



Моделювання тепломеханічних станів елементів атомних енергетичних установок засобами ANSYS

Робоча програма навчальної дисципліни (силабус)

1. Реквізити навчальної дисципліни

Рівень вищої освіти	<i>Другий (магістерський)</i>
Галузь знань	<i>G Інженерія, виробництво та будівництво</i>
Спеціальність	<i>G4 Енерговиробництво</i>
Спеціалізація	<i>G4.01 Атомна енергетика</i>
Освітня програма	<i>ОНП Атомні електричні станції</i>
Статус дисципліни	<i>нормативна</i>
Форма навчання	<i>Очна(денна)</i>
Рік підготовки, семестр	<i>I курс, осінній семестр</i>
Обсяг дисципліни	<i>120 годин/4 кредитів ЄКТС, 12 години лекцій, 44 годин комп'ютерних практикумів, 64 СРС</i>
Семестровий контроль/ контрольні заходи	<i>залік\ модульна контрольна робота, розрахунково-графічна робота</i>
Розклад занять	http://roz.kpi.ua/
Мова викладання	<i>Українська</i>
Інформація про керівника курсу / викладачів	Лектор: к.т.н., доцентка, Лебедь Наталія Леонідівна, nata.lebeddom@gmail.com Комп'ютерний практикум: к.т.н., доцентка, Лебедь Наталія Леонідівна, nata.lebeddom@gmail.com
Розміщення курсу	https://classroom.google.com/ , https://campus.kpi.ua

2. Програма навчальної дисципліни

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

Предмет навчальної дисципліни *процедура комп'ютерного моделювання теплових процесів в елементах енергетичного обладнання за допомогою програмного комплексу ANSYS*

В рамках дисципліни майбутні фахівці будуть вивчати програмний комплекс ANSYS який є одним з найпоширеніших програмних комплексів та використовується в багатьох університетах для навчання студентів і виконання науково-дослідних робіт. Його переваги: багатоцільова спрямованість програми, незалежність від апаратних засобів (від персональних комп'ютерів до робочих станцій і суперкомп'ютерів), використання передових засобів геометричного моделювання на базі сплайнів (технологія NURBS). Повна сумісність з CAD / CAM / CAE системами провідних виробників. ANSYS використовується для оптимізації проектних розробок на ранніх стадіях, що знижує вартість продукції. Все це допомагає проектним організаціям скоротити цикл розробки, що складається у виготовленні зразків-прототипів, їх випробувань і повторному виготовленні зразків, а також виключити дорогий процес доопрацювання виробу.

Понад 35 років використання програми ANSYS дає можливість інженерам виробляти продукцію високої якості і швидко досягати успіху на ринку товарів і послуг. Протягом цього часу компанія ANSYS Inc., безперервно вдосконалюючи технологію, створює гнучкі і зручні системи чисельного моделювання для широкого кола галузей виробництва, що дозволяє різним компаніям виконувати повноцінний аналіз своїх

проектних розробок і тим самим домагатися максимальної ефективності витрат на обчислювальну техніку і програмні засоби.

Метою навчальної дисципліни є формування здатностей (компетентностей), які студент набуде після вивчення дисципліни:

- здатність до пошуку, оброблення, аналізу та застосування інформації з різних джерел (ЗК 01);
- розробляти, досліджувати та застосовувати фізичні, математичні та комп'ютерні моделі, розрахункові методи та спеціалізоване програмне забезпечення для розв'язання наукових задач атомної енергетики (ФК 01);
- здатність застосовувати отримані спеціалізовані концептуальні знання та навички при проектуванні та експлуатації обладнання та систем (ФК 03);
- демонструвати знання і розуміння математичних принципів і методів, необхідних для моделювання систем та процесів (ФК 04);
- демонструвати знання характеристик специфічних матеріалів, обладнання, процесів та продуктів в галузі атомної енергетики, умов їх використання та відповідних обмежень (ФК 08).

Згідно з вимогами освітньо-наукової програми студенти після засвоєння навчальної дисципліни мають продемонструвати такі **програмні результати навчання**:

1. Розв'язувати складні інженерні завдання і проблеми атомної енергетики, що потребує оновлення та інтеграції знань (ПРН 01).
2. Демонструвати спеціалізовані концептуальні знання з атомної енергетики, набуті у процесі навчання та/або професійної діяльності, у тому числі знання і розуміння новітніх досягнень, які забезпечують здатність до інноваційної та дослідницької діяльності (ПРН 02).
3. Використовувати сучасні технології, обладнання, засоби управління інформацією для вирішення складних інженерних завдань і проблем атомної енергетики (ПРН 05).
4. Застосовувати отримані знання для аналізу інженерних об'єктів, процесів і методів атомної енергетики (ПРН 06).
5. Застосовувати свої знання і розуміння для розробки проектів згідно із визначеними та описаними вимогами до конструкцій, технологічних схем, режимів роботи обладнання, характеристик теплоносіїв, схем їх руху та відповідних матеріалів, що застосовуються при аналізі процесів і проектуванні обладнання атомно-енергетичного комплексу (ПРН 08).
6. Формулювати і розв'язувати складні інженерні, виробничі та/або дослідницькі задачі під час проектування і експлуатації обладнання та створення конкурентоспроможних розробок, втілення результатів у інноваційних проектах (ПРН 10).
7. Обирати і використовувати відповідне обладнання, інструменти та методи для вирішення інженерних та/або наукових завдань в атомній енергетиці (ПРН 11).
8. Планувати і виконувати наукові дослідження в галузі атомної енергетики, обирати і застосовувати сучасні технології, інструменти і методи дослідження, формулювати і перевіряти гіпотези, аргументувати висновки, за результатами досліджень надавати практичні рекомендації (ПРН 17).

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

Пререквізити дисципліна передбачає попереднє засвоєння матеріалу математичного аналізу, диференціальних рівнянь, загальної фізики, тепломасообміну, опору матеріалів. Дисципліна забезпечує теоретичну та практичну підготовку для вирішення задач, що можуть бути поставлені здобувачу при проходженні науково-дослідної практики і при виконанні магістерської дисертації.

Постреквізити дисципліни: Наукова робота за темою магістерської дисертації (ПО 14)

3. Зміст навчальної дисципліни

Розділ 1 ANSYS WORKBENCH

Тема 1.1 Основи роботи в ANSYS WORKBENCH.

Тема 1.2 Побудова геометричних моделей в ANSYS WORKBENCH.

Тема 1.3 Використання розрахункових сіток в ANSYS WORKBENCH.

Розділ 2 Розв'язання задач механіки деформованого тіла

Тема 2.1 Основи роботи в оболонці Workbench Mechanical

Тема 2.2 Робота з матеріалами в Engineering Data

Тема 2.3 Інтерфейс застосунку Workbench Mechanical

Тема 2.4 Створення розрахункової моделі в Workbench Mechanical

Розділ 3 Розв'язання задач конвективного теплообміну

Тема 3.1 Основи моделювання задач конвективного теплообміну

Тема 3.2 Етапи роботи у Fluent

Тема 3.3 Запуск програми. Інтерфейс програми Fluent.

Тема 3.4 Підготовка розрахункової моделі у Fluent

Тема 3.5 Розв'язувач. Постпроцесінг.

Тема 3.7 Моделювання турбулентних течій у Fluent

4. Навчальні матеріали та ресурси

Базова (підручники, навчальні посібники) література.

1. Баранюк, О. В. Математичне моделювання систем та процесів. Комп'ютерний практикум [Електронний ресурс] : навчальний посібник для студентів спеціальності 143 "Атомна енергетика" спеціалізації "Атомні електричні станції" / О. В. Баранюк ; – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019. – 115 с. (<https://ela.kpi.ua/handle/123456789/36207>).
2. Загорулько, А.В. Програмний комплекс ANSYS в інженерних задачах [Текст]: навч. посіб. / А.В. Загорулько. - Суми : СумДУ, 2008. - 200 с.
3. Гришанова, І. А. Системи CAD/CAE. ANSYS FLUENT : навч. посіб. для студ. приладобуд. та машинобуд. спец. висщ. навч. закл. / І.А. Гришанова, І.В. Коробко ; М-во освіти і науки, молоді та спорту України, НТУУ "КПІ". - Київ : ДІА ЛТД, 2012. - 207 с.

Додаткова (монографії, статті, документи, електронні ресурси) література.

1. Комп'ютерне моделювання енергетичних процесів і систем. Комп'ютерний практикум з дисципліни «Комп'ютерне моделювання процесів в енергетичному обладнанні» [Електронний ресурс] : навчальний посібник для здобувачів другого (магістерського) рівня вищої освіти за освітньою програмою «Інженерія і комп'ютерні технології теплоенергетичних систем» спеціальності 142 Енергетичне машинобудування / КПІ ім. Ігоря Сікорського ; уклад.: О. В. Баранюк, Є. С. Алексеїк. – Електронні текстові дані (1 файл: 41,93 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2023. – 101 с. (<https://ela.kpi.ua/handle/123456789/54635>).
2. Яригін, В. А. Про сучасні методи та засоби моделювання / В. А. Яригін, С. П. Вислоух // XV Всеукраїнська науково-практична конференція студентів, аспірантів та молодих вчених "Ефективність інженерних рішень у приладобудуванні", 10-11 грудня 2019 року, м. Київ, Україна : збірник праць конференції / КПІ ім. Ігоря Сікорського, ПБФ, ФММ. – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського; Центр учбової літератури, 2019. – С. 201–204. (<https://ela.kpi.ua/handle/123456789/31652>).
3. Бажанова, А. Ю. Інформаційні технології в проектуванні : навчальний посібник / А.Ю. Бажанова, Д.В. Лазарева, М.Т. Сур'янінов. - Одеса : ОДАБА, 2018. - 289 с.
4. Saeed Moaveni. Finite element analysis. Prentice Hall, Upper saddle River, New Jersey, 1999. -272 p. [Електронний ресурс] – Режим доступу: <http://ftp.demec.ufpr.br/disciplinas/TM738/Livros/Finite%20Element%20Analysis,%20Theory%20and%20application%20with%20ANSYS,%20.pdf> – 14.07.2022 p.
5. ANSYS. Fundamental FEA Concepts and Applications. A Guidebook for use and Applicability of Workbench Simulation Tools from ANSYS, Inc. [Електронний ресурс] – Режим доступу: https://www.cae.tntech.edu/~chriswilson/FEA/ANSYS/ANSYSguide_fea-concepts.pdf – 14.07.2022 p.
6. Finite Element Analysis: Theory and Application with ANSYS. [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://www.pinterest.com/pin/ebook-pdf-finite-element-analysis-theory-and-application-with-ansys-4th-edition-dollartree4books-in-2022--1105141196033257914/> – 14.07.2022 p.
7. Lyubchenko E.A. Study guide «oscillations and waves» [Електронний ресурс] – Режим доступу: http://web.kpi.kharkov.ua/tef/wp-content/uploads/sites/114/2020/03/STUDY_GUIDE_OSCILLATIONS_AND_WAVES.pdf – 14.07.2022 p.
8. W. G. Bickley. Mechanical Admittances and their Applications to Oscillation Problems [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://www.nature.com/articles/161954a0> – 14.07.2022 p.
9. Salman Mohammed Alzahrani. Computational fluid dynamics modeling and comparison of advanced techniques for heat transfer augmentation for nuclear applications [Електронний ресурс] – Режим доступу: https://scholarsmine.mst.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=4130&context=doctoral_dissertations – 14.07.2022 p.

Інформаційні ресурси

1. Кампус <http://login.kpi.ua>.
2. Науково-технічна бібліотека КПІ ім. Ігоря Сікорського <http://library.kpi.ua>.

Навчальний контент

5. Методика опанування навчальної дисципліни (освітнього компонента)

При вивченні дисципліни використовуються репродуктивний, евристичний, дослідницький методи навчання та метод проблемного викладення.

Згідно навчального плану для опанування матеріалу дисципліни передбачено лекційні заняття і комп'ютерний практикум

Лекційні заняття

№ з/п	Назва теми лекції та перелік основних питань (перелік дидактичних засобів, посилання на літературу та завдання на СРС)
РОЗДІЛ 1 ANSYS WORKBENCH	
1.	Вступ Тема 1.1. Основи роботи в ANSYS WORKBENCH. Лекція 1. Предмет і мета дисципліни. Місце дисципліни у підготовці інженерів-енергетиків. База дисципліни. Структура програмного комплексу ANSYS. Платформа Workbench. Основні принципи розв'язання задач у Workbench.
2.	Тема 1.2 Побудова геометричних моделей в ANSYS WORKBENCH Лекція 2. Засоби побудови геометричних моделей. Імпорт геометрії з зовнішніх CAD-систем. Інтерфейс Design Modeler. Створення ескізу. Створення 2D/3D-геометрії.
3.	Тема 1.3 Використання розрахункових сіток в ANSYS WORKBENCH Лекція 3. Теоретичні положення побудови розрахункових сіток. Застосунки ANSYS для генерації сіток. Робота в сітковому препроцесорі Meshing. Методи побудови сіток у Meshing. Глобальні та локальні параметри сітки. Критерії якості розрахункових сіток.
РОЗДІЛ 2 Розв'язок задач механіки деформованого тіла в оболонці WORKBENCH Mechanical	
4.	Тема 2.1 Основи роботи в оболонці Workbench Mechanical Лекція 4. Додатки, що входять до складу програмного комплексу ANSYS, які спрямовані на розв'язання задач механіки деформованого твердого тіла. Особливості роботи в оболонці Workbench Mechanical. Модуль Steady-State Thermal, його можливості і складові. Інтерфейс Engineering Data. Особливості завдання матеріалів в Engineering Data.
5.	Тема 2.4 Створення розрахункової моделі в Workbench Mechanical Лекція 5. Розрахункова модель Workbench Mechanical. Дерево моделі. Задання граничних умов. Математичні моделі та методи розв'язку в ANSYS Mechanical. Результати розрахунків.
РОЗДІЛ 3 Розв'язання задач конвективного теплообміну	
6.	Тема 3.1 Основи моделювання задач конвективного теплообміну Тема 3.2 Етапи роботи у Fluent Лекція 6. Модулі ANSYS, призначені для розв'язання задач обчислювальної гідро- та газодинаміки. Основи моделювання задач конвективного теплообміну. Етапи роботи у Fluent. Шаблиони запуску програми Fluent у середовищі ANSYS Workbench. Основні параметри діалогового вікна Fluent Launcher в ANSYS Workbench. Графічний інтерфейс користувача програми Fluent.
7.	Тема 3.7 Моделювання турбулентних течій у Fluent Лекція 7. Фізичні основи моделювання турбулентних течій. Ієрархія моделей турбулентності. Моделі турбулентності, які реалізовано в ANSYS Fluent.

Комп'ютерний практикум

№ заняття	Назва теми заняття та перелік основних питань (перелік дидактичних засобів, посилання на літературу та завдання на СРС)
РОЗДІЛ 1 ANSYS WORKBENCH	

№ заняття	Назва теми заняття та перелік основних питань (перелік дидактичних засобів, посилання на літературу та завдання на CPC)
1.	Тема 1.1. Основи роботи в ANSYS WORKBENCH. Структура програмного комплексу ANSYS. Платформа Workbench. Тема 1.2 Побудова геометричних моделей в ANSYS WORKBENCH Засоби побудови геометричних моделей. Інтерфейс Design Modeler. Створення ескізу. Створення 2D/3D-геометрії. Засоби побудови геометричних моделей. Побудова геометричної моделі балки різного перерізу. <i>Література:</i> Конспект лекцій CPC: Побудова геометричної моделі згідно завдання до виконання CPC з комп'ютерного практикуму (див. п.6).
2.	Засоби побудови геометричних моделей. Побудова геометричної моделі ребреної поверхні. Побудова геометричної моделі каналу із розвиненими теплообмінними поверхнями (канали із траншеями різної геометричної форми). <i>Література:</i> Конспект лекцій CPC: Побудова геометричної моделі згідно завдання до виконання CPC з комп'ютерного практикуму (див. п.6).
3.	Тема 1.3 Використання розрахункових сіток в ANSYS WORKBENCH Застосунки ANSYS для генерації сіток. Робота в сітковому препроцесорі Meshing. Методи побудови сіток у Meshing. <i>Література:</i> Конспект лекцій CPC: Налаштування локальних параметрів сітки.
4.	Методи побудови сіток у Meshing. Глобальні та локальні параметри сітки. Критерії якості розрахункових сіток. Засоби генерації сіток. Генерація сітки моделі на прикладі тіл простих форм. <i>Література:</i> Конспект лекцій CPC: Побудова геометричної моделі згідно завдання до виконання CPC з комп'ютерного практикуму (див. п.6).
5.	Засоби генерації сіток. Генерація сітки моделі ребреної поверхні. Генерація сітки моделі каналу із розвиненими теплообмінними поверхнями. <i>Література:</i> Конспект лекцій CPC: Побудова геометричної моделі згідно завдання до виконання CPC з комп'ютерного практикуму (див. п.6).
РОЗДІЛ 2 Розв'язок задач механіки деформованого тіла в оболонці WORKBENCH Mechanical	
6.	Тема 2.1 Основи роботи в оболонці Workbench Mechanical Особливості роботи в оболонці Workbench Mechanical. Модуль Steady-State Thermal, його можливості і складові. CPC: Інтерфейс Steady-State Thermal
7.	Тема 2.2 Робота з матеріалами в Engineering Data Інтерфейс Engineering Data. Особливості завдання матеріалів в Engineering Data. CPC: Заповнення таблиць Engineering Data для виконання розрахунків термонапруженого стану елементів обладнання.
8.	Тема 2.3 Інтерфейс застосунку Workbench Mechanical Структура інтерфейсу застосунку Workbench Mechanical. Основні елементи інтерфейсу модуля Static Structural. CPC: Віддалені граничні умови.
9.	Тема 2.4 Створення розрахункової моделі в Workbench Mechanical Розрахункова модель Workbench Mechanical. Дерево моделі. Задання граничних умов. Математичні моделі та методи розв'язку в ANSYS Mechanical. Результати розрахунків. CPC: Моделювання конструкцій з урахуванням нелінійностей
10.	Розрахунки на міцність тіл простої форми. Створення моделі. Представлення результатів <i>Література:</i> Конспект лекцій CPC: Виконання розрахунків на міцність балки згідно завдання до виконання CPC з комп'ютерного практикуму (див. п.6).
11.	Розрахунки термонапруженого стану тіл простої форми. Створення моделі. Представлення результатів

№ заняття	Назва теми заняття та перелік основних питань (перелік дидактичних засобів, посилання на літературу та завдання на СРС)
	<i>Література:</i> Конспект лекцій СРС: Виконання розрахунків термонапруженого стану ТВЕЛ згідно завдання до виконання СРС з комп'ютерного практикуму (див. п.6).
12.	Виконання розрахунків термонапруженого стану для моделі оребреної поверхні <i>Література:</i> Конспект лекцій СРС: Побудова геометричної моделі згідно завдання до виконання СРС з комп'ютерного практикуму (див. п.6).
РОЗДІЛ 3 Розв'язання задач конвективного теплообміну	
13.	Тема 3.3 Запуск програми. Інтерфейс програми Fluent. Тема 3.4 Підготовка розрахункової моделі у Fluent Модулі ANSYS, призначені для розв'язання задач обчислювальної гідро- та газодинаміки. Шаблони запуску програми Fluent у середовищі ANSYS Workbench. Основні параметри діалогового вікна Fluent Launcher в ANSYS Workbench. Графічний інтерфейс користувача програми Fluent. <i>Література:</i> Конспект лекцій СРС: Порядок відкриття Fluent Launcher в ANSYS Workbench.
14.	Тема 3.4 Підготовка розрахункової моделі у Fluent Розрахункова модель у Fluent. Основні типи граничних умов. <i>Література:</i> Конспект лекцій СРС: Порядок відкриття Fluent Launcher в ANSYS Workbench.
15.	Тема 3.5 Розв'язувач. Постпроцесінг. Розв'язувачі ANSYS Fluent (розділ Solution). Методи зв'язку тиску і швидкості. Основні схеми просторової дискретизації конвективних членів. Способи обчислення градієнтів. Схема інтерполяції тиску. Методи для обчислення градієнта тиску. Релаксація та покращення збіжності. Часова апроксимація. Керування розв'язком. Налаштування моніторингу. Ініціалізація розв'язку. Запуск задачі. Представлення результатів розрахунку <i>Література:</i> Конспект лекцій СРС: Основні числові схеми та налаштування в ANSYS Fluent
16.	Виконання розрахунків для каналу простої конфігурації. <i>Література:</i> Конспект лекцій СРС: Побудова моделі згідно завдання до виконання СРС з комп'ютерного практикуму (див. п.6).
17.	Виконання розрахунків для каналу із розвиненою теплообмінною поверхнею без врахування турбулентності течії. <i>Література:</i> Конспект лекцій СРС: Побудова моделі згідно завдання до виконання СРС з комп'ютерного практикуму (див. п.6).
18.	Моделювання системи охолодження радіатора без врахування турбулентності потоку <i>Література:</i> Конспект лекцій СРС: Побудова моделі згідно завдання до виконання СРС з комп'ютерного практикуму (див. п.6).
19.	Тема 3.7 Моделювання турбулентних течій у Fluent Моделі турбулентності, які реалізовано в ANSYS Fluent. Виконання розрахунків для каналу простої конфігурації з врахуванням турбулентності потоку. <i>Література:</i> Конспект лекцій СРС: Основні числові схеми та налаштування в ANSYS Fluent. Побудова моделі згідно завдання до виконання СРС з комп'ютерного практикуму (див. п.6).
20.	Виконання розрахунків для каналу із розвиненою теплообмінною поверхнею при врахуванні турбулентності течії. <i>Література:</i> Конспект лекцій СРС: Побудова моделі згідно завдання до виконання СРС з комп'ютерного практикуму (див. п.6).
21.	Модульна контрольна робота

№ заняття	Назва теми заняття та перелік основних питань (перелік дидактичних засобів, посилання на літературу та завдання на СРС)
22.	Захист РР, захист звітів комп'ютерного практикуму

6. Самостійна робота студента

Під час вивчення навчальної дисципліни видами самостійної роботи є підготовка до аудиторних занять (лекційних і комп'ютерних практикумів). Полягає в опануванні питань, що винесені на самостійне опрацювання та підготовки конспектів. Перелік питань наведений у таблиці п.5, що визначають зміст лекційних занять і комп'ютерних практикумів. Час на їх підготовку подано нижче.

В рамках виконання розрахунково-графічної роботи здобувачам вищої освіти пропонується провести CFD-моделювання процесів спряжених задач теплообміну і гідродинаміки в каналах складної конфігурації. Завдання на розрахунково-графічну роботу є індивідуальними.

Результати чисельного моделювання потрібно представити так, щоб була можливість пояснити фізичний зміст явищ, які моделюються.

Назва	Кількість годин СРС
Підготовка до лекційних занять	14
Завдання для виконання СРС з комп'ютерного практикуму	
1. Згідно варіанта отримати розподіл напружень заданої конструкції балки. Візуалізація процесу	6
2. Згідно варіанта отримати розподіл температур в оребреній стінці. Візуалізація процесу	7
3. Згідно варіанта отримати розподіл швидкості, температур в різних перерізах каналу з розвиненою поверхнею. Візуалізація процесу	8
МКР	6
Розрахунково-графічна робота	15
Залік	8
ВСЬОГО	64

3. Політика та контроль

7. Політика навчальної дисципліни (освітнього компонента)

Система вимог до студентів:

- **правила відвідування занять** – відвідувати навчальні заняття та контрольні заходи передбачені графіком освітнього процесу (п. 9.4 <https://kpi.ua/admin-rule>), як при навчанні в аудиторіях, так і при використанні дистанційного режиму навчання. В останньому випадку заняття проводяться в режимі онлайн-конференцій і студенти їх «відвідують» під'єднуючись за наданими викладачем посиланням;
- **правила поведінки на заняттях** – не заважати зайвою діяльністю, розмовами (в тому числі телефоном) іншим студентам слухати лекцію чи працювати під час виконання практичних занять. В аудиторіях/лабораторіях та при дистанційному навчанні вдома дотримуватись правил техніки безпеки при роботі з обладнанням;
- **правила захисту звіту з комп'ютерних практикумів** – викладач особисто спілкується зі студентом та задає теоретичні питання за тематикою роботи та отриманими результатами;
- **правила призначення заохочувальних та штрафних балів** – заохочувальні бали передбачені за академічну активність на лекційних заняттях, штрафні бали нараховуються при виявленні фактів порушення правил доброчесності при складанні контрольних та лабораторних робіт і можуть накладатися у розмірі оцінки передбаченої за конкретну роботу;
- **політика дедлайнів та перескладань**:
 - 1) перескладання екзамену здійснюються за графіком, встановленим на рівні університету;
 - 2) переписування модульних контрольних робіт не передбачено;
 - 3) захист звітів з комп'ютерних практикумів відбувається на наступному занятті після вивчення теми даного практичного заняття. Всі проблемні питання з вирішуються на аудиторних заняттях. При

значних заборгованостях з оформлення протоколів, їх здачі і захистів робіт, студенти можуть бути недопущені до семестрового контролю і не отримати позитивну оцінку.

- **політика щодо академічної доброчесності** – студенти зобов'язані дотримуватись положень Кодексу честі та вимог академічної доброчесності під час освітнього процесу.
-

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

Види контролю знань студента з дисципліни:

- виконання та захист завдань комп'ютерного практикуму;
- виконання та захист розрахункової роботи;
- виконання МКР;
- календарний контроль (проводиться двічі на семестр як моніторинг поточного стану виконання вимог PCO);
- відповідь на заліку.

За результатами навчальної роботи за перші 6 тижнів «ідеальний студент» має набрати 27 балів. На першій атестації (7-й тиждень) студент отримує «атестовано», якщо його поточний рейтинг не менше 13 балів.

За результатами 12 тижнів навчання «ідеальний студент» має набрати 48 балів. На другій атестації (13-й тиждень) студент отримує «атестовано», якщо його поточний рейтинг не менше 24.

Заходи поточного контролю відбуваються:

- у синхронному режимі – заходи проводяться під час аудиторного заняття (модульна контрольна робота, робота на практичних заняттях);
- в асинхронному режимі – заходи проводяться під час самостійної роботи здобувача (виконання індивідуального семестрового завдання (РГР), підготовка звіту комп'ютерного практикуму).

Не проходження заходу поточного контролю в синхронному режимі без поважних причин оцінюється у 0 балів.

Рейтинг з дисципліни враховує роботу студента продовж семестру та рівень знань і навичок, виявлених ним на заліку.

Рейтинг з дисципліни формується як сума балів, нарахованих студенту за:

- результати виконання завдань комп'ютерних практикумів,
- виконання розрахунково-графічної роботи (РГР),
- виконання МКР,
- виконання залікової роботи.

Стартовий рейтинг здобувача є сумарною оцінкою за виконання студентом завдань комп'ютерних практикумів, МКР та РГР:

$$r_c = r_{\text{КП}}(20 + 45) + r_{\text{МКР}}(10) + r_{\text{РГР}}(25) = 100 \text{ балів}$$

$r_{\text{КП}}$ – бали поточного контролю (бали отримані при роботі на занятті r_z , виконанні і захисті завдань комп'ютерних практикумів $r_{\text{ЗКП}}$), $r_{\text{МКР}}$ – бал отриманий за виконання завдань модульної контрольної роботи, $r_{\text{РГР}}$ – бал отриманий за виконання РГР. Максимальна кількість балів стартового рейтингу складає 50 балів.

Система рейтингових балів та критерії оцінювання

1. Робота на практичному занятті

Наприкінці кожного практичного заняття викладач оцінює рівень і якість виконання завдань, ваговий бал становить 1 бал (за кожне заняття). Максимальна кількість балів студента: $r_z = 1 \text{ бал} \times 20 = 20 \text{ балів}$.

Критерії оцінювання:

1 бал — за умови вчасного, повного і вірного виконання завдання; **0,5 ... 0,25 бали** — в роботі є певні незначні недоліки; **0 балів** — завдання не виконано.

Якщо студент був відсутнім на занятті – бали не нараховуються.

2. Виконання завдань з комп'ютерних практикумів

Завдання комп'ютерних практикумів мають однакову складність і їх ваговий бал становить 5 балів (3 бали за виконання завдання та 2 бали – за захист роботи). Максимальна кількість балів студента: $r_{\text{КП}} = 5 \text{ балів} \times 9 = 45 \text{ балів}$. Оформлення звіту з виконання комп'ютерних практикумів згідно вимогам ДСТУ 8302:2015

Критерії оцінювання:

3 бали — за умови вчасного, повного і вірного виконання завдання; **2 бали** — за умови вчасного, повного і вірного виконання завдання, оформлення звіту потребує доопрацювання; **0,5...1 бал** — у роботі є певні недоліки, не охайно виконаний звіт (робота потребує доопрацювання, бали не підвищуються); **0 балів** — у

роботі є значні недоліки, звіт оформлений не згідно вимог звіту (робота потребує доопрацювання, бали не підвищуються).

Виконання і здача завдань комп'ютерних практикумів є обов'язковим.

3. Виконання завдань МКР

Основна мета проведення модульної контрольної роботи – перевірити рівень засвоєння студентами теоретичного матеріалу. Завдання видається на передостанньому практичному занятті по темах лекційної частини курсу. *Виконання завдань МКР обов'язкове.* Якщо студент був відсутнім на МКР, то потрібно отримати і виконати завдання впродовж десяти днів після часу проведення МКР.

Максимальна кількість балів за виконання завдань модульної контрольної роботи $r_{МКР} = 10$ балів.

Критерії оцінювання:

10 балів — повна, обґрунтована відповідь; **8..9 балів** — повна, але не достатньо обґрунтована відповідь; **6..7 балів** — не повна відповідь та\або має несуттєві помилки; **0 балів** — завдання виконано не в повній мірі, наявність суттєвих помилок в неповній відповіді або відсутність відповіді.

4. Виконання і захист розрахункової роботи

Максимальна кількість балів за виконання розрахунково-графічної роботи 12 балів і за захист 3 бали, тобто сумарна кількість балів дорівнює $r_{грр} = 25$ балів. Завдання для виконання розрахунково-графічної роботи видається студенту після 10-го практичного заняття, строк захисту – останнє практичне заняття. Оформлення звіту з виконання розрахунково-графічної роботи згідно вимогам ДСТУ 8302:2015.

Виконання завдань і захист розрахункової роботи обов'язкове.

Критерії оцінювання (виконання розрахунково-графічної роботи $r_{1грр}$):

20 балів — повне виконання завдання, відповідність вимогам щодо оформлення; **18..19 балів** — повне виконання завдання, незначна невідповідність вимогам щодо оформлення; **15..17 балів** — виконання завдання з деякими незначними неточностями, відповідність вимогам щодо оформлення; **12..14 балів** — виконання завдання з деякими неточностями, деяка, не значна невідповідність вимогам щодо оформлення; **0...11 балів** — виконання завдання з грубими помилками, невідповідність вимогам щодо оформлення – робота не зарахована, потребує доопрацювання.

Вимоги до розрахунково-графічної роботи під час захисту:

- отримані результати моделювання повинні мати відповідний фізичний зміст;
- наявність графічного підтвердження співпадіння результатів моделювання і аналітичного розрахунку;
- відповідей на питання щодо фізики процесів, які досліджуються.

Критерії оцінювання (захист розрахункової роботи $r_{2грр}$):

5 балів — повна вірна відповідь на поставлені запитання за темою розрахункової роботи; **4 бали** — відповідь має несуттєві неточності; **3 бал** — неповна відповідь; **0 балів** — наявність несуттєвих помилок в неповній відповіді або наявність суттєвих помилок в неповній відповіді, або відсутність відповіді, захист не зараховано.

Заохочувальні бали

За виконання творчих робіт з навчальної дисципліни (участь у олімпіадах, конференціях, конкурсах наукових робіт, проходження курсів, участь у семінарах з отриманням сертифіката, тощо) — **5...10 балів** (при умові виконання і захисту завдань комп'ютерних практикумів та розрахунково-графічної роботи). При цьому загальний рейтинговий бал здобувача не може перевищувати 100 балів.

Семестровий контроль: залік.

Умовами допуску здобувача до семестрового контролю з навчальної дисципліни є: відсутність заборгованостей з комп'ютерних практикумів (виконання та захист) та розрахунково-графічної роботи (виконання та захист), виконання завдань модульної контрольної роботи, тобто такі заходи поточного контролю, які формують результати навчання, що не можливо перевірити заходами семестрового контролю (залік).

Здобувачі, які виконали всі умови допуску до заліку та набрали 60 і більше балів, отримують відповідну рейтингову оцінку без потреби проходження заходу семестрового контролю (заліку). Здобувачі, які виконали умови допуску до заліку, але набрали менше 60 балів, а також ті, хто бажають підвищити свою рейтингову оцінку, проходять захід семестрового контролю у формі заліку. При проходженні заходу семестрового контролю (заліку) заохочувальні бали не враховуються.

Остаточна оцінка по дисципліні розраховується як сума балів за виконання розрахунково-графічної роботи, виконання МКР та за виконання завдань залікової роботи: $R_3 = 20 + 10 + 70 = 100$ балів.

Якщо здобувач, який складав залік для підвищення своєї рейтингової оцінки і за його результатами отримав меншу кількість балів за кількість балів, отриманих за результатами заходів поточного контролю,

то у цьому випадку застосовується **«м'який» підхід** – здобувач отримує рейтингову оцінку за результатами заходів поточного контролю.

Кількість балів, яка отримана студентом за семестр або при виконанні залікової роботи переводиться у залікову оцінку згідно таблиці відповідності рейтингових балів оцінкам за університетською шкалою.

Студенти виконують і захищають залікову роботу, яка складається з одного практичного завдання (див. дод.1)

Критерії оцінювання та кількість балів за залікову роботу.

Критерії	Кількість балів
<i>студент демонструє повні і глибокі знання навчального матеріалу, вміє правильно використовувати знання</i>	60-70
<i>студент демонструє на достатньо високому рівні знання навчального матеріалу, вміє правильно використовувати знання</i>	45-59
<i>студент демонструє на достатньому рівні знання навчального матеріалу, але допускає деякі неточності, щодо використання отриманих знань</i>	42-44
<i>студент демонструє на достатньому рівні знання навчального матеріалу, але допускає суттєві неточності, щодо використання отриманих знань</i>	30-41
<i>студент не демонструє на достатньому рівні знання навчального матеріалу та\або вміння і навички у вирішенні поставленого завдання</i>	1-29
Нижня межа позитивного оцінювання результату виконання залікової роботи не менше 60 % від максимальної кількості балів (42 бали) негативний результат оцінюється у 0 балів	

Отримані рейтингові бали переводяться у відповідну оцінку згідно таблиці 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

Процедура оскарження результатів контрольних заходів

Здобувачі мають право і можливість підняти будь-яке питання, яке стосується процедури контрольних заходів та очікувати, що воно буде розглянуто згідно із наперед визначеними процедурами (детальніше: https://osvita.kpi.ua/2020_7-170, https://document.kpi.ua/files/2020_7-170.pdf).

Здобувачі мають право оскаржити результати контрольних заходів, але обов'язково аргументовано, пояснивши з яким критерієм не погоджуються відповідно до оціночного листа та\або зауважень.

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

9. Додаткова інформація з дисципліни (освітнього компонента)

1. Дистанційне навчання:

В умовах дистанційного режиму організація освітнього процесу здійснюється з використанням технологій дистанційного навчання: платформи дистанційного навчання «Сікорський», Google Workspace КПІ та «Електронний КАМПУС». Навчальний процес у дистанційному режимі здійснюється відповідно до затвердженого розкладу навчальних занять. Заняття проходять з використанням сучасних ресурсів проведення онлайн-зустрічей (організація відео-конференцій на платформі Zoom).

2. Навчання в умовах правового режиму воєнного стану:

- передбачає проведення усіх видів занять дистанційно (з використанням синхронної або асинхронної моделі освітньої взаємодії), у відповідності до Регламенту організації освітнього процесу в дистанційному режимі та Положення про дистанційне навчання в КПІ ім. Ігоря Сікорського;
- кінцеві терміни виконання індивідуальних завдань і завдань самостійної роботи переносяться на кінець семестру (з обов'язковим виконанням і захистом);
- у рейтингову систему оцінювання вносяться зміни стосовно нарахування штрафних балів за не своєчасне виконання завдань: штрафні бали не нараховуються.

3. Для студентів існує можливість зарахування (у вигляді додаткових балів до рейтингу до 20 балів):

- сертифікатів проходження дистанційних чи онлайн курсів за тематикою дисципліни;
- сертифікатів, які підтверджують участь у науково–практичних і наукових конференціях за тематикою дисципліни;
- публікація статті у науковому журналі за тематикою дисципліни.

Додаток 1

Завдання комп'ютерного практикуму

Завдання: Створити геометрію згідно варіанту. Довжина балки 1,5 м.

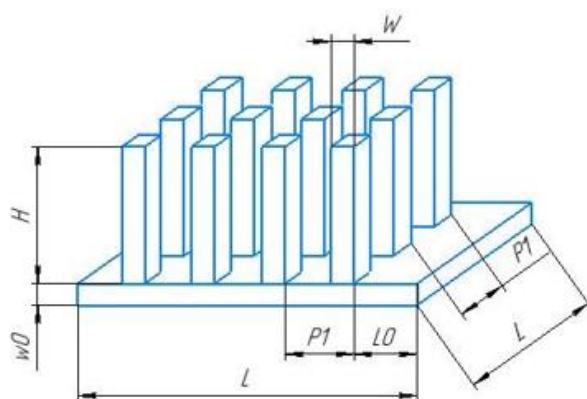
Переріз	Двотавр						Швелер					
№ профіля	33	36	27	55	45	60	5 У	12 У	24 У	5 П	12 П	24 П
Варіант	1	5	12	3	8	9	10	11	7	2	6	4

ДСТУ 8768:2018 Двотаври сталеві горячекатанні. Сортамент

1.

ДСТУ 3436:2019 Швелери сталеві горячекатанні. Сортамент

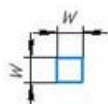
Завдання: Створити геометрію згідно варіанту.



а - номери за списком 1, 4, 8, 12
б - номери за списком 2, 5, 9, 11
в - номери за списком 3, 6, 10, 7

H 40+номер за списком
w0 5+номер за списком/10
w 5
P1 10+номер за списком/10
L0 P1/2
L визначити

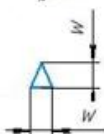
кількість ребер 12



а



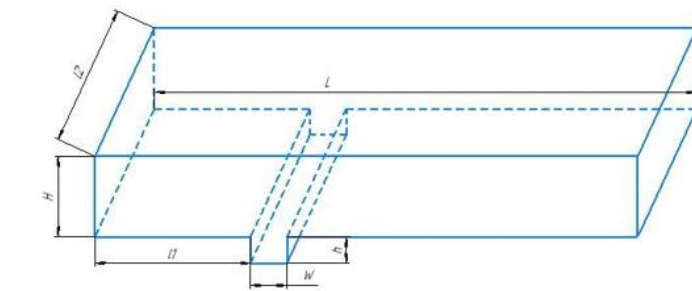
б



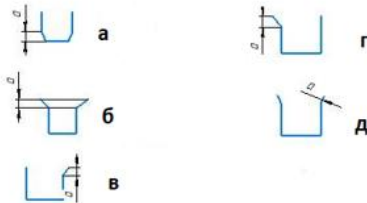
в

2.

Завдання: Створити геометрію згідно варіанту.



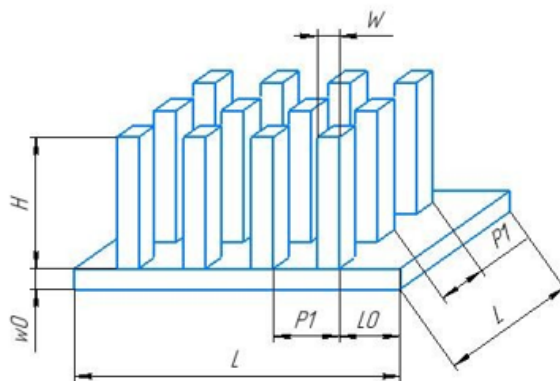
а - номери за списком 1, 6
б - номери за списком 2, 7, 11
в - номери за списком 3, 8
г - номери за списком 4, 9
д - номери за списком 5, 10, 12



L	$200 \cdot N$
$L1$	$50 \cdot N$
$L2$	$50 \cdot N$
H	$70 \cdot N$
h	$5 \cdot N/10$
w	$10 \cdot N/10$
a	$1 \cdot N/10$

3.

Завдання: Визначити розподіл температур та теплових потоків для заданої геометрії



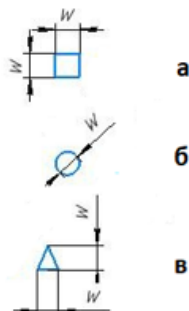
а - номери за списком 1, 4, 8, 12
б - номери за списком 2, 5, 9, 11
в - номери за списком 3, 6, 10, 7

H 40+номер за списком
 $w0$ 5+номер за списком/10
 w 5
 $P1$ 10+номер за списком/10
 $L0$ $P1/2$
 L визначити

кількість ребер 12

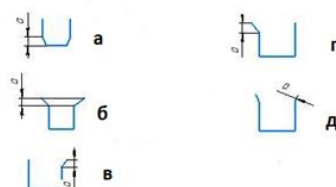
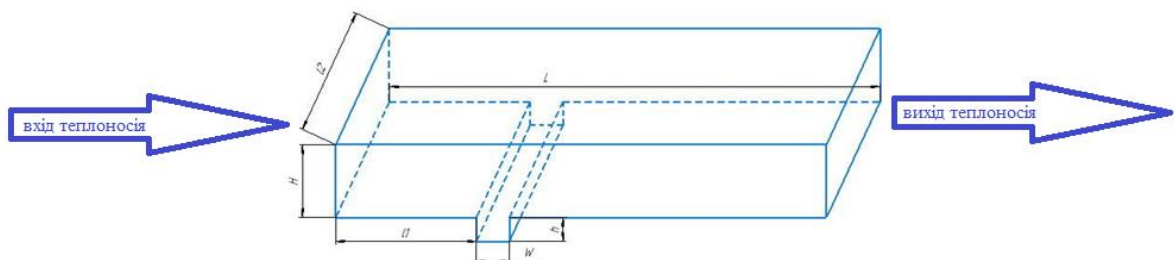
Гу

α 20 + номер за списком
температура повітря 35 - номер за списком
густина підведеного теплового потоку 100 Вт/м²



4.

Завдання: Визначити розподіл температур та швидкості для заданої геометрії



L	$200 \cdot N$
$L1$	$50 \cdot N$
$L2$	$50 \cdot N$
H	$70 \cdot N$
h	$5 \cdot N/10$
w	$10 \cdot N/10$
a	$1 \cdot N/10$

5.

- а - варіанти за списком 1, 6
 б - варіанти за списком 2, 7, 11
 в - варіанти за списком 3, 8
 г - варіанти за списком 4, 9
 д - варіанти за списком 5, 10, 12

Теплоносії вода	варіанти за списком 1,3,5,12
Теплоносії повітря	2,4,6
Теплоносії азот	7,9,11,10,8
ГУ	
температура стінки	50 + номер за списком
температура теплоносія	45 - номер за списком
режим течії	Re=2000 - номер за списком x 20

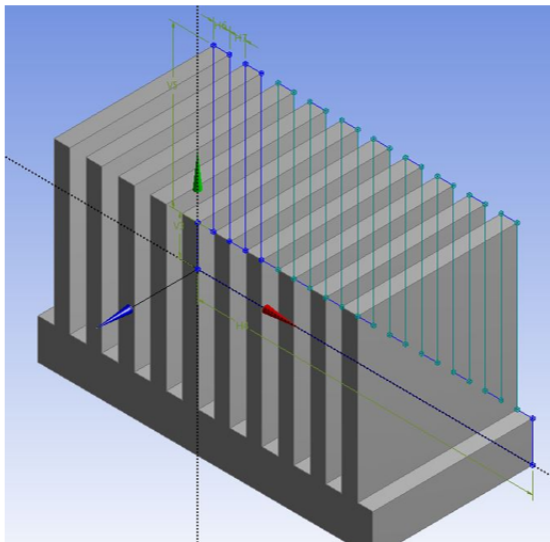
**Швидкість визначити по
 вхідному перерізу
 Нагрів тільки у нижній
 частині каналу**

- 1 Виконати розрахунок з невязками і коефіцієнтом релаксації, значення яких використовувалися на практичному занятті
- 2 Продемонструвати збіжність розв'язку (графіки зміни невязок та обраної фізичної величини)
- 3 Отримати поле швидкості по перерізу каналу на вході і виході з каверни
- 4 Отримати векторне поле швидкості по довжині каналу (по осі та на нижній стінці)
- 5 Отримати розподіл температури по довжині каналу (по осі та на нижній стінці)
- 6 Визначити зміну температури і швидкості (середніх по поперечному перерізу) по довжині каналу

Додаток 2

Завдання для виконання РГР

Геометрія радіатора



Підложка

довжина	30 + Nваріанту	мм
ширина	30 + Nваріанту	мм
товщина	5 + 0,1xNваріанту	мм

Ребра

висота	20 + 0,1xNваріанту	мм
відстань	3	мм
товщина	2	мм
кількість	розмістити на підложці вздовж ширини	

Всі інші параметри - визначені на практичному занятті ПЗ8

Завдання: Визначити розподіл температури та швидкості в каналі рідини і у межеберному просторі. На основі отриманих розрахунків зробити звіт, який включає:

- 1 Покрокова розробка геометрії, сітки і розрахункової моделі (у вигляді скріншотів)
- 2 Представити у графічному виді розподіл температури та швидкості:
 - *у поперечних перерізах радіатора (на вході, виході і центральному перерізі)
 - *у центральному перерізі вздовж каналу
- 3 Отримати векторне поле швидкості у вибраному перерізі (на Ваш розсуд)
 Побудувати графіки зміни температури і швидкості (середніх по поперечному перерізу) по довжині каналу з охолоджуючою рідиною
- 5 Визначити:
 - *середню температуру рідини в радіаторі
 - *максимальну і мінімальну температуру ребра
 - *середньointегральну температуру ребра

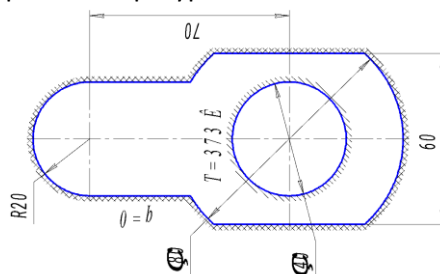
Додаток 3

Приклад завдання, яке виносяться на семестровий контроль

1. Визначити локальні коефіцієнти тепловіддачі на стінці циліндричної труби 32×1000×2 мм. Теплоносії – повітря. Режим течії – турбулентний. Температура потоку на вході в трубу становить 18 °С. Стінки труби мають температуру 98 °С. Побудувати також епюри швидкості на виході і провести порівняння з теоретичною залежністю.

1. Визначити власні форми коливань сталевого стержня діаметром 10 мм довжиною 6 м, за допомогою комп'ютерного моделювання.

2. Визначити нестационарне температурне поле оболонкової конструкції:



при $\tau = 0$ с, $T = 273$ К.

3. Визначити локальні коефіцієнти тепловіддачі на стінці циліндричної труби 32×1000×2 мм. Теплоносій – вода. Температура і швидкість потоку на вході в трубу становлять відповідно 28 °С і 1 м/с. Стінки труби мають температуру 98 °С. Побудувати також епюри швидкості на виході.

4. Визначити власні форми коливань швелера, довжини полицок якого становлять 40, 20 мм при довжині 3 м, за допомогою числового моделювання. Товщина полицок швелера 3 мм. Торці швелера закріплені, а по центру прикладене навантаження 1 кН.

Робочу програму навчальної дисципліни (силабус):

Складено *к.т.н., доценткою, Лебедь Наталією Леонідівною*

к.т.н., асист. Басковою Олександром Олександрівною

Ухвалено: кафедрою АЕ (протокол № 26 від 23.06. 2025 р.)

Погоджено: Методичною комісією НН ІАТЕ (протокол № 8 від 27. 06. 2025 р.)