакати до лекції. <u>Завдання на СРС.</u> Контактні, конвективні та радіаційні умови теплообміну з зовнішнім середовищем. Література: електронний конспект лекцій [1], с. 88–94; с. 194–196.	0,5
14	Тема 9. Розв'язуючі рівняння МСС в декартових та криволінійних координатах Лекція 14. Основи постановки задач механіки суцільних середовищ в декартових координатах. Геометричні рівняння. Фізичні рівняння.	1

№ з/п	Назва теми лекції та перелік основних питань (посилання на літературу та завдання на СРС)	Кількість годин
	Рівняння рівноваги, енергії, деформації і фізичне рівняння відносно компонент. Рівняння рівноваги, енергії і закон Гука в декартовій системі координат. <u>Перелік дидактичних засобів:</u> На лекції використовується ноутбук з електронною версією лекції та проектор. Рисунки, плакати до лекції. <u>Завдання на СРС.</u> Двохвимірні задачі механіки суцільного середовища. Гіпотези і рівняння плоскої та осесиметричної задач. Література: електронний конспект лекцій [1], с. 95–101; с. 197–206; [Д4]: розділ 6, § 6.1–6.8, с. 207–212.	
15	Лекція 15. Побудова рівнянь механіки суцільних середовищ в криволінійних координатах. Визначення геометричних характеристик циліндричної системи координат. Визначення базисних векторів циліндричної системи координат. Визначення компонент фундаментальних тензорів. Компоненти тензора Леві-Чівіта. Компоненти тензора перетворення координат. Зв'язок між компонентами тензорів перетворення координат. <u>Перелік дидактичних засобів:</u> На лекції використовується ноутбук з електронною версією лекції та проектор. Рисунки, плакати до лекції. <u>Завдання на СРС.</u> Квазістатичні рівняння термов'язкопружно-пластичності. Граничні умови. Література: електронний конспект лекцій [1], с. 101–107; с. 206–210; [Д4]: розділ 9, § 9.1–9.8, с. 279–306.	0,5
16	Лекція 16. Визначення символів Кристофеля. Запис градієнта переміщень і напружень через символи Кристофеля. Рівняння рівноваги в циліндричній системі координат. <u>Перелік дидактичних засобів:</u> На лекції використовується ноутбук з електронною версією лекції та проектор. Рисунки, плакати до лекції. <u>Завдання на СРС.</u> Різниця між нереологічною теорією пластичності і теорією в'язко-пластичності. Література: електронний конспект лекцій [1], с. 107–111; с. 210–211; [Д4]: розділ 9, § 9.1–9.8, с. 279–306.	1
17	Лекція 17. Основні рівняння МСС для рідин та газів. Системи координат Лагранжа і Ейлера. Рівняння руху в різних системах відліку. Отримання інваріантної форми рівняння руху. Рівняння збереження маси в різних системах відліку. Отримання інваріантної форми рівняння збереження маси. Рівняння збереження енергії в різних системах відліку. Інваріантна форма запису рівняння збереження енергії. <u>Перелік дидактичних засобів:</u> На лекції використовується ноутбук з електронною версією лекції та проектор. Рисунки, плакати до лекції. <u>Завдання на СРС.</u> Розв'язуючі рівняння термо-в'язко-пружнопластичності. Література: електронний конспект лекцій [1], с. 111–117; с. 211–214; [Д4]: розділ 7, § 7.1–7.6, с. 228–247.	1
18	Лекція 18. Зв'язані рівняння лінійної термопружності. Початкові і граничні умови. Рівняння термопластичності. Початкові і граничні умови. <u>Перелік дидактичних засобів:</u> На лекції використовується ноутбук з електронною версією лекції та проектор. Рисунки, плакати до лекції. <u>Завдання на СРС.</u> Визначення параметрів стану полімерів для неізотермічних процесів. Література: електронний конспект лекцій [1], с. 117–123; с. 214–217; [Д4]: розділ 8, § 8.1–8.11, с. 248–276.	1
Всього		14

Практичні заняття

Основними цілями циклу практичних занять (комп'ютерних практикумів) є застосування студентами теоретичних знань для розв'язання практичних задач механіки суцільного середовища (МСС) [4], здобуття умінь користування CAD-системами Gmsh [Д1] і Mathcad [8] та вільно відкритими програмними кодами OpenFOAM [Д13] і LIGGGHTS [Д14] для побудови складних числових моделей вузлів та деталей промислового обладнання, візуалізації з використанням в'ювера ParaView [Д2] та аналізу отриманих результатів розрахунків фізичних полів під час проектування або модернізації машин та апаратів хімічної промисловості.

№ з/п	Назва теми практичних занять та перелік основних питань (посилання на літературу та завдання на СРС)	Кількість годин
1	Тема 1. Статична пружність і незв'язана термопружність. Задачі плоско-деформованого стану (ПДС) і плоско-напруженого стану (ПНС) Комп'ютерний практикум № 1. Розв'язання задачі плоско-деформованого стану на прикладі згину консольної балки методом скінченних елементів (МСЕ) з використанням трикутних скінченних елементів в середовищі Mathcad. Література: [2], с. 9–12, с. 87–127. <u>Перелік дидактичних засобів:</u> персональний комп'ютер, програмні продукти Mathcad, ParaView, приклади програмних кодів розв'язання задач ПДС, ПНС. <u>Завдання на СРС.</u> Визначення запасу міцності конструкції. Методи аналізу точності й достовірності отриманих результатів. Визначення збіжності розв'язків методом подвійних розрахунків. Література: [2], с. 18, с. 32, с. 87–127, с. 149–168, с. 193–197, с. 296–312. Приклади розв'язання задач механіки суцільного середовища. Введення в тензорне числення. Література: [4], с. 10–50.	4
2	Тема 2. Статична пружність. Вісесиметрична задача напружено-деформованого стану Комп'ютерний практикум № 2. Розрахунок фланця на міцність у вісесиметричній постановці методом МСЕ з використанням трикутних скінченних елементів в середовищі Mathcad. Література: [2], с. 13–14, с. 87–127, с. 149–168, с. 198–195. <u>Перелік дидактичних засобів:</u> персональний комп'ютер, програмні продукти Mathcad, ParaView, приклади програмних кодів розв'язання вісесиметричної задачі напружено-деформованого стану. <u>Завдання на СРС.</u> Визначення запасу міцності конструкції. Визначення збіжності розв'язків методом подвійних розрахунків. Література: [2], с. 18, с. 32, с. 87–127, с. 313–331. Приклади розв'язання задач механіки суцільного середовища. Напружений стан. Література: [4], с. 54–92.	4
3	Тема 3. Стаціонарна теплопровідність з внутрішнім джерелом теплоти Комп'ютерний практикум № 3. Розв'язання тривимірної задачі теплопровідності на прикладі розрахунку фланця методом МСЕ з використанням скінченних елементів у вигляді тетраедрів в середовищі Mathcad. Література: [2], с. 8, с. 23–84, с. 149–168, с. 170–191. <u>Перелік дидактичних засобів:</u> персональний комп'ютер, програмні продукти Gmsh, Mathcad, ParaView, приклади програмних кодів розв'язання тривимірної задачі теплопровідності. <u>Завдання на СРС.</u> Визначення збіжності розв'язків методом подвійних розрахунків. Література: [2], с. 23–84, с. 184–191, с. 277–295. Приклади розв'язання задач механіки суцільного середовища. Деформований стан. Література: [4], с. 95–134.	4

№ з/п	Назва теми практичних занять та перелік основних питань (посилання на літературу та завдання на СРС)	Кількість годин
4	Тема 4. Напружено-деформований стан плоскої шарнірно-з'єднаної ферми Комп'ютерний практикум № 4. Розв'язання задачі напружено-деформованого стану плоскої шарнірно-з'єднаної ферми методом МСЕ з використанням одновимірних скінченних елементів в середовищі Mathcad. Література: [2], с. 87–127. <u>Перелік дидактичних засобів:</u> персональний комп'ютер, програмні продукти Mathcad, ParaView, приклади програмних кодів розв'язання задачі напружено-деформованого стану. <u>Завдання на СРС.</u> Визначення запасу міцності конструкції. Література: [2], с. 32, с. 87–127, с. 362–372. Приклади розв'язання задач механіки суцільного середовища. Рух і течія. Література: [4], с. 138–170.	6
5	Тема 5. Статична пружність. Тривимірна задача лінійної статичної пружності Комп'ютерний практикум № 5. Розв'язання тривимірної задачі статичної пружності на прикладі розрахунку фланця на міцність методом МСЕ з використанням скінченних елементів у вигляді тетраедрів в середовищі Mathcad. Література: [2], с. 15–17, с. 87–127, с. 332–361. <u>Перелік дидактичних засобів:</u> персональний комп'ютер, програмні продукти Gmsh, Mathcad, ParaView, приклади програмних кодів розв'язання тривимірної задачі лінійної пружності. <u>Завдання на СРС.</u> Визначення запасу міцності конструкції. Визначення збіжності розв'язків методом подвійних розрахунків. Література: [2], с. 18, с. 32, с. 332–361. Приклади розв'язання задач механіки суцільного середовища. Основні закони механіки суцільного середовища. Література: [4], с. 172–187.	6
6	Тема 6. Механіка рідини. Задача усталеної течії нестисливої рідини Комп'ютерний практикум № 6. Розв'язання вісесиметричної задачі усталеної течії нестисливої рідини (на базі системи рівнянь Стокса) в циліндричному каналі методом МСЕ з використанням трикутних скінченних елементів в середовищі Mathcad. Література: [2], с. 19–20, с. 218–222, с. 373–385. <u>Перелік дидактичних засобів:</u> персональний комп'ютер, програмні продукти Gmsh, Mathcad, ParaView, приклади програмних кодів розв'язання вісесиметричної задачі усталеної течії нестисливої рідини. <u>Завдання на СРС.</u> Визначення полів тиску та швидкості. Визначення збіжності розв'язків методом подвійних розрахунків. Література: [2], с. 32, с. 373–385. Приклади розв'язання задач механіки суцільного середовища. Механіка рідин та газів. Література: [4], с. 222–250.	4
7	МКР	2
Всього		30

Семінарські заняття

За робочим навчальним планом семінарські заняття не передбачено.

Лабораторні заняття

За робочим навчальним планом лабораторні заняття не передбачено.

6. Самостійна робота студента

№ з/п	Назва теми, що виноситься на самостійне опрацювання	Кількість годин СРС
1	Тема 1. Предмет механіки суцільних середовищ (МСС). Властивості суцільних середовищ <i>Загальні методи дослідження суцільних середовищ при взаємодії їх між собою та з силовими, температурними, радіаційними, електромагнітними полями. Принцип Сен-Венана. Повторення матеріалів курсу теоретичні основи теплотехніки. Література: електронний конспект лекцій [1], с. 15–21.</i> <i>Розв'язання задачі плоско-напруженого стану на прикладі згину консольної балки методом скінченних елементів (МСЕ) з використанням трикутних скінченних елементів в середовищі Mathcad. Література: [2], с. 9–12, с. 87–127.</i>	8
2	Тема 2. Основні поняття, визначення та гіпотези МСС <i>Взаємні залежності між лагранжевими та ейлеревими координатами. Ортоτροпні, анізотропні та трансверсально ізотропні тіла. Зовнішні масові та поверхневі сили. Внутрішні сили (зусилля). Література: електронний конспект лекцій [1], с. 22–31.</i> <i>Визначення запасу міцності конструкції. Методи аналізу точності й достовірності отриманих результатів. Визначення збіжності розв'язків методом подвійних розрахунків. Література: [2], с. 18, с. 32, с. 87–127, с. 149–168, с. 193–197, с. 296–312.</i>	8
3	Тема 3. Введення в тензорний аналіз <i>Формули перетворення компонент вектора при переході від основного до взаємного базису і навпаки. Література: електронний конспект лекцій [1], с. 31–37.</i> <i>Властивості компонент метричного тензора. Залежності між коваріантними і контраваріантними компонентами метричного тензора. Симетричність тензорів напружень і деформацій. Література: електронний конспект лекцій [1], с. 37–42.</i> <i>Тензор Леві-Чівіті і його властивості. Формули для компонент векторного добутку тензорів на базі тензора Леві-Чівіті. Література: електронний конспект лекцій [1], с. 42–48; [Д11]: додатки А–J, с. 403–458.</i> <i>Розрахунок фланця на міцність у вісесиметричній постановці методом МСЕ з використанням трикутних скінченних елементів в середовищі Mathcad. Література: [2], с. 13–14, с. 87–127, с. 149–168, с. 193–195.</i>	8
4	Тема 4. Теорія напружень в суцільному середовищі <i>Принцип перерізу для визначення внутрішніх сил. Вектор напружень, середні напруження і напруження в точці тіла. Нормальні та дотичні напруження. Теплові напруження. Визначення напружень на похилій площині. Позначення напружень на координатних площинах та правила знаків для них. Закономірності зміни напружень при поворотах системи координат. Головні інваріанти тензора напружень. Визначення максимальних дотичних напружень і орієнтації площин на яких вони</i>	8

№ з/п	Назва теми, що виноситься на самостійне опрацювання	Кількість годин СРС
	діють. Література: електронний конспект лекцій [1], с. 48–53; с. 143–153; [Д4]: розділ 2, § 2.1–2.14, с. 68–87. Визначення запасу міцності конструкції. Визначення збіжності розв'язків методом подвійних розрахунків. Література: [2], с. 18, с. 32, с. 87–127, с. 313–331. Приклади розв'язання задач механіки суцільного середовища. Напружений стан. Література: [4], с. 54–92.	
5	Тема 5. Види напруженого стану суцільного середовища Приклади напружених станів. Круги Мора. Центросиметричний, плоский та осесиметричний напружений стан. Диференціальні рівняння статички та динаміки в циліндричних координатах. Література: електронний конспект лекцій [1], с. 54–61; с. 153–166. Розв'язання тривимірної задачі теплопровідності на прикладі розрахунку фланця методом МСЕ з використанням скінченних елементів у вигляді тетраедрів в середовищі Mathcad. Література: [2], с. 8, с. 23–84, с. 149–168, с. 170–191. Визначення збіжності розв'язків методом подвійних розрахунків. Література: [2], с. 23–84, с. 184–191, с. 277–295. Приклади розв'язання задач механіки суцільного середовища. Деформований стан. Література: [4], с. 95–134.	8
6	Тема 6. Теорія деформацій суцільного середовища Початковий та актуальний стан середовища. Вектори переміщень та швидкостей. Градієнти переміщень та швидкостей. Лінійні геометричні рівняння. Залежності між лінійними деформаціями, вектором повороту та переміщеннями. Головні деформації і головні напрями. Геометричні рівняння для скінчених деформацій. Логарифмічна міра деформацій. Швидкості деформацій. Температурні деформації. Формули перетворення компонент тензорів деформацій та швидкості деформацій. Представлення скінчених деформацій через лінійний тензор деформацій і лінійний вектор повороту. Література: електронний конспект лекцій [1], с. 62–67; с. 166–176. [Д4]: розділ 3, § 3.1–3.16, с. 112–155. Розв'язання тривимірної задачі статичної пружності на прикладі розрахунку фланця на міцність методом МСЕ з використанням скінченних елементів у вигляді тетраедрів в середовищі Mathcad. Література: [2], с. 15–17, с. 87–127, с. 332–361. Визначення запасу міцності конструкції. Визначення збіжності розв'язків методом подвійних розрахунків. Література: [2], с. 18, с. 32, с. 332–361. Приклади розв'язання задач механіки суцільного середовища. Основні закони механіки суцільного середовища. Література: [4], с. 172–187.	6
7	Тема 7. Фізичні рівняння однорідного середовища Фізичні рівняння стану. Фізичні закони для твердих тіл. Девіатор деформації і напружень. Ізотропні, ортотропні і анізотропні матеріали. Представлення фізичних рівнянь стану в тензорній формі. Тензор 4-го рангу фізичних констант. Властивості компонент тензорів 4-го рангу фізичних (пружних) констант. Перехід з однієї системи координат в іншу. Співвідношення між напруженням і швидкістю деформації для рідин і газів. Закон Нав'є-Стокса. Девіаторні та середні напруження в рідині. Пружні, пружно спадкові тверді деформівні тіла.	6

№ з/п	Назва теми, що виноситься на самостійне опрацювання	Кількість годин СРС
	Закони Гука, Генки, Синьорині. Пружно нелінійні, пружно пластичні тверді тіла. Енергія пружної деформації. Повна потенціальна енергія тіла. Література: електронний конспект лекцій [1], с. 67–72; с. 176–182. Деформаційна теорія пластичності та теорія пластичної течії. Повзучість твердих тіл. Теорія малих пружно-пластичних деформацій. Література: електронний конспект лекцій [1], с. 72–78, с. 182–190; [Д4]: розділ 9, § 9.1–9.8, с. 279–308.	
8	Тема 8. Закони збереження суцільного середовища Формула Остроградського-Гауса. Теорема про дивергенцію. Основні рівняння механіки суцільних середовищ. Закон збереження маси. Вивід рівняння нерозривності. Інваріантна форма рівняння збереження маси. Форма запису рівняння нерозривності в Ейлеревій і Лагранжевій системах координат. Рівняння руху. Форми запису диференціального рівняння руху. Рівняння рівноваги і тензори напружень в Лагранжевих змінних. Тензори Піоли та Коші-Ейлера. Закони збереження маси і кількості руху в МСС. Дисипативна функція. Рівняння зв'язку між термодинамічними потенціалами. Література: електронний конспект лекцій [1], с. 83–88; с. 191–194. Контактні, конвективні та радіаційні умови теплообміну з зовнішнім середовищем. Література: електронний конспект лекцій [1], с. 88–94; с. 194–196. Розв'язання вісесиметричної задачі усталеної течії нестисливої рідини (на базі системи рівнянь Стокса) в циліндричному каналі методом МСЕ з використанням трикутних скінченних елементів в середовищі Mathcad. Література: [2], с. 19–20, с. 218–222, с. 373–385. Визначення полів тиску та швидкості. Визначення збіжності розв'язків методом подвійних розрахунків. Література: [2], с. 32, с. 373–385. Приклади розв'язання задач механіки суцільного середовища. Механіка рідин та газів. Література: [4], с. 222–250.	6
9	Тема 9. Розв'язуючі рівняння МСС в декартових та криволінійних координатах Двохвимірні задачі механіки суцільного середовища. Гіпотези і рівняння плоскої та осесиметричної задач. Література: електронний конспект лекцій [1], с. 95–101; с. 197–206; [Д4]: розділ 6, § 6.1–6.8, с. 207–212. Квазістатичні рівняння термов'язкопружно-пластичності. Граничні умови. Література: електронний конспект лекцій [1], с. 101–107; с. 206–210; [Д4]: розділ 9, § 9.1–9.8, с. 279–306. Різниця між нереологічною теорією пластичності і теорією в'язко-пластичності. Література: електронний конспект лекцій [1], с. 107–111; с. 210–211; [Д4]: розділ 9, § 9.1–9.8, с. 279–306. Визначення параметрів стану полімерів для неізотермічних процесів. Література: електронний конспект лекцій [1], с. 117–123; с. 214–217; [Д4]: розділ 8, § 8.1–8.11, с. 248–276.	8
10	МКР	4
11	Залік	6
Всього		76

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 освітніх компонентах «Пакувальне обладнання», «САПР технологічного обладнання», «Курсовий проєкт з інжинірингу пакувального обладнання», «Наукова робота за темою магістерської дисертації».

Навчальним планом освітнього компонента 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 змінено у відповідності до особливостей викладання лекційного матеріалу і сприйняття 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 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 освітнього компонента. При цьому сума заохочувальних балів не може перевищувати 25 % від рейтингової шкали.
- штрафні бали в рамках освітнього компонента не передбачено.

Політика дедлайнів та перескладань

У разі виникнення заборгованостей з освітнього компонента 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.	CPC	МКР	РГР	Семестрова атестація
2	4	120	14	30	–	–	76	1	–	залік

Поточний контроль: експрес-опитування, звіти з комп'ютерних практикумів, модульна контрольна робота.

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

Семестровий контроль: залік.

Рейтинг студента з освітнього компонента складається з балів, що він отримує за:

- 1) відповіді на запитання експрес-контролю теоретичного матеріалу (проводиться 4 експрес-контролі);
- 2) виконання проектних та розрахункових завдань на практичних заняттях (всього 6);
- 3) модульна контрольна робота.

Система рейтингових (вагових) балів та критерії оцінювання

1. Експрес-контроль:

- «відмінно», повна відповідь (не менше 90% потрібної інформації) – 5 балів;
- «добре», достатньо повна відповідь (не менше 75% потрібної інформації), або повна відповідь з незначними неточностями – 4 бали;
- «задовільно», неповна відповідь (не менше 60% потрібної інформації) та незначні помилки – 3 бали;
- «незадовільно», незадовільна відповідь (не відповідає вимогам на 1 бал) – 0 балів.

2. Практичні заняття:

- «відмінно», творче виконання завдання, вільне володіння матеріалом – 10 балів;
- «добре», виконання завдання в повному обсязі – 7-8 балів;
- «задовільно», виконання завдання з окремими незначними помилками – 5 балів;

- «незадовільно», невиконання завдання – 0 балів;

3. Модульна контрольна робота.

- повна відповідь (не менше 90% потрібної інформації) – 19-20 балів;
- достатньо повна відповідь (не менше 75% потрібної інформації або незначні неточності) – 14-15 балів;
- неповна відповідь (не менше 60% потрібної інформації та деякі помилки) – 11-12 балів;
- 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 освітнього компонента на студентській конференції або публікацію у журналі.

За результатами навчальної роботи за перші 7 тижнів «ідеальний студент» має набрати 50 балів. На атестації (8-й тиждень) студент отримує «зараховано», якщо його поточний рейтинг не менше 25 балів.

За результатами 15 тижнів «ідеальний студент» має набрати 100 балів. На другій атестації (16-й тиждень) студент отримує «зараховано», якщо його поточний рейтинг не менше 50 балів.

Максимальна сума балів за семестр R складає 100 (де $R = r_{pr} \cdot 8 + r_{e-kp} \cdot 4 + r_{mkr} = 6 \cdot 10 + 5 \cdot 4 + 20 = 60 + 20 + 20 = 100$). Для отримання заліку з кредитного модуля «автоматом» потрібно мати рейтинг не менше 60 балів.

Студенти, які наприкінці семестру мають рейтинг менше 60 балів, а також ті, хто хоче підвищити оцінку, виконують залікову контрольну роботу. Завдання залікової контрольної роботи складається з трьох питань (два теоретичних і одне практичне) різних тем робочої програми з переліку, що наданий у методичних рекомендаціях до засвоєння кредитного модуля. Додаткове питання з тем практичних занять отримують студенти, які не брали участі у роботі певного заняття. Незадовільна відповідь з додаткового питання знижує загальну оцінку на 4 бали.

Кожне теоретичне питання залікової контрольної роботи (r_1 , r_2) оцінюється у 25 балів, а практичне (r_3) у 50 балів, відповідно до системи оцінювання.

Система оцінювання теоретичних питань:

- «відмінно», повна відповідь (не менше 90% потрібної інформації) – 25-23 балів;
- «добре», достатньо повна відповідь (не менше 75% потрібної інформації або незначні неточності) – 22-19 балів;
- «задовільно», неповна відповідь (не менше 60% потрібної інформації та деякі помилки) – 18-15 балів;
- «незадовільно», незадовільна відповідь – 0 балів.

Система оцінювання практичного запитання:

- «відмінно», повне безпомилкове розв'язування завдання (не менше 90% потрібної інформації) – 50-45 балів;
- «добре», повне розв'язування завдання з несуттєвими неточностями (не менше 75% потрібної інформації або незначні неточності) – 44-38 балів;

– «задовільно», завдання виконане з певними недоліками (не менше 60% потрібної інформації та деякі помилки) – 37-30 балів;

– «незадовільно», завдання не виконано – 0 балів.

Рейтинг заліку з кредитного модуля складає:

$$R = r_1 + r_2 + r_3,$$

де r_1, r_2, r_3 – рейтинг за залікову контрольну роботу, відповідно за кожне з трьох питань залікової контрольної роботи.

Тобто

$$R = 25 + 25 + 50 = 100 \text{ балів.}$$

Умови допуску до семестрового контролю: семестровий рейтинг більше 40 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 освітнього компонента

Перелік питань, які виносяться на семестровий контроль

Теоретичні питання

1. Охарактеризуйте визначення МСС та аксіоматику механіки суцільних середовищ.
2. Проаналізуйте квазістатичні рівняння термо-в'язкопружно-пластичності. Охарактеризуйте відповідні граничні умови.
3. Охарактеризуйте зв'язані рівняння лінійної термopружності. Проаналізуйте початкові й граничні умови.
4. Охарактеризуйте загальну характеристику фізичних явищ та процесів, що протікають в твердих тілах, рідинах та газах. Охарактеризуйте фізичні моделі МСС.
5. Проаналізуйте поняття континууму. Охарактеризуйте Лагранжеві та Ейлєреві координати для опису руху тіл, субстанціональну похідну за часом.
6. Проаналізуйте формули для компонент векторного добутку тензорів на базі тензора Леві-Чівіті.
7. Проаналізуйте властивості компонент метричного тензора. Запишіть і проаналізуйте залежності між коваріантними і контраваріантними компонентами метричного тензора.
8. Охарактеризуйте векторні базиси в початковій та актуальній конфігурації тіл.
9. Охарактеризуйте гіпотези МСС та охарактеризуйте їх роль під час розробки математичних моделей.
10. Доведіть симетричність тензорів напружень і деформацій.
11. Охарактеризуйте поняття вектора, координатних систем. Проаналізуйте представлення векторів в прямокутних і косокутних прямолінійних координатах.

12. Проаналізуйте головні інваріанти тензора напружень. Охарактеризуйте визначення максимальних дотичних напружень і орієнтації площин на яких вони діють.
13. Проаналізуйте та порівняйте та проаналізуйте основний і взаємний векторні базиси. Охарактеризуйте властивості змішаного добутку векторів.
14. Охарактеризуйте визначення тензора Леві-Чівіті в ортогональних системах координат та його властивості.
15. Охарактеризуйте поняття німого, вільного, коваріантного і контраваріантного індексів та наведіть приклади їх застосування.
16. Охарактеризуйте принцип перерізу для визначення внутрішніх сил.
17. Охарактеризуйте поняття коваріантних і контраваріантних компонент вектора. Проаналізуйте дії над векторами.
18. Охарактеризуйте поняття вектора напружень, середніх напружень і напруження в точці тіла. Проаналізуйте формули для нормальних та дотичних напружень на площині.
19. Охарактеризуйте визначення тензора. Проаналізуйте представлення тензорів через вектори основного і взаємного базисів, векторний супровід.
20. Охарактеризуйте визначення напружень на похилій площині. Проаналізуйте позначення напружень на координатних площинах та правила знаків для них.
21. Охарактеризуйте фундаментальні тензори систем координат: метричний, перетворення координат, Леві-Чівіті.
22. Проаналізуйте та порівняйте види напружених станів. Охарактеризуйте круги Мора.
23. Проаналізуйте та порівняйте унарні дії над тензором: транспонування, скалярна згортка, векторна згортка, слід тензора.
24. Проаналізуйте закономірності зміни напружень під час повороту системи координат.
25. Проаналізуйте та порівняйте бінарні операції з тензорами: сума тензорів, скалярний добуток, подвійний скалярний добуток, векторний добуток, тензорний добуток.
26. Проаналізуйте визначення центросиметричного, плоского та осесиметричного напруженого станів та порівняйте їх.
27. Проаналізуйте та порівняйте диференціювання тензорів в криволінійній системі координат з декартовою.
28. Проаналізуйте представлення скінчених деформацій через лінійний тензор деформацій і лінійний вектор повороту.
29. Проаналізуйте диференціальні рівняння статки та динаміки в циліндричних координатах та порівняйте їх з декартовими.
30. Охарактеризуйте поняття градієнта тензора, наведіть приклади його застосування в фізичних рівняннях МСС.
31. Охарактеризуйте поняття оператора Гамільтона, наведіть приклади його застосування в рівняннях МСС.
32. Охарактеризуйте енергію пружної деформації. Визначте поняття повної потенціальної енергії тіла.
33. Проаналізуйте та порівняйте оператори дивергенції і ротора, наведіть приклади їх застосування в рівняннях МСС.
34. Охарактеризуйте температурні деформації.
35. Охарактеризуйте криволінійні координати.
36. Проаналізуйте геометричні рівняння для скінчених деформацій.
37. Охарактеризуйте процедуру диференціювання тензорів в криволінійних координатах.
38. Охарактеризуйте закони збереження маси і кількості руху в МСС.
39. Проаналізуйте властивості символів Кристофеля.
40. Охарактеризуйте закони Гука, Генки, Сіньорині та порівняйте їх.
41. Проаналізуйте коваріантні похідні від тензора другого рангу заданого контраваріантними компонентами.
42. Проаналізуйте та порівняйте властивості пружно нелінійних, пружно-пластичних твердих тіл.

43. Проаналізуйте процедуру диференціювання тензора заданого коваріантними компонентами.
44. Охарактеризуйте поняття дисипативної функції. Визначте рівняння зв'язку між термодинамічними потенціалами.
45. Проаналізуйте процедуру перетворення компонент фундаментальних тензорів і символів Кристофеля під час зміни системи координат.
46. Охарактеризуйте фізичні рівняння стану та фізичні закони для твердих тіл.
47. Охарактеризуйте співвідношення між напруженням і швидкістю деформації для рідин і газів. Проаналізуйте закон Нав'є-Стокса. Отримайте формули для девіаторних та середніх напружень в рідині.
48. Проаналізуйте формулу Остроградського-Гауса та опишіть її призначення. Охарактеризуйте теорему про дивергенцію.
49. Проаналізуйте формулу скалярного добутку будь-якого тензора на метричний тензор.
50. Охарактеризуйте матеріальну або тензорну похідну.
51. Проаналізуйте зв'язок між метричними тензорами і символами Кристофеля. Визначте поняття символів Кристофеля 1-го роду.
52. Проаналізуйте основні рівняння механіки суцільних середовищ.
53. Охарактеризуйте закон збереження маси. Виконайте вивід рівняння нерозривності.
54. Охарактеризуйте поняття логарифмічної міри деформацій та швидкості деформацій.
55. Проаналізуйте систему рівнянь термопластичності. Проаналізуйте відповідні початкові і граничні умови.
56. Охарактеризуйте закон збереження повної енергії.
57. Охарактеризуйте основні рівняння МСС для рідин та газів.
58. Проаналізуйте рівняння рівноваги, енергії і закон Гука в декартовій системі координат.
59. Охарактеризуйте рівняння руху в різних системах відліку. Отримайте інваріантну форму рівняння руху.
60. Проаналізуйте процедуру визначення базисних векторів циліндричної системи координат.

Практичні завдання

1. Розв'яжіть задачу. Якщо течія рідини відбувається дуже повільно, так що членами порядку квадрата швидкості й вище можна знехтувати, то отримуємо граничний випадок, який відомий під назвою повзучого руху ($v_j v_{i,j} = 0$). Довести, що в такому випадку при усталеному русі нестисливої рідини при нульових масових силах тиск є гармонічною функцією, тобто $\nabla^2 p = 0$.
2. Розв'яжіть задачу. В декартовій системі координат компоненти тензора напружень в точці M такі: $\sigma^{11} = 12$, $\sigma^{12} = \sigma^{13} = 4$, $\sigma^{23} = 8$, $\sigma^{22} = \sigma^{33} = 0$. а) Визначити головні напруження і головні осі тензора напружень. б) Розкласти тензор напружень на суму кульового тензора і девіатора.
3. Розв'яжіть задачу. Інтегруванням рівнянь Ейлера, що записане для баротропної течії рідини при потенціальних масових силах $\dot{v}_i = -(\Omega + P)_{,i}$, де $-\Omega_{,i} = b_i$, вздовж ліній току отримати рівняння $\Omega + P + \frac{v^2}{2} + \int \frac{\partial v_i}{\partial t} dx_i = C(t)$.
4. Розв'яжіть задачу. Довести, що у нев'язкої баротропної рідини при потенціальних силах швидкість зміни циркуляції дорівнює нулю (теорема Кельвіна про сталість циркуляції).
5. Розв'яжіть задачу. Записати рівняння нерозривності і рівняння Нав'є-Стокса-Дюгема для безвихрового руху через потенціал швидкості φ .

6. Задача. Рух середовища називається потенціальним, якщо існує функція Φ така, що $\mathbf{v} = \text{grad} \Phi$. Написати рівняння нерозривності для потенціального руху стисливого і нестисливого середовища у вигляді рівняння для потенціалу Φ в інваріантній формі.
7. Розв'яжіть задачу. Для векторів $\mathbf{a} = 3\mathbf{i} + 4\mathbf{k}$, $\mathbf{b} = 2\mathbf{j} - 6\mathbf{k}$ і діадика $\mathbf{D} = 3\mathbf{i}\mathbf{i} + 2\mathbf{i}\mathbf{k} - 4\mathbf{j}\mathbf{j} - 5\mathbf{k}\mathbf{j}$ шляхом перемноження матриць обчислити добутки $\mathbf{a} \cdot \mathbf{D}$, $\mathbf{D} \cdot \mathbf{b}$ і $\mathbf{a} \cdot \mathbf{D} \cdot \mathbf{b}$.
8. Розв'яжіть задачу. По горизонтальній шорсткуватій поверхні площини рухається з постійною швидкістю брус. Вага бруса дорівнює $P_z = 1 \text{ кгс} \approx 10 \text{ Н}$, коефіцієнт тертя Кулона по площині дорівнює $f_{\text{терт}} = 0,3$, площа основи бруса $S = 0,02 \text{ м}^2$. Знайти вектор напружень на частині площини, що знаходиться в даний момент під брусом.
9. Розв'яжіть задачу. Вектор V_i задано в базисі $\mathbf{a}, \mathbf{b}, \mathbf{c}$ своїми компонентами $V_i = \alpha a_i + \beta b_i + \gamma c_i$. Показати, що $\alpha = \frac{\epsilon_{ijk} V_i b_j c_k}{\epsilon_{pqr} a_p b_q c_r}$.
10. Розв'яжіть задачу. Знайти функцію тиску $P(p)$ при баротропній течії рідини (баротропним називається процес, в якому $p = f(\rho)$) з рівнянням нерозривності $p = \lambda \rho^k$, де λ і k – постійні.
11. Розв'яжіть задачу. Широка ємність наповнена нестисливою рідиною рухається з постійним прискоренням $\vec{a} = a_2 \vec{e}_2 + a_3 \vec{e}_3$ в полі сили тяжіння, що направлена вздовж осі X_3 . Знайти нахил вільної поверхні рідини в ємності.
12. Розв'яжіть задачу. Показати, що визначник

$$\det A_{ij} = \begin{vmatrix} A_{11} & A_{12} & A_{13} \\ A_{21} & A_{22} & A_{23} \\ A_{31} & A_{32} & A_{33} \end{vmatrix} \text{ можна записати у вигляді } \epsilon_{ijk} A_{1i} A_{2j} A_{3k}.$$

13. Розв'яжіть задачу. Вивести рівняння газової динаміки ($(c^2 \delta_{ij} - v_i v_j) v_{j,i} = 0 \vee c^2 \nabla \cdot \mathbf{v} - \mathbf{v} \cdot (\mathbf{v} \cdot \nabla \mathbf{v}) = 0$, де c – швидкість звуку в середовищі, м/с) та записати ці рівняння через потенціал швидкості Φ . Рівняння газової динаміки отримано для усталеної безвихрової течії стисливої рідини за допомогою об'єднання рівнянь Ейлера та нерозривності.
14. Розв'яжіть задачу. Баротропна рідина описується рівнянням стану $p = \lambda \rho^k$, де λ і k – постійні. Рідина лишається у спокої в полі сили тяжіння, що діє в напрямку X_3 . Знайти розподіл тиску в залежності від X_3 , якщо при $X_3 = 0$ тиск дорівнює p_0 .
15. Розв'яжіть задачу. Нехай кути між напрямками осей координат системи зі штрихами і системи без штрихів (див. попередню задачу) дано в такій таблиці:

	x_1	x_2	x_3
x'_1	135°	60°	120°
x'_2	90°	45°	45°
x'_3	45°	60°	120°

Визначити компоненти тензора перетворення координат C_{ij} і показати, що умови ортогональності виконуються.

16. Розв'яжіть задачу. Нехай атмосферне повітря є ідеальним газом, температура якого змінюється лінійно з висотою $T = T_0 + \alpha x_3$, де T_0 – температура на поверхні Землі, а координата x_3 відраховується від поверхні Землі угору. Визначити атмосферний тиск як функцію x_3 в умовах гідростатики.

17. Розв'яжіть задачу. Двовимірне течія є паралельною площині x_1x_2 , компоненти швидкості v_3 і $\frac{\partial v_3}{\partial x_3}$ дорівнюють нулю. Написати для такого випадку рівняння Нав'є-Стокса і рівняння нерозривності нестисливої рідини.
18. Розв'яжіть задачу. Осі декартової системи координат $Ox'_1x'_2x'_3$ отримані поворотом системи $Ox_1x_2x_3$ на кут θ навколо осі x_3 . Визначити коефіцієнти перетворення C_{ij} (тензор перетворення) вказаних осей і знайти компоненти вектора $\mathbf{v} = v_1\mathbf{e}_1 + v_2\mathbf{e}_2 + v_3\mathbf{e}_3$ в системі $Ox'_1x'_2x'_3$.
19. Розв'яжіть задачу. В тривимірному просторі обчислити наступні вирази, що вміщують символ Кронекера δ_{ij} : а) δ_{ii} ; б) $\delta_{ij}\delta_{ij}$; в) $\delta_{ij}\delta_{ik}\delta_{jk}$; г) $\delta_{ij}\delta_{jk}$; д) $\delta_{ij}A_{ik}$.
20. Розв'яжіть задачу. Для тензора Леві-Чивіті ε_{ijk} безпосереднім розписуванням по індексах показати, що: а) $\varepsilon_{ijk}\varepsilon_{kij} = 6$; б) $\varepsilon_{ijk}a_ja_k = 0$. $\varepsilon_{123} = \varepsilon_{231} = \varepsilon_{312} = 1$, решта = 0.
 $\varepsilon_{321} = \varepsilon_{132} = \varepsilon_{213} = -1$,
21. Розв'яжіть задачу. В осесиметричному потоці в напрямку осі x_3 швидкість є функцією x_3 і r , де $r^2 = x_1^2 + x_2^2$. Знайти, який вигляд приймає при цьому рівняння нерозривності, якщо вектор швидкості представлений у формі $\vec{v} = v_r\vec{e}_r + v_3\vec{e}_3$, де $\vec{e}_r$ – одиничний вектор радіального напрямку.
22. Розв'яжіть задачу. Для тензорів $\mathbf{D} = 3\mathbf{i}\mathbf{i} + 2\mathbf{j}\mathbf{j} - \mathbf{j}\mathbf{k} + 5\mathbf{k}\mathbf{k}$ і $\mathbf{F} = 4\mathbf{i}\mathbf{k} + 6\mathbf{j}\mathbf{j} - 3\mathbf{k}\mathbf{j} + \mathbf{k}\mathbf{k}$ обчислити подвійний скалярний добуток $\mathbf{D}:\mathbf{F}$.
23. Розв'яжіть задачу. Показати, що будь-який тензор 2-го рангу, що заданий у вигляді суми N діаг, можна звести до суми трьох членів, якщо використовувати базисні вектори $\mathbf{e}_1, \mathbf{e}_2, \mathbf{e}_3$ в якості: а) перших множників, б) других множників у діадах.
24. Розв'яжіть задачу. В ортогональній декартовій системі координат визначити: а) одиничний вектор, паралельний вектору $\mathbf{v} = 2\mathbf{i} + 3\mathbf{j} - 6\mathbf{k}$ (або $\vec{v} = 2\vec{i} + 3\vec{j} - 6\vec{k}$); б) одиничний вектор прямої, що з'єднує точки $P(1;0;3)$ і $Q(0;2;1)$.
25. Розв'яжіть задачу. Запишіть рівняння нерозривності у змінних Елера у довільній криволінійній системі координат, використовуючи фізичні компоненти вектора швидкості. Отримати із нього рівняння нерозривності: а) в циліндричній системі координат; б) у сферичній системі координат.
26. Розв'яжіть задачу. Потік називається плоско-паралельним, якщо швидкості v_x, v_y не залежать від декартової координати z і $v_z = 0$. Дано плоско паралельний потік з полем швидкості $v_x = A \frac{x^2 - y^2}{r^4}$, $v_y = 2A \frac{xy}{r^4}$, $v_z = 0$, $A = \text{const}$, де x, y, z – декартові координати, $r = \sqrt{x^2 + y^2}$. Довести, що поле є полем швидкості нестисливого середовища.
27. Розв'яжіть задачу. Показати, що змішаний добуток векторів $\mathbf{a} \cdot \mathbf{b} \times \mathbf{c} = 0$, якщо вектори $\mathbf{a}, \mathbf{b}, \mathbf{c}$ є лінійно залежними. Перевірити лінійну залежність для такої трійки векторів:
 $\mathbf{u} = 3\mathbf{i} + \mathbf{j} - 2\mathbf{k}$;
 $\mathbf{v} = 4\mathbf{i} - \mathbf{j} - \mathbf{k}$;
 $\mathbf{w} = \mathbf{i} - 2\mathbf{j} + \mathbf{k}$.
28. Розв'яжіть задачу. Адіабатна течія (без тертя) ідеального газу (що підпорядковується закону Клапейрона) представляє собою баротропну течію і описується рівнянням $p = C\rho^k$, де C і k – постійні, причому $k = c_p/c_v$ – відношення теплоємності при

постійному тиску і постійному об'ємі. Знайти залежності між температурою і густиною, а також між температурою і тиском для даного процесу.

29. Розв'яжіть задачу. Визначити середнє нормальне напруження $\sigma_{ii}/3$ у нестисливій стоксовій (нелінійній) рідині, для якої $\tau_{ij} = \alpha D_{ij} + \beta D_{ik} D_{kj}$, причому α, β – постійні, де $D_{ij} = \left(\frac{\partial v_j}{\partial x^i} + \frac{\partial v_i}{\partial x^j} \right) = v_{j,i} + v_{i,j}$ – компоненти тензора швидкості деформації, s^{-1} ; v_i – компоненти вектора швидкості, m/s .
30. Розв'яжіть задачу. Отримайте рівняння енергії (теплопровідності) в циліндричній системі координат.

Перелік питань і завдань, які виносяться на модульну контрольну роботу

1. Проаналізуйте зв'язані рівняння лінійної термопружності. Охарактеризуйте початкові й граничні умови.
2. Проаналізуйте поняття континууму. Охарактеризуйте Лагранжеві та Ейлереві координати для опису руху тіл, субстанціональну похідну за часом.
3. Проаналізуйте квазістатичні рівняння термов'язкопружно-пластичності. Охарактеризуйте відповідні граничні умови.
4. Проаналізуйте та порівняйте формули для компонент векторного добутку тензорів на базі тензора Леві-Чівіті.
5. Проаналізуйте загальну характеристику фізичних явищ та процесів, що протікають в твердих тілах, рідинах та газах. Охарактеризуйте фізичні моделі МСС.
6. Охарактеризуйте визначення МСС та аксіоматику механіки суцільних середовищ.
7. Охарактеризуйте векторні базиси в початковій та актуальній конфігурації тіл.
8. Доведіть симетричність тензорів напружень і деформацій.
9. Охарактеризуйте властивості компонент метричного тензора. Запишіть і проаналізуйте залежності між коваріантними і контраваріантними компонентами метричного тензора.
10. Охарактеризуйте гіпотези МСС та проаналізуйте їх роль під час розробки математичних моделей.
11. Охарактеризуйте визначення тензора Леві-Чівіті в ортогональних системах координат та його властивості.
12. Проаналізуйте головні інваріанти тензора напружень. Охарактеризуйте визначення максимальних дотичних напружень і орієнтації площин на яких вони діють.
13. Проаналізуйте та порівняйте основний і взаємний векторні базиси. Охарактеризуйте властивості змішаного добутку векторів.
14. Охарактеризуйте поняття вектора, координатних систем. Проаналізуйте представлення векторів в прямокутних і косокутних прямолінійних координатах.
15. Охарактеризуйте принцип перерізу для визначення внутрішніх сил.
16. Проаналізуйте поняття коваріантних і контраваріантних компонент вектора. Охарактеризуйте дії над векторами.
17. Охарактеризуйте поняття вектора напружень, середніх напружень і напруження в точці тіла. Отримайте формули для нормальних та дотичних напружень на площині.
18. Охарактеризуйте поняття німого, вільного, коваріантного і контраваріантного індексів та наведіть приклади їх застосування.
19. Проаналізуйте та порівняйте види напружених станів. Охарактеризуйте круги Мора.
20. Охарактеризуйте визначення напружень на похилій площині. Проаналізуйте позначення напружень на координатних площинах та правила знаків для них.
21. Охарактеризуйте фундаментальні тензори систем координат: метричний, перетворення координат, Леві-Чівіті.

22. Охарактеризуйте визначення тензора. Проаналізуйте представлення тензорів через вектори основного і взаємного базисів, векторний супровід.
23. Проаналізуйте закономірності зміни напружень під час повороту системи координат.
24. Охарактеризуйте визначення центросиметричного, плоского та осесиметричного напруженого станів та порівняйте їх.
25. Проаналізуйте та порівняйте унарні дії над тензором: транспонування, скалярна згортка, векторна згортка, слід тензора.
26. Проаналізуйте та порівняйте бінарні операції з тензорами: сума тензорів, скалярний добуток, подвійний скалярний добуток, векторний добуток, тензорний добуток.
27. Проаналізуйте диференціальні рівняння статички та динаміки в циліндричних координатах та порівняйте їх з декартовими.
28. Проаналізуйте та порівняйте диференціювання тензорів в криволінійній системі координат з декартовою.
29. Охарактеризуйте енергію пружної деформації. Проаналізуйте поняття повної потенціальної енергії тіла.
30. Проаналізуйте представлення скінчених деформацій через лінійний тензор деформацій і лінійний вектор повороту.
31. Охарактеризуйте поняття градієнта тензора, наведіть приклади його застосування в фізичних рівняннях МСС.
32. Проаналізуйте поняття оператора Гамільтона, наведіть приклади його застосування в рівняннях МСС.
33. Охарактеризуйте температурні деформації.
34. Проаналізуйте геометричні рівняння для скінчених деформацій.
35. Проаналізуйте та порівняйте оператори дивергенції і ротора, наведіть приклади їх застосування в рівняннях МСС.
36. Охарактеризуйте криволінійні координати.
37. Охарактеризуйте процедуру диференціювання тензорів в криволінійних координатах.
38. Проаналізуйте Гука, Генки, Синьоріні та порівняйте їх.
39. Проаналізуйте закони збереження маси і кількості руху в МСС.
40. Охарактеризуйте властивості символів Кристофеля.
41. Проаналізуйте та порівняйте фізичні властивості пружно нелінійних, пружно-пластичних твердих тіл.
42. Охарактеризуйте коваріантні похідні від тензора другого рангу заданого контраваріантними компонентами.
43. Проаналізуйте поняття дисипативної функції. Визначте рівняння зв'язку між термодинамічними потенціалами.
44. Охарактеризуйте процедуру диференціювання тензора заданого коваріантними компонентами.
45. Охарактеризуйте фізичні рівняння стану та фізичні закони для твердих тіл.

Робочу програму освітнього компонента (силабус):

Складено професор, д.т.н., професор, Антон КАРВАЦЬКИЙ

Ухвалено кафедрою хімічного, полімерного і силікатного машинобудування (протокол № 17 від 04.06.2025 р.)

Погоджено Методичною комісією факультету (протокол № 11 від 27.06.2025 р.)