



# CFD моделювання процесів теплообміну в елементах енергетичного обладнання

## Робоча програма навчальної дисципліни (силабус)

### 1. Реквізити навчальної дисципліни

Рівень вищої освіти	<i>Другий (магістерський)</i>
Галузь знань	<i>14 Електрична інженерія</i>
Спеціальність	<i>143 Атомна енергетика</i>
Освітня програма	<i>ОНП Атомні електричні станції</i>
Статус дисципліни	<i>Вибіркова</i>
Форма навчання	<i>Очна(денна)</i>
Рік підготовки, семестр	<i>І курс, осінній семестр</i>
Обсяг дисципліни	<i>150 годин/5 кредитів ЄКТС, 18 годин лекцій, 54 години комп'ютерних практикумів, 78 СРС</i>
Семестровий контроль/ контрольні заходи	<i>Екзамен\ модульна контрольна робота, розрахунково-графічна робота</i>
Розклад занять	<a href="http://roz.kpi.ua/">http://roz.kpi.ua/</a>
Мова викладання	<i>Українська</i>
Інформація про керівника курсу / викладачів	Лектор: к.т.н., доцентка, Леbedь Наталія Леонідівна, <a href="mailto:nata.lebeddom@gmail.com">nata.lebeddom@gmail.com</a> Комп'ютерний практикум: к.т.н., доцентка, Леbedь Наталія Леонідівна, <a href="mailto:nata.lebeddom@gmail.com">nata.lebeddom@gmail.com</a>
Розміщення курсу	<a href="https://campus.kpi.ua">https://campus.kpi.ua</a> , <a href="https://drive.google.com/drive">https://drive.google.com/drive</a>

### 2. Програма навчальної дисципліни

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

В рамках дисципліни майбутні фахівці будуть вивчати програмний комплекс ANSYS-Fluent який є одним з найпоширеніших програмних комплексів, що використовує метод кінцевих елементів. 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.

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.

**Предметом** навчальної дисципліни є програмний комплекс ANSYS- Fluent, який в даний час використовується в багатьох університетах для навчання студентів і виконання науково-дослідних робіт. Ця програма 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.

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

- 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);
- застосовувати існуючі та розробляти нові методи, методики, технології та процедури для вирішення складних інженерних завдань в галузі атомної енергетики (ФК 02);
- 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).
- формулювати задачі, планувати і виконувати наукові дослідження у галузі атомної енергетики (ФК 12).
- застосовувати науковий підхід для вдосконалення методів аналізу та управління проєктних та запроєктних аварій на АЕС (ФК 14).

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

1. Використовувати сучасні технології, обладнання, засоби управління інформацією для вирішення складних інженерних завдань і проблем атомної енергетики (ПРН 05).
2. Застосовувати отримані знання для аналізу інженерних об'єктів, процесів і методів атомної енергетики (ПРН 06).
3. Формулювати і розв'язувати складні інженерні, виробничі та/або дослідницькі задачі під час проєктування і експлуатації обладнання та створення конкурентоспроможних розробок, втілення результатів у інноваційних проєктах (ПРН 10).
4. Обирати і використовувати відповідне обладнання, інструменти та методи для вирішення інженерних та/або наукових завдань в атомній енергетиці (ПРН 11).
5. 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)**

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: Моделювання кінетики активної зони ядерних реакторів (ПО 8), Науково-практична робота за темою магістерської дисертації (ПО 11)

## **3. Зміст навчальної дисципліни**

### Розділ 1 Математичне моделювання систем та процесів

Тема 1.1 Методи комп'ютерного моделювання деталей теплотехнічного устаткування

Тема 1.2 Можливості комплексу програм ANSYS при вирішенні нестационарних задач

Тема 1.3 Математичне моделювання напружено-деформованого стану базових елементів устаткування енергетичного призначення.

Тема 1.4. Розв'язок просторових задач в програмі ANSYS.

### Розділ 2 Числове моделювання течії та теплообміну рідини

Тема 2.1 Основні етапи чисельного моделювання теплообміну та течії за допомогою пакету програм ANSYS-CFX

Тема 2.2 Моделювання теплообміну і гідродинаміки відривної течії

Тема 2.3 CFD-моделювання процесів теплообміну і гідродинаміки в каналах реактору типу ВВЕР

Тема 2.4 Основні етапи чисельного моделювання теплообміну та течії в задачах теплопередачі.

Тема 2.5 Послідовність створення моделі і постановка граничних умов та отримання рішення задачі при наявності фазового переходу методами програми ANSYS.

#### 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. 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>).
3. Загорулько, А.В. Програмний комплекс ANSYS в інженерних задачах [Текст]: навч. посіб. / А.В. Загорулько. - Суми : СумДУ, 2008. - 200 с.
4. 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 : ДІЯ ЛТД, 2012. - 207 с.

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

5. 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>).
6. Бажанова, А. Ю. Інформаційні технології в проектуванні : навчальний посібник / А.Ю. Бажанова, Д.В. Лазарева, М.Т. Сур'янінов. - Одеса : ОДАБА, 2018. - 289 с.
7. 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 р.
8. 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](https://www.cae.tntech.edu/~chriswilson/FEA/ANSYS/ANSYSguide_fea-concepts.pdf) – 14.07.2022 р.
9. 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 р.
10. 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](http://web.kpi.kharkov.ua/tef/wp-content/uploads/sites/114/2020/03/STUDY_GUIDE_OSCILLATIONS_AND_WAVES.pdf) – 14.07.2022 р.
11. W. G. Bickley. Mechanical Admittances and their Applications to Oscillation Problems [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://www.nature.com/articles/161954a0> – 14.07.2022 р.
12. 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](https://scholarsmine.mst.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=4130&context=doctoral_dissertations) – 14.07.2022 р.

### 3. Навчальний контент

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

Зміст навчальної роботи	СРС (78 годин за РНП)
<b>Лекція 1.</b> Методи комп'ютерного моделювання деталей теплотехнічного устаткування	<b>СРС:</b> Роль програмного комплексу ANSYS при визначенні температурного стану вузлів і деталей енергетичного

Зміст навчальної роботи	СРС (78 годин за РНП)
Основні складові комплексу програм ANSYS-Workbench. Основні стадії рішення задачі теплообміну. Стаціонарний теплообмін. Створення моделі і постановка граничних умов. Приклад моделювання задач теплопровідності засобами ANSYS..	устаткування [1]. Основні складові комплексу програм ANSYS [3, 4].
<b>Комп'ютерний практикум 1.</b> Рішення стаціонарних задач теплопровідності засобами програмного комплексу ANSYS [1].	Ознайомлення з порядком моделювання стаціонарних задач теплопровідності засобами програмного комплексу ANSYS-Fluent
<b>Комп'ютерний практикум 2.</b> Рішення стаціонарних задач теплопровідності засобами програмного комплексу ANSYS.	Оформлення звіту. Термін виконання – до комп'ютерного практикуму 3.
<b>Лекція 2.</b> Можливості комплексу програм ANSYS при вирішенні нестационарних задач Методика застосування ANSYS-Workbench для виконання нестационарного аналізу відповідальних елементів енергетичного устаткування [1, 3].	<b>СРС.</b> Ідея і область застосування методу скінчених елементів. Числові методи, які використовуються при вирішенні задач теплообміну [2, 3]. Типи скінчених елементів. Основні співвідношення між напруженнями, деформаціями і температурою [1, с. 16-18]
<b>Комп'ютерний практикум 3.</b> Методи числових рішень нестационарних задач теплопровідності [2]	Ознайомлення з порядком моделювання нестационарних задач теплопровідності засобами програмного комплексу ANSYS-Fluent
<b>Комп'ютерний практикум 4.</b> Методи числових рішень нестационарних задач теплопровідності	Оформлення звіту. Термін виконання – до комп'ютерного практикуму 5
<b>Лекція 3.</b> Математичне моделювання напружено-деформованого стану базових елементів устаткування енергетичного призначення Роль програмного комплексу ANSYS при визначенні температурного стану вузлів і деталей енергетичного устаткування. Форма кінцевих елементів. Побудова мережі тетрагональних елементів. [1, 3, 4].	<b>СРС.</b> Моделювання міцності пластин і оболонок
<b>Комп'ютерний практикум 5.</b> Моделювання стану біметалевих конструкцій [1].	Ознайомлення з порядком моделювання стану біметалевих конструкцій засобами програмного комплексу ANSYS-Fluent
<b>Комп'ютерний практикум 6.</b> Моделювання стану біметалевих конструкцій	Ознайомлення з порядком моделювання стану біметалевих конструкцій засобами програмного комплексу ANSYS-Fluent
<b>Комп'ютерний практикум 7.</b> Моделювання стану біметалевих конструкцій	Оформлення звіту. Термін виконання – до комп'ютерного практикуму 8
<b>Лекція 4.</b> Розв'язок просторових задач в програмі ANSYS. Співвідношення між деформаціями і зміщенням. Рівняння рівноваги. Моделювання стану біметалевих конструкцій засобами ANSYS [1, 4].	<b>СРС:</b> Лінійний пружний елемент. Матриця жорсткості Матрична форма запису основних співвідношень теорії пружності
<b>Комп'ютерний практикум 8.</b> Моделювання опорної конструкції для теплообмінних апаратів [1].	Ознайомлення з порядком моделювання опорної конструкції для теплообмінних апаратів засобами програмного комплексу ANSYS-Fluent
<b>Комп'ютерний практикум 9.</b> Моделювання опорної конструкції для теплообмінних апаратів.	Оформлення звіту. Термін виконання – до комп'ютерного практикуму 10
<b>Лекція 5.</b> Основні етапи чисельного моделювання теплообміну та течії за допомогою пакету програм ANSYS-CFX.	<b>СРС:</b> Застосування методу скінчених різниць для розрахунку температури в ТВЕЛ ядерного реактора

Зміст навчальної роботи	СРС (78 годин за РНП)
<p>Методи числового моделювання теплообміну та течії в трубах круглого і не круглого поперечного перерізу. Порядок застосування комплексу програм CFX для моделювання течії в трубах і каналах. Турбулентний рух рідини. Вихідна система рівнянь для побудови моделей турбулентності. [3].</p>	
<p><b>Комп'ютерний практикум 10.</b> Методи числового моделювання теплообміну та течії в трубах круглого поперечного перерізу.</p>	<p>Ознайомлення з порядком моделювання теплообміну та течії в трубах круглого поперечного перерізу засобами програмного комплексу ANSYS-Fluent</p>
<p><b>Комп'ютерний практикум 11.</b> Методи числового моделювання теплообміну та течії в трубах круглого поперечного перерізу [1].</p>	<p>Ознайомлення з порядком моделювання теплообміну та течії в трубах круглого поперечного перерізу засобами програмного комплексу ANSYS-Fluent</p>
<p><b>Комп'ютерний практикум 12.</b> Методи числового моделювання теплообміну та течії в трубах круглого поперечного перерізу [1].</p>	<p>Оформлення звіту. Термін виконання – до комп'ютерного практикуму 13</p>
<p><b>Лекція 6.</b> Моделювання теплообміну і гідродинаміки відривної течії. Фізичні особливості турбулентних закручених потоків. Визначення поняття «закручений потік». Вторинні течії. Основні закономірності закручених течій. Процеси теплообміну і гідродинаміки при зовнішньому омиванні одиночних труб.</p>	<p>Алгебраїчні моделі турбулентності. Популярні алгебраїчні моделі турбулентності</p>
<p><b>Комп'ютерний практикум 13.</b> Моделювання теплообміну і гідродинаміки відривної течії [1].</p>	<p>Ознайомлення з порядком моделювання теплообміну і гідродинаміки відривної течії засобами програмного комплексу ANSYS-Fluent</p>
<p><b>Комп'ютерний практикум 14.</b> Моделювання теплообміну і гідродинаміки відривної течії.</p>	<p>Ознайомлення з порядком моделювання теплообміну і гідродинаміки відривної течії засобами програмного комплексу ANSYS-Fluent</p>
<p><b>Комп'ютерний практикум 15.</b> Моделювання теплообміну і гідродинаміки відривної течії.</p>	<p>Ознайомлення з порядком моделювання теплообміну і гідродинаміки відривної течії засобами програмного комплексу ANSYS-Fluent</p>
<p><b>Комп'ютерний практикум 16.</b> Моделювання теплообміну і гідродинаміки відривної течії.</p>	<p>Оформлення звіту. Термін виконання – до комп'ютерного практикуму 17</p>
<p><b>Лекція 7.</b> CFD-моделювання процесів теплообміну і гідродинаміки в каналах реактору типу ВВЕР. Застосування комплексу програм ANSYS-Fluent/ANSYS-CFX для розрахунку температури в ТВЕЛ ядерного реактора [2].</p>	<p><b>СРС:</b> Врахування впливу зовнішньої турбулентності потоку в рамках моделі шляху змішування [4]</p>
<p><b>Комп'ютерний практикум 17.</b> Моделювання геометрії і скінченно-елементної сітки чарунки тепловиділяючої збірки реактора типу ВВЕР [2].</p>	<p>Ознайомлення з порядком моделювання задач теплопередачі засобами програмного комплексу ANSYS-Fluent</p>
<p><b>Комп'ютерний практикум 18.</b> Моделювання геометрії і скінченно-елементної сітки чарунки тепловиділяючої збірки реактора типу ВВЕР [2].</p>	<p>Ознайомлення з порядком моделювання задач теплопередачі засобами програмного комплексу ANSYS-Fluent</p>
<p><b>Комп'ютерний практикум 19.</b> Постановка граничних умов і обчислення течії і теплообміну в чарунці тепловиділяючої збірки реактора типу ВВЕР [2].</p>	<p>Оформлення звіту. Термін виконання – до комп'ютерного практикуму 20</p>

Зміст навчальної роботи	СРС (78 годин за РНП)
<b>Лекція 8.</b> Основні етапи чисельного моделювання теплообміну та течії в задачах теплопередачі Порядок застосування комплексу програм CFX для моделювання течії і теплообміну в задачах теплопередачі. Моделювання динамічних процесів у теплообмінному обладнанні [3, 4].	Можливості комплексу програм ANSYS при проведенні модального аналізу [5, 6]. Методика застосування ANSYS-Workbench для виконання модального аналізу відповідальних елементів енергетичного устаткування
<b>Комп'ютерний практикум 20.</b> Моделювання задач теплопередачі [1].	Ознайомлення з порядком моделювання задач теплопередачі засобами програмного комплексу ANSYS-Fluent
<b>Комп'ютерний практикум 21.</b> Моделювання задач теплопередачі.	Ознайомлення з порядком моделювання задач теплопередачі засобами програмного комплексу ANSYS-Fluent
<b>Комп'ютерний практикум 22.</b> Моделювання задач теплопередачі.	Оформлення звіту. Термін виконання – до комп'ютерного практикуму 23
<b>Лекція 9.</b> Послідовність створення моделі і постановка граничних умов та отримання рішення задачі при наявності фазового переходу методами програми ANSYS. Моделювання процесу генерації/конденсації пари в вертикальному або горизонтальному парогенеруючому каналі засобами програмного комплексу ANSYS-CFX [1].	<b>СРС:</b> Тепломасообмін при кипінні
<b>Комп'ютерний практикум 23.</b> Моделювання процесу генерації пари в горизонтальному парогенеруючому каналі [1].	Ознайомлення з порядком моделювання процесу генерації пари в вертикальному парогенеруючому каналі засобами програмного комплексу ANSYS-Fluent
<b>Комп'ютерний практикум 24.</b> Моделювання процесу генерації пари в горизонтальному парогенеруючому каналі [1].	Ознайомлення з порядком моделювання процесу генерації пари в вертикальному парогенеруючому каналі засобами програмного комплексу ANSYS-Fluent
<b>Комп'ютерний практикум 25.</b> Моделювання процесу генерації пари в горизонтальному парогенеруючому каналі [1].	Оформлення звіту. Термін виконання – до комп'ютерного практикуму 26
<b>Комп'ютерний практикум 26.</b> <i>Модульна контрольна робота</i>	Підготовка до захисту РГР
<b>Комп'ютерний практикум 27.</b> Захист розрахунково-графічної роботи.	

## 6. Самостійна робота студента/аспіранта

Під час вивчення навчальної дисципліни студенти видами самостійної роботи є підготовка до аудиторних занять (лекційних і комп'ютерних практикумів). Він полягає в опануванні питань, що винесені на самостійне опрацювання та підготовки конспектів. Перелік питань наведений в 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 теплообміну і гідродинаміки в каналах реактору типу ВВЕР. Завдання на розрахунково-графічну роботу є індивідуальними оскільки залежать від значення типу реактора і кроку між твелями та приведено у навчальному посібнику до виконання розрахунково-графічної роботи (<https://ela.kpi.ua/handle/123456789/54635>).

Результати чисельного моделювання потрібно представити так, щоб була можливість пояснити фізичний зміст явищ, які моделюються. Приклад оформлення приведено у навчальному посібнику до виконання розрахунково-графічної роботи (<https://ela.kpi.ua/handle/123456789/54635>).

Назва	Кількість годин СРС
СРС: Роль програмного комплексу ANSYS при визначенні температурного стану вузлів і деталей енергетичного устаткування. Основні складові комплексу програм ANSYS.	1
Комп'ютерний практикум 1, 2. Рішення стаціонарних задач теплопровідності засобами програмного комплексу ANSYS	2
СРС. Ідея і область застосування методу скінчених елементів. Числові методи, які використовуються при рішенні задач теплообміну. Типи скінчених елементів. Основні співвідношення між напруженнями, деформаціями і температурою.	1
Комп'ютерний практикум 3, 4. Методи числових рішень нестационарних задач теплопровідності	2
СРС. Моделювання міцності пластин і оболонок	1
Комп'ютерний практикум 5, 6, 7. Моделювання стану біметалевих конструкцій	3
СРС: Лінійний пружний елемент. Матриця жорсткості Матрична форма запису основних співвідношень теорії пружності.	1
Комп'ютерний практикум 8, 9. Моделювання опорної конструкції для теплообмінних апаратів	2,0
СРС: Застосування методу скінчених різниць для розрахунку температури в ТВЕЛ ядерного реактора.	1
Комп'ютерний практикум 10, 11, 12. Методи числового моделювання теплообміну та течії в трубах круглого поперечного перерізу.	2,0
СРС: Алгебраїчні моделі турбулентності. Популярні алгебраїчні моделі турбулентності.	1
Комп'ютерний практикум 13, 14, 15, 16. Моделювання теплообміну і гідродинаміки відривної течії.	2,0
СРС: Врахування впливу зовнішньої турбулентності потоку в рамках моделі шляху змішування.	1
Комп'ютерний практикум 17, 18. Моделювання геометрії і скінченно-елементної сітки чарунки тепловиділяючої збірки реактора типу ВВЕР	1
Комп'ютерний практикум 19. Постановка граничних умов і обчислення течії і теплообміну в чарунці тепловиділяючої збірки реактора типу ВВЕР	1
СРС: Можливості комплексу програм ANSYS при проведенні модального аналізу. Методика застосування ANSYS-Workbench для виконання модального аналізу відповідальних елементів енергетичного устаткування.	0,5
Комп'ютерний практикум 20, 21, 22. Моделювання задач теплопередачі	2
СРС: Тепломасообмін при кипінні	0,5
Комп'ютерний практикум 23, 24, 25. Моделювання процесу генерації пари в горизонтальному парогенеруючому каналі	2
МКР	6,0
Розрахунково-графічна робота	15,0
Екзамен	30,0
<b>ВСЬОГО</b>	<b>78,0</b>

#### 4. 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)

### Поточний контроль:

Рейтинг з дисципліни (РД) враховує роботу студента протягом семестру та рівень знань і навичок, виявлених ним на екзамені.

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

- результатами виконання завдань комп'ютерних практикумів,
- виконання розрахунково-графічної роботи (РГР),
- виконання МКР,
- виконання завдань, отриманих на екзамені.

Рейтинг з дисципліни розраховується за формулою рейтингова оцінка (RD) з кредитного модуля формується як сума балів поточної успішності навчання – стартового рейтингу ( $r_c$ ) та балів отриманих на екзамені ( $r_1$ ):

$$R_D = r_c + r_1.$$

Стартовий рейтинг є сумарною оцінкою за виконання студентом завдань поточного контролю, МКР та РГР:

$$r_c = r_n + r_{МКР} + r_{РГР}$$

$r_n$  – бали поточного контролю (бали отримані при захисті звітів комп'ютерних практикумів),  $r_{МКР}$  – бал отриманий за виконання завдань модульної контрольної роботи,  $r_{РГР}$  – бал отриманий за виконання РГР. Максимальна кількість балів стартового рейтингу складає 50 балів.

### Система рейтингових балів та критерії оцінювання

#### **1. Виконання завдань з комп'ютерних практикумів**

Вісім завдань на комп'ютерний практикум мають однакову складність і їх ваговий бал становить 5. Максимальна кількість балів студента:  $r_{пр}=2$  бали  $\times 8 = 16$  балів.

*Критерії оцінювання:*

**2 бали** — за умови отриманих результатів роботи, які відповідають фізичній сутності; **1 бал** — в роботі є певні недоліки; **0 балів** — не охайно виконаний звіт в роботі є певні недоліки та\або не вчасно здане завдання.

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

#### **Штрафні бали:**

- не вчасне представлення виконаного завдання — **(-1) бал**.

#### **2. Виконання завдань МКР**

Максимальна кількість балів за виконання завдань модульної контрольної роботи  $r_{МКР} = 15$  балів. Завдання видається на передостанньому занятті. Повторне виконання завдань МКР не передбачається. Якщо студент був відсутнім на МКР по поважній причині (хвороба, або інша поважна причина, які підтверджені документально) мають право отримати і виконати завдання впродовж десяти днів після часу проведення МКР.

*Критерії оцінювання:*



**15 балів** — повне виконання завдання; **12..14 балів** — виконання завдання, з незначними помилками; **9..11 балів** — виконання завдання з помилками; **5..8 балів** — завдання виконано не в повній мірі; **0..4 балів** — виконання завдання з грубими помилками та \ або завдання не виконано.

### **3. Виконання і захист розрахункової роботи**

Максимальна кількість балів за виконання розрахунково-графічної роботи 15 балів і за захист 4 бали, тобто сумарна кількість балів дорівнює  $r_{\text{ррр}} = 19$  балів. Завдання для виконання розрахунково-графічної роботи видається студенту на початку семестру, строк захисту – останнє практичне заняття. Оформлення звіту з виконання розрахунково-графічної роботи згідно вимогам ДСТУ 8302:2015. Захист розрахунково-графічної роботи на останньому лекційному занятті. *Виконання завдань і захист розрахункової роботи обов'язкове.*

*Критерії оцінювання (виконання розрахунково-графічної роботи  $r_{1\text{ррр}}$ ):*

**15 балів** — повне виконання завдання, відповідність вимогам щодо оформлення; **12..14 балів** — повне виконання завдання, незначна невідповідність вимогам щодо оформлення; **9..11 балів** — виконання завдання з деякими незначними неточностями, відповідність вимогам щодо оформлення; **5..8 балів** — виконання завдання з деякими неточностями, деяка, не значна невідповідність вимогам щодо оформлення; **0..4 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 співпадиння результатів моделювання і аналітичного розрахунку;
- відповідей на питання щодо фізики процесів, які досліджуються.

*Критерії оцінювання (захист розрахункової роботи  $r_{2\text{ррр}}$ ):*

**4 бали** — повна вірна відповідь на поставлені запитання за темою розрахункової роботи; **3 бали** — відповідь має несуттєві неточності; **2 бали** — неповна відповідь; **1 бал** — наявність несуттєвих помилок в неповній відповіді; **0 балів** — наявність суттєвих помилок в неповній відповіді або відсутність відповіді, захист не зараховано

#### **Штрафні бали:**

- несвоєчасне представлення та/або захист розрахунково-графічної роботи без поважної причини (хвороба) — **1 бал**.

#### **Заохочувальні бали**

- участь у наукових та/або науково-практичних конференціях, семінарах, симпозиумах — **5 балів** (при умові виконання завдань розрахунково-графічної роботи).

Умовою першої атестації є отримання не менше ніж 16 балів. Умовою другої атестації є отримання не менше ніж 45 балів.

**Семестровий контроль:** екзамен.

**Умови допуску до семестрового контролю:** виконаний та зарахований цикл звітів з комп'ютерних практикумів, захищена РГР та загальний бал за всі види робіт не менше **25 балів**.

До екзамену допускаються студенти, які за результатами поточного контролю набрали не менше 25 балів і захистили РГР. За результатами екзамену студент може набрати **50 балів**.

*Критерії оцінювання та кількість балів на екзамені.*

<b>Критерії</b>	<b>Кількість балів</b>
<i>студент демонструє повні і глибокі знання навчального матеріалу, вміє правильно використовувати знання</i>	40-50
<i>студент демонструє хороші знання навчального матеріалу, вміє правильно використовувати знання</i>	30-39
<i>студент демонструє хороші знання навчального матеріалу, але допускає деякі неточності, щодо використання отриманих знань</i>	20-29
<i>студент демонструє задовільні знання навчального матеріалу, але допускає суттєві неточності, щодо використання отриманих знань</i>	10-19
<i>незадовільне знання теорії та відсутність вміння та навичок у вирішенні поставлених завдань</i>	1-9

Максимальна сумарна оцінка може бути 100 балів, мінімальна позитивна оцінка складає 60 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

За рішенням кафедри, згідно Тимчасового регламенту проведення семестрового контролю в дистанційному режимі (Наказ № 7/86 від 08.05 2020 року), допускається застосувати підхід щодо виставлення оцінки з кредитного модуля «автоматом» шляхом пропорційного перерахунку стартових балів у підсумкові за 100–бальною шкалою. При цьому обов'язковим залишається виконання студентом умов допуску до екзамену. Аспірантам, які набрали фактичний стартовий рейтинг не менший, ніж 0,9 від максимально можливого (тобто  $R_c \geq 45$ ), екзаменатор може запропонувати виставити оцінку «Дуже добре». Найвища оцінка «автоматом» не виставляється.

Переведення стартових балів у підсумкові здійснюється за формулою

$$R = 50 + \frac{50 \cdot (R_i - R_D)}{(R_c - R_D)},$$

де  $R$  – оцінка за 100–бальною шкалою;

$R_i$  – сума балів, набраних студентом продовж семестру;

$R_c$  – максимальна сума вагових балів контрольних заходів продовж семестру;

$R_D$  – бал допуску до екзамену.

Студенти, які хочуть підвищити оцінку з кредитного модуля, виконують екзаменаційну роботу. При цьому переведення стартових балів у підсумкові не здійснюється

### **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://osvita.kpi.ua/2020_7-170), [https://document.kpi.ua/files/2020\\_7-170.pdf](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» 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;

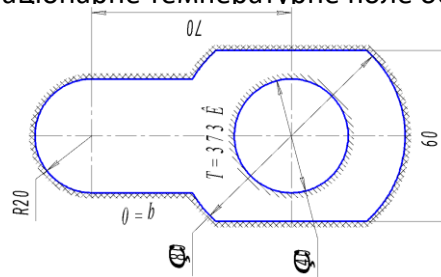
- кінцеві терміни виконання індивідуальних завдань і завдань самостійної роботи переносяться на кінець семестру (з обов'язковим виконанням і захистом);
  - у рейтингову систему оцінювання вносяться зміни стосовно нарахування штрафних балів за не своєчасне виконання завдань: штрафні бали не нараховуються.
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**

#### **Приклад завдань, які виносяться на семестровий контроль**

1. Визначити локальні коефіцієнти тепловіддачі на стінці циліндричної труби 32×1000×2 мм. Теплоносій – 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

**Ухвалено:** кафедрою АЕ (протокол № 20 від 12.06. 2024 р.)

**Погоджено:** Методичною комісією НН ІАТЕ (протокол № 10 від 25. 06. 2024 р.)