



Гідродинаміка одно- та двофазних теплоносіїв в енергогенеруючих установках

Робоча програма навчальної дисципліни (силабус)

Реквізити навчальної дисципліни

Рівень вищої освіти	<i>Перший (бакалаврський)</i>
Галузь знань	<i>14 Електрична інженерія</i>
Спеціальність	<i>142 Енергетичне машинобудування</i>
Освітня програма	<i>Інженерія і комп'ютерні технології теплоенергетичних систем</i>
Статус дисципліни	<i>вибіркова</i>
Форма навчання	<i>очна(денна)</i>
Рік підготовки, семестр	<i>IV курс, осінній</i>
Обсяг дисципліни	<i>4 кредити ЕКТС (120 годин): 36 години лекцій, 18 годин практичні заняття, 66 годин самостійна робота</i>
Семестровий контроль/ контрольні заходи	<i>залік/ модульна контрольна робота, розрахункова 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 Практичні заняття: .т.н., доцентка, Лебедь Наталія Леонідівна, nata.lebeddom@gmail.com
Розміщення курсу	https://campus.kpi.ua , https://drive.google.com , https://do.ipk.kpi.ua/

Програма навчальної дисципліни

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

Предмет навчальної дисципліни сучасні методи проектування нових видів теплообмінних пристроїв з використанням процесів генерації пари

- Сучасний стан світової енергетики показує, що процеси теплообміну при генерації парової фази застосовуються практично всюди, де йдеться про виробіток теплової та електричної енергії. Теплові та атомні електричні станції виробляють електроенергію шляхом подачі на турбіни генераторів перегрітої пари під великим тиском. Тому знання про отримання парової фази необхідно для проектування та підтримки ефективної роботи теплових і атомних електричних станцій. Також існує достатньо велика кількість сучасних теплообмінних пристроїв де використовується процес передачі теплової енергії шляхом генерації парової фази.

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

ЗК 3. Здатність застосовувати знання у практичних ситуаціях..

ФК 2. Здатність застосовувати свої знання і розуміння для визначення, формулювання і вирішення інженерних завдань з використанням методів електричної інженерії.

ФК 5. Здатність розробляти енергозберігаючі технології та енергоощадні заходи під час проектування та експлуатації енергетичного і теплотехнологічного обладнання.

ФК 8. Здатність визначати режими експлуатації енергетичного та тепло технологічного обладнання та застосовувати способи раціонального використання сировинних, енергетичних та інших видів ресурсів.

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

ПРН 11. Розуміння застосовуваних методик проектування і дослідження, а також їх обмежень відповідно до спеціалізації спеціальності 142 Енергетичне машинобудування.

ПРН 12. Застосовувати практичні навички вирішення завдань, що передбачають реалізацію інженерних проектів і проведення досліджень відповідно до спеціалізації.

ПРН 23. Визначати та аналізувати теплогідравлічні та аеродинамічні характеристики роботи енергетичного і технологічного обладнання в умовах зміни режимних та експлуатаційних параметрів

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

Пререквізити: Теорія теплообміну, Гідрогазодинаміка, Теплообмін при фазових перетвореннях і випромінюванні, Водопідготовка та водний режим котельних установок

Постреквізити: Виробнича практика, Дипломне проєктування.

3. Зміст навчальної дисципліни

Розділ 1. Фізика процесів генерації парової фази

Тема 1.1. Механізм процесу теплообміну при пазирковому кипінні

Тема 1.2. Механізм процесу теплообміну при плівковому кипінні

Розділ 2. Теплогідравлічні режими двофазних потоків

Тема 2.1. Структурні зміни пароводяного потоку в парогенеруючих елементах

Тема 2.2. Фізичні особливості процесів гідродинаміки та теплообміну у парогенеруючих каналах

Розділ 3. Рух двофазного потоку у парогенеруючих каналах

Тема 3.1. Основи розрахунку гідравлічного опору каналів ядерних реакторів в умовах руху через них однофазних потоків

Тема 3.2. Основи розрахунку гідравлічного опору каналів ядерних реакторів в умовах руху через них двофазних потоків

Тема 3.3. Теплогідравлічна розвірка паралельних каналів

Тема 3.4. Безрозмірне рівняння гідравлічної діаграми

Тема 3.5. Аналіз впливу конструктивних особливостей елемента на теплогідравлічну розвірку

Тема 3.6. Особливості гідродинаміки колекторних систем

Розділ 4. Невимушена циркуляція теплоносія в циркуляційних контурах енергетичних установок

Тема 4.1. Визначення рушійного та корисного напорів циркуляції

Тема 4.2. Оцінка надійності невимушеної циркуляції

Розділ 5. Вимушена циркуляція теплоносія в циркуляційних контурах енергетичних установок

Тема 5.1. Гідродинамічні характеристики поверхонь, що обігріваються

Тема 5.2. Методи запобігання пульсацій теплоносія в циркуляційних контурах енергетичних установок

Розділ 6. Процеси теплопереносу у випарювальних елементах енергетичних установок

Тема 6.1. Теплообмін на занурених парогенеруючих поверхнях тепловіддачі

Тема 6.2. Теплообмін у парогенеруючих каналах в умовах вимушеного руху теплоносія

Розділ 7. Визначення гранично допустимих теплових навантажень поверхонь тепловіддачі у високофорсованих теплообмінних апаратах

Тема 7.1. Механізм кризи тепловіддачі при кипінні теплоносія на занурених поверхнях тепловіддачі

Тема 7.2. Критична густина теплового потоку при кипінні теплоносія на занурених поверхнях тепловіддачі

Тема 7.3 Критична густина теплового потоку при кипінні теплоносія у парогенеруючих каналах в умовах вимушеного руху теплоносія

4. Навчальні матеріали та ресурси

Базова (підручники, навчальні посібники) література.

1. Каденко І.М., Харитонов О.М., Єрмоленко Р.В. Основи теплогідравліки ядерних енергетичних установок. Навчальний посібник / Київ: Київський університет. 2010. – 359 с. <http://atom.univ.kiev.ua/books/tg.pdf>
2. Теплогідравлічні процеси в енергетичних установках. Розрахункова робота [Електронний ресурс] : навчальний посібник для здобувачів ступеня бакалавра за освітньо-професійною програмою «Атомні електричні станції», спеціальністю 143 «Атомна енергетика» / КПІ ім. Ігоря Сікорського ; уклад.: В. Ю. Кравець, Є. С. Алексеїк, О. С. Алексеїк. – Електронні текстові дані (1 файл: 1,13 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022. – 49 с. <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/48478>

3. Чепурний М. М. Теплові розрахунки парогенераторів. [Навчальний посібник] / М. М. Чепурний, Д. В. Степанов, Є. С. Корженко. – Вінниця: ВНТУ, 2006. - 155 с.

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

4. Степанов Д.В., Корженко Є.С., Боднар Л.А. Котельні установки промислових підприємств: Навчальний посібник. – Вінниця : Внту, 2011. – 120 с.
5. Константинов С.М. Теплообмін: Підручник. - К.: ВПІ ВПК "Політехніка": Інрес, 2005. - 304 с.
http://pdf.lib.vntu.edu.ua/books/2015/Konstantinov_2005_304.pdf
6. Шевель, Є. В. Теплообмін при фазових перетвореннях і випромінюванні [Електронний ресурс] : підручник для здобувачів ступеня бакалавра енергетичних спеціальностей / Шевель Євген Вікторович, Воробйов Микита Валерійович ; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Електронні текстові дані (1 файл: 9,94 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022. – 134 с. <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/48257>

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 методи навчання та метод проблемного викладення.

Згідно навчального плану для опанування матеріалу дисципліни передбачено лекційні і практичні заняття

Лекційні заняття

№ з/п	Назва теми лекції та перелік основних питань
Розділ 1. Фізика процесів генерації парової фази	
1.	Тема 1.1. Механізм процесу теплообміну при бульбковому та плівковому кипінні. Лекція 1. Закономірність зародження, зростання, відриву та руху парових бульбашок. Механізм процесу теплообміну при бульбковому кипінні. Крива кипіння. СПС: Інтенсивність теплообміну при кипінні у великому об'ємі. Теплообмін при плівковому кипінні.
Розділ 2. Теплогідрравлічні режими двофазних потоків	
2.	Тема 2.1. Структурні зміни пароводяного потоку в парогенеруючих елементах. Лекція 2. Параметри двофазного потоку. Гомогенний, гетерогенний і адіабатний потоки. СПС: Режими руху.
3.	Тема 2.2. Фізичні особливості процесів гідродинаміки та теплообміну у парогенеруючих каналах. Лекція 3. Диференціальні рівняння гідродинаміки. Основні числа подоби, що характеризують гідродинаміку і теплообмін двофазного потоку. СПС: Розподіл швидкості в перерізі труби при ламінарному та турбулентному рухах.
Розділ 3. Рух двофазного потоку у парогенеруючих каналах	
4.	Тема 3.1. Основи розрахунку гідравлічного опору каналів ядерних реакторів в умовах руху через них однофазних потоків. Лекція 4. Рух однофазної рідини, що не стискається у трубах. Коефіцієнти опору у трубах. СПС: Залежність коефіцієнтів опору від характеру течії.
5.	Тема 3.2. Основи розрахунку гідравлічного опору каналів ядерних реакторів в умовах руху через них двофазних потоків. Лекція 5. Особливості руху двофазної рідини в каналах енергетичних установок СПС: Місцеві опори.
6.	Тема 3.3. Теплогідрравлічна розвірка паралельних каналів. Лекція 6. Основні передумови для аналітичного дослідження теплогідрравлічної надійності системи паралельних парогенеруючих каналів. СПС: Коефіцієнти теплової і гідравлічної розвірки.
7.	Тема 3.4. Безрозмірне рівняння гідравлічної діаграми. Лекція 7. Вивід безрозмірного рівняння гідравлічної діаграми (БРГД). СПС: Конструктивно витратний параметр. Фізичний сенс.
8.	Тема 3.5. Аналіз впливу конструктивних особливостей елементу на теплогідрравлічну розвірку Лекція 8. Можливість використання БРГД для аналізу впливу режимних факторів на теплогідрравлічну розвірку.

	СРС: Умови розвитку екстремальних значень коефіцієнта теплової розвірки.
9.	Тема 3.6. Особливості гідродинаміки колекторних систем. Лекція 9. Особливості гідродинаміки колекторів, які роздають та збирають потік. СРС: Характер течії в колекторах.
Розділ 4. Невимушена циркуляція теплоносія в циркуляційних контурах енергетичних установок	
10	Тема 4.1. Визначення рушійного та корисного напорів циркуляції. Лекція 10. Рушійний напір. Корисний напір. СРС: Швидкість циркуляції. <i>Модульна контрольна робота. Частина II</i>
11	Тема 4.2. Оцінка надійності невимушеної циркуляції. Лекція 11. Гідродинамічна характеристика труби при підйомному та опускному русі двофазного потоку. Швидкість підживлення. СРС: Режим застою циркуляції.
РОЗДІЛ 5 Вимушена циркуляція теплоносія в циркуляційних контурах енергетичних установок	
12	Тема 5.1. Гідродинамічні характеристики поверхонь, що обігріваються. Лекція 12. Основні передумови для аналітичного дослідження системи паралельних парогенеруючих каналів СРС: Гідродинамічна нестабільність.
13	Тема 5.2. Методи запобігання пульсацій теплоносія в циркуляційних контурах енергетичних установок. Лекція 13. Характер пульсацій потоку в парогенеруючих трубах. Вільні коливання. Пульсації при постійної тепловіддачі. СРС: Період і амплітуда пульсацій.
Розділ 6. Процеси теплопереносу у випарювальних елементах енергетичних установок	
14	Тема 6.1. Теплообмін на занурених парогенеруючих поверхнях тепловіддачі. Лекція 14. Вплив деяких факторів на інтенсивність теплообміну при бульбашковому кипінні (тиск, рівень гравітації, висота рівня рідини, орієнтація у просторі, шорсткість). СРС: Розрахункові формули.
15	Тема 6.2. Теплообмін у парогенеруючих каналах в умовах вимушеного руху теплоносія. Лекція 15. Вплив швидкості рідини і паровмісту потоку на інтенсивність теплообміну при бульбашковому кипінні. Процеси теплообміну в дисперсно-кільцевому потоці. Інтенсивність теплообміну при кипінні в умовах направленої руху рідини. СРС: Теплообмін при кипінні рідини, що не догріта.
Розділ 7. Визначення гранично допустимих теплових навантажень поверхонь тепловіддачі у високофорсованих теплообмінних апаратах	
16	Тема 7.1. Механізм кризи тепловіддачі при кипінні теплоносія на занурених поверхнях тепловіддачі. Лекція 16. Теплова та гідродинамічна теорії кризи теплообміну при кипінні рідини на занурених поверхнях теплообміну. СРС: Нестійкість по Гельмгольцу. Нестійкість по Тейлору.
17	Тема 7.2. Критична густина теплового потоку при кипінні теплоносія на занурених поверхнях тепловіддачі. Лекція 17. Вплив режимних параметрів на критичний тепловий потік при кипінні насиченої рідини. Рівняння для розрахунку критичній густині теплового потоку. СРС: Вплив недогріву рідини до температури насичення на критичну густину теплового потоку.
18	Тема 7.3 Критична густина теплового потоку при кипінні теплоносія у парогенеруючих каналах в умовах вимушеного руху теплоносія. Лекція 18. Природа кризи теплообміну при кипінні в каналах. Криза теплообміну другого роду при кипінні у круглих трубах. СРС: Криза теплообміну другого роду у кільцевих каналах. <i>Модульна контрольна робота. Частина II</i>

Практичні заняття

Практичні заняття проводяться з метою закріплення теоретичного матеріалу. Можливі теми практичних занять:

№	Назва теми заняття та перелік основних питань
---	---

з/п	(перелік дидактичних засобів, посилання на літературу та завдання на СРС)
Розділ 2. Теплогідравлічні режими двофазних потоків	
1.	Тема 2.2. Фізичні особливості процесів гідродинаміки та теплообміну у парогенеруючих каналах Диференційні рівняння гідродинаміки. Основні числа подоби, що характеризують гідродинаміку двофазного потоку. СРС: Розподіл швидкості в перерізі труби при ламінарному та турбулентному рухах.
Розділ 3. Рух двофазного потоку у парогенеруючих каналах	
2.	Тема 3.1. Основи розрахунку гідравлічного опору каналів ядерних реакторів в умовах руху через них однофазних потоків Рух однофазної рідини, що не стискається у трубах. Коефіцієнти опору у трубах. Залежність коефіцієнтів опору від характеру течії. СРС: Залежність коефіцієнтів опору від характеру течії.
3.	Тема 3.2. Основи розрахунку гідравлічного опору каналів ядерних реакторів в умовах руху через них двофазних потоків Особливості руху двофазної рідини в каналах енергетичних установок СРС: Місцеві опори.
Розділ 4. Аналітичний метод оцінки тепло гідравлічної надійності прямооточних поверхонь нагріву	
4.	Тема 3.6. Особливості гідродинаміки колекторних систем Особливості гідродинаміки колекторів, які роздають та збирають потік. Характер течії в колекторах. СРС: Характер течії в колекторах.
Розділ 4. Невимушена циркуляція теплоносія в циркуляційних контурах енергетичних установок	
5.	Тема 4.1. Визначення рушійного та корисного напорів циркуляції Рушійний напір. Корисний напір. Швидкість циркуляції. СРС: Вибір емпіричної формули.
Розділ 5. Вимушена циркуляція теплоносія в циркуляційних контурах енергетичних установок	
6.	Тема 5.2. Методи запобігання пульсацій теплоносія в циркуляційних контурах енергетичних установок Характер пульсацій потоку в парогенеруючих трубах. Вільні коливання. Пульсації при постійної тепловіддачі. СРС: Період і амплітуда пульсацій.
Розділ 6. Процеси теплопереносу у випарювальних елементах енергетичних установок	
7.	Тема 6.1. Теплообмін на занурених парогенеруючих поверхнях тепловіддачі Вплив деяких факторів на інтенсивність теплообміну при пазирковому кипінні (тиск, рівень гравітації, висота рівня рідини, орієнтація у просторі, шорсткість). Розрахункові формули. СРС: Розрахункові формули.
Розділ 7. Визначення гранично допустимих теплових навантажень поверхонь тепловіддачі у високофорсованих теплообмінних апаратах	
8.	Тема 7.1. Механізм кризи тепловіддачі при кипінні теплоносія на занурених поверхнях тепловіддачі Теплова та гідродинамічна теорії кризи теплообміну при кипінні рідини на занурених поверхнях теплообміну. Нестійкість по Гельмгольцу. Нестійкість по Тейлору. СРС: Нестійкість по Гельмгольцу. Нестійкість по Тейлору.
9.	Тема 7.2. Критична густина теплового потоку при кипінні теплоносія на занурених поверхнях тепловіддачі Вплив режимних параметрів на критичний тепловий потік при кипінні насиченої рідини. Рівняння для розрахунку критичній густини теплового потоку. Вплив недогріву рідини до температури насичення на критичну густину теплового потоку. СРС: Вплив недогріву рідини до температури насичення на критичну густину теплового потоку

6. Самостійна робота студента

Згідно навчального плану для опанування матеріалу дисципліни передбачено виконання певних теоретичних завдань СРС (видається після лекцій, представлено у п.5) та розрахункової роботи.

Методика виконання і завдання до виконання розрахункової роботи представлено у: Теплогідравлічні процеси в енергетичних установках. Розрахункова робота [Електронний ресурс] : навчальний посібник для здобувачів ступеня бакалавра за освітньо-професійною програмою «Атомні електричні станції»,

Політика та контроль

7. Політика навчальної дисципліни (освітнього компонента)

Система вимог, які викладач ставить перед студентом:

- готовність відповідей при опитуванні;
- активність, підготовка коротких доповідей чи текстів, відключення мобільних телефонів; відповідно до завдання викладача використання засобів зв'язку для пошуку інформації в Інтернеті;
- заохочувальні бали надаються у відповідності до «системи оцінювання результатів навчання», штрафні бали є засобом протидії плагіату та несвоєчасному виконанню завдань;
- політика дедлайнів та перескладань полягає у виконанні поточних модульних робіт, завдань практичних занять і СРС до початку сесії;
- політика щодо академічної доброчесності відповідає загальним положенням, прийнятим у «КПІ ім. Сікорського» (детальніше: <https://kpi.ua/code>);
- політика навчальної дисципліни спрямована на розвиток індивідуальних здібностей в напрямку набуття компетентностей щодо створення та модернізації сучасних енергетичних систем, унікального обладнання в енергетичній галузі, а також в напрямку розширення сфер застосування отриманих знань, умінь і досвіду;
- за бажанням студентів, допускається вивчення матеріалу за допомогою онлайн-курсів за тематикою, яка відповідає тематиці конкретних занять.

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

Види контролю знань студента з дисципліни:

- *відповіді на лекційних та практичних заняттях;*
- *виконання СРС;*
- *виконання МКР;*
- *виконання та захист розрахункової роботи;*
- *календарний контроль (проводиться двічі на семестр як моніторинг поточного стану виконання вимог PCO);*
- *відповідь на заліку.*

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

- 1) *п'ять відповідей в середньому кожного студента на лекційних і практичних заняттях (на одному занятті опитуються приблизно 2 студенти; при середній чисельності групи 10 осіб, вісімнадцять лекцій і дев'ять практичних занять: $2 \cdot 27/10 \approx 5$ відповідей);*
- 2) *виконання завдань СРС;*
- 3) *виконання однієї МКР;*
- 4) *відповідь на заліку при виконанні умов допуску і бажанні студента підвищити оцінку.*

За результатами навчальної роботи за перші 7 тижнів «ідеальний студент» має набрати 27 балів. На першій атестації (8-й тиждень) студент отримує «атестовано», якщо його поточний рейтинг не менше 13 балів.

За результатами 13 тижнів навчання «ідеальний студент» має набрати 48 балів. На другій атестації (14-й тиждень) студент отримує «атестовано», якщо його поточний рейтинг не менше 24.

Система рейтингових балів та критерії оцінювання

1. Робота на заняттях (опитування)

Ваговий бал — 3. Максимальна кількість балів студента на всіх заняттях: $r_{\text{он}} = 3 \text{ бали} \times 5 = 15 \text{ балів}$.

Критерії оцінювання:

3 бали — повна вірна відповідь на поставлене питання; **2,5 бали** — відповідь має несуттєві помилки; **2 бали** — неповна відповідь; **1,5 бали** — наявність несуттєвих помилок в неповній відповіді, **1 бал** — наявність суттєвих помилок в неповній відповіді, **0 балів** — відсутність відповіді.

2. Виконання СРС

Лекційні заняття

Ваговий бал — 1. Максимальна кількість балів студента за п'ятнадцять завдань (завдання СРС видаються після лекції, строк задачі завдання – не пізніше ніж через тиждень): $r_{CPC}=1 \text{ бал} \times 15 = 15 \text{ балів}$. Виконане завдання надається викладачу у вигляді конспекту, виконання завдань СРС обов'язкове.

Критерії оцінювання:

1 бал — в повному об'ємі виконане завдання; **0,5 бала** — виконане завдання не у повному обсязі; **0 балів** — не виконане завдання.

3. Виконання і захист розрахункової роботи

Максимальна кількість балів за виконання розрахункової роботи 35 балів і за захист 5 балів, тобто сумарна кількість балів дорівнює $r_{PP} = 40$. Завдання для виконання розрахункової роботи видається студенту на початку семестру, строк захисту – останнє практичне заняття. Оформлення звіту з виконання розрахункової роботи згідно вимогам ДСТУ 8302:2015. Виконання завдань і захист розрахункової роботи обов'язкове.

Критерії оцінювання (виконання розрахункової роботи):

35 балів — повне виконання завдання, відповідність вимогам щодо оформлення; **28...34 бали** — повне виконання завдання, незначна невідповідність вимогам щодо оформлення; **21...27 балів** — виконання завдання з деякими незначними неточностями, відповідність вимогам щодо оформлення; **10...20 балів** — виконання завдання з деякими неточностями, незначна невідповідність вимогам щодо оформлення; **0...9 балів** — виконання завдання з грубими помилками, невідповідність вимогам щодо оформлення – робота не зарахована, потребує доопрацювання.

Критерії оцінювання (захист розрахункової роботи):

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

Заохочувальні бали

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

4. Модульна контрольна робота (МКР)

Модульна контрольна робота розбивається на чотири частини. Максимальна кількість балів за МКР дорівнює $r_3 = 40$ балів (10 балів за кожну частину).

Критерії оцінювання:

10 балів — повна вірна відповідь на завдання; **9..8 балів** — відповідь має несуттєві помилки; **7..5 балів** — неповна відповідь; **4..3 бали** — неповна відповідь з несуттєвими недоліками; **2...0 балів** — наявність суттєвих помилок в неповній відповіді або відсутність відповіді.

4. Залік

Залік проводиться у письмово-усній формі. Залікова робота складається з чотирьох теоретичних питань. Тобто, максимальна кількість балів за виконану залікову роботу: $10 \cdot 4 = 40$ балів.

Кожне питання залікової роботи оцінюється згідно до системи оцінювання:

- повна відповідь (не менше 90% потрібної інформації) — **10...9 балів**;
- достатньо повна відповідь (не менше 70% потрібної інформації, або незначні неточності) — **9...7 балів**;
- неповна відповідь (не менше 60% потрібної інформації та деякі помилки) — **6...4 балів**;
- незадовільна відповідь (менше 60% потрібної інформації та помилки) — менше **3 балів**.

В умовах дистанційного навчання (проведення заліку онлайн) залікова робота складається з тестів (залік проводиться в усій формі): вісім теоретичних питань, які оцінюються по 5 балів кожне: $8 \cdot 5 = 40$ балів.

Критерії оцінювання:

- повна відповідь (не менше 90% потрібної інформації) — **5 балів**;
- достатньо повна відповідь (не менше 70% потрібної інформації, або незначні неточності) — **4...3 бали**;
- неповна відповідь (не менше 60% потрібної інформації та деякі помилки) — **2...1 балів**;
- незадовільна відповідь (менше 60% потрібної інформації та помилки) — **0 балів**.

Розрахунок шкали рейтингу з дисципліни (R_D):

Сума вагових балів контрольних заходів в семестрі (стартовий рейтинг) складає:

$$R_C = r_{Op} + r_{CPC} + r_{PP} + r_{PP}.$$

де r_i — рейтингові або вагові бали за кожний вид робіт з дисципліни.

Максимально можливий стартовий рейтинг: $R_C = 15+15+40+30 = 100$ балів.

Якщо в продовж семестру студент отримав більше 60 балів, він має право отримати оцінку «автоматом» згідно таблиці відповідності рейтингових балів оцінкам за університетською шкалою (див. нижче).

Необхідною умовою допуску до заліку є позитивна оцінка з виконання всіх завдань СРС та стартовий рейтинг не менше $0,25 \times R_c = 25$ балів.

Студенти, які набрали в семестрі рейтинг з дисципліни менше, ніж 25 балів або не виконали умов допуску на залік, зобов'язані до початку екзаменаційної сесії підвищити його, інакше вони не допускаються до заліку з цієї дисципліни і мають академічну заборгованість.

Застосовується «м'яка» РСО. Залікову роботу виконують студенти, які бажають підвищити свою оцінку, та студенти, які набрали менше 60 балів за семестр та виконали умови допуску на залік. Набрана студентом за семестр кількість балів анулюється. Остаточна оцінка по дисципліні розраховується як добуток балів за виконання залікової роботи на коефіцієнт перерахунку: $R_3 = 40 \times 2,5 = 100$ балів. Здобувач отримує більшу з оцінок, що отримані за результатами залікової контрольної роботи або за рейтингом.

Кількість балів при здачі заліку за рейтинговою шкалою з дисципліни переводиться у залікову оцінку згідно таблиці відповідності рейтингових балів оцінкам за університетською шкалою.

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

Процедура оскарження результатів контрольних заходів

Студенти 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).

Студенти 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.

Список теоретичних питань до залікової роботи

1. Закономірність зародження, зростання, відриву та руху парових бульбашок.
 - гомогенне та гетерогенне зародження парових бульбашок, критичний радіус зародка парового пузиря, фазова діаграма рідини;
 - пульсації температури поверхні нагріву під зростаючій паровій бульбашки, баланс сил, що діють на парову бульбашку, швидкість зростання парових пазирів, формула Фритца.
2. Механізм процесу теплообміну при пазирковому кипінні. Крива кипіння.
 - загальні залежності для коефіцієнтів тепловіддачі при пазирковому кипінні
 - фактори, які впливають на інтенсивність тепловіддачі при кипінні у великому об'ємі
3. Теплообмін при плівковому кипінні
4. Параметри двофазного потоку
 - гомогенний, гетерогенний и адіабатний потоки, масова витрата суміші, витратний масовий паровміст и витратний масовий вміст рідини;
 - витратний об'ємний паровміст и витратний об'ємний вміст рідини, витратна густина потоку и істинна густина потоку;
 - середня масова швидкість, швидкість циркуляції, приведені швидкості рідкої і парової фаз, істинні швидкості рідкої і парової фаз, істинна середня швидкість потоку, витратна середня швидкість потоку і відносна швидкість фаз
5. Режимми течії
 - класифікація режимів течії, змінення ϕ , T_c , T по довжині труби, що обігривається;
 - додаткові течії в горизонтальних трубах, діаграма режимів течії для вертикального пароводяного потоку
6. Диференціальні рівняння гідродинаміки
 - рівняння руху в проекціях на вісі координат (рівняння Нав'є-Стокса);
 - рівняння нерозривності, що виражає закон збереження матерії;
 - рівняння енергії, що виражає закон збереження енергії;
 - рівняння профілю швидкості на ділянці гідродинамічної стабілізації при ламінарної і турбулентної течії, рівняння руху для парової фази;
 - рівняння нерозривності для парової фази.
7. Основні числа подоби, що характеризують гідродинаміку двофазного потоку
 - число Фруда, його фізичний сенс, число Рейнольдса, його фізичний сенс;
 - число Ейлера, його фізичний сенс, комплекс Кутателадзе.
8. Гідравлічні опори
 - перепад тиску в каналі ΔP , втрата тиску від тертя;
 - утрата тиску в місцевих опорах, нівелірний перепад тиску;
 - утрата тиску від прискорення потоку, поняття гідравлічної характеристики, вплив нівелірної частини.
9. Рух рідини, що не стискається в трубах и коефіцієнти опору труб
 - схема розвитку течії на початковій ділянці
 - залежність коефіцієнта опору труби від числа Рейнольдса
 - коефіцієнти опору при ламінарному і турбулентному режимах течії
10. Методика розрахунку контуру з натуральною циркуляцією
 - схема простого циркуляційного контуру, рушійний напір, корисний напір, швидкість циркуляції
11. Оцінка надійності натуральної циркуляції
 - важкий контур, режим застою циркуляції, перекидання циркуляції.
12. Гідравлічна и теплова нерівномірність паралельно включених труб
 - теплова розвірка, коефіцієнт теплової нерівномірності, коефіцієнт конструктивної нерівномірності;
 - коефіцієнт гідравлічної нерівномірності, коефіцієнт колекторної нерівномірності
 - коефіцієнт гідравлічної розвірки, коефіцієнт теплової розвірки
 - зв'язок між теплової и гідравлічної розвірками;

- безрозмірне рівняння гідравлічної діаграми, коефіцієнт сумарної нерівномірності, конструктивно - витратний параметр.
13. Методи попередження пульсацій теплоносія в циркуляційних контурах енергетичних установок
- характер пульсацій потоку в трубах де виникає пара, вільні коливання, пульсація потоку.
14. Теплообмін на занурених парогенеруючих поверхнях тепловіддачі
- вплив тиску, явище гістерезису, вплив рівня гравітації;
 - вплив орієнтації тепловіддаючої поверхні, вплив рівня рідини, вплив шорсткості;
 - вплив теплофізичних властивостей тепловіддаючої поверхні
 - формула Кутателадзе, формула Толубинського.
15. Тепловіддача в пучках гладких і оребрених труб
- вплив рядку, вплив оребрення, кипіння на поверхні з пористим покриттям.
16. Теплообмін при бульбашковому кипінні в умовах направленої течії рідини
- вплив швидкості рідини, вплив паровмісту потоку;
 - процеси обміну в дисперсно-кільцевому шарі, формули для розрахунку інтенсивності теплообміну при пухирчастому кипінні в умовах течії рідини.
17. Густина критичного теплового потоку при кипінні рідини на поверхні теплообміну у великому об'ємі
- механізм процесу, вплив тиску, вплив рівня гравітації;
 - вплив відкладень і шорсткості поверхні, кількісні залежності для розрахунку критичної густини теплового потоку
 - вплив недогріву, вплив розмірів поверхні теплообміну;
 - нестійкості по Тейлору і Гельмгольцу, критична довжина хвилі.
18. Критичні теплові потоки при кипінні в круглих трубах і кільцевих каналах
- криза першого і другого роду;
 - вплив масової швидкості, вплив тиску;
 - вплив недогріву, вплив діаметра;
 - кількісні залежності для розрахунку критичної густини теплового потоку при кипінні в рівномірно обігріваних трубах
19. Поняття про пасивні замкнені випаровувально-конденсаційні системи
- термосифони
 - теплові труби

Робочу програму навчальної дисципліни (силабус):

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

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

Погоджено: Методичною комісією НН ІАТЕ (протокол № 9 від 27. 06. 2025 р.)