



**ТЕПЛОГІДРАВЛИЧНІ ПРОЦЕСИ В ЕНЕРГЕТИЧНИХ УСТАНОВКАХ**  
Робоча програма навчальної дисципліни (Силабус)

**Реквізити навчальної дисципліни**

Рівень вищої освіти	бакалавр
Галузь знань	14 Електрична інженерія
Спеціальність	143 Атомна енергетика
Освітня програма	Атомні електричні станції
Статус дисципліни	II.1. Навчальні дисципліни професійної та практичної підготовки
Форма навчання	очна(денна)
Рік підготовки, семестр	4 курс, осінній семестр
Обсяг дисципліни	3 кредитів, 90 годин
Семестровий контроль/ контрольні заходи	Залік
Розклад занять	rozklad.kpi.ua
Мова викладання	Українська
Інформація про керівника курсу / викладачів	Лектор: <i>д.т.н, Кравець Володимир Юрійович, kravetz_kpi@ukr.net</i> Практичні: <i>к.т.н, Алексеїк Євгеній Сергійович, alexeik_kpi@ukr.net</i> Лабораторні: -
Розміщення курсу	Посилання на дистанційний ресурс: <a href="https://do.ipk.kpi.ua/mod/resource/view.php?id=90678">https://do.ipk.kpi.ua/mod/resource/view.php?id=90678</a>

**Програма навчальної дисципліни**

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

– При вивченні курсу «Теплогідравличні процеси в енергетичних установках» студент має: 1) аналізувати і опрацьовувати ідеї і думки (предметні знання); 2) опанувати сучасні методи і технології наукової комунікації; 3) здатність розв'язувати складні спеціалізовані задачі і практичні проблеми у галузі атомної енергетики або у процесі навчання, що передбачає застосування теорій тепломасообміну, технічної термодинаміки, гідрогазодинаміки, трансформації (перетворення) енергії, технічної механіки та методів відповідних наук і характеризується комплексністю та невизначеністю умов.

В наслідок вивчення курсу «Теплогідравличні процеси в енергетичних установках» студенти набувають наступних результатів у навчанні:

- Розробляти плани і проекти для забезпечення досягнення поставленої мети з урахуванням всіх аспектів вирішуваної проблеми, включаючи виробництво, експлуатацію, технічне обслуговування та утилізацію обладнання атомно-енергетичного комплексу. **(ФК 11)**.
- Здатність використовувати знання характеристик специфічних матеріалів, обладнання, процесів та продуктів у професійній діяльності в галузі атомної енергетики. **(ФК 15)**.
- Знання і розуміння схем, конструкцій і принципів проектування і роботи ядерних енергетичних установок, вимог щодо безпечної експлуатації енергетичного обладнання **(ЗН 5)**.
- Знання і розуміння технології виготовлення і експлуатації ядерних енергетичних установок і технологічного обладнання. **(ЗН 6)**.
- Подальше навчання в галузі атомної енергетики, електричної інженерії і дотичних галузей знань, теплоносіїв, схем їх руху та відповідних матеріалів, що застосовуються при аналізі процесів і проектуванні обладнання атомно-енергетичного комплексу **(ПРН 08)**.
- 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)**.

- Обирати і використовувати відповідне обладнання, інструменти та методи для вирішення інженерних та/або наукових завдань в атомній енергетиці (ПРН 11).

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

*Вивчення дисципліни базується на знанні студентами дисциплін:*

*Технологія теплоносіїв; Тепломасообмін; Енергетичні ядерні реактори;*

*Забезпечує: Дипломне проектування;*

*Зміст навчальної дисципліни*

### **Розділ 1. Фізика процесів генерації парової фази**

#### **Тема 1.1. Механізм процесу теплообміну при пазирковому та плівковому кипінні**

Виникнення, зріст і відрив парової бульки на гладкій поверхні. Інтенсивність теплообміну при кипінні у великому об'ємі. Теплообмін при плівковому кипінні.

### **Розділ 2. Теплогідрравлічні режими двофазних потоків**

#### **Тема 2.1. Структурні зміни пароводяного потоку в парогенеруючих елементах**

Параметри двофазного потоку. Гомогенний, гетерогенний і адіабатний потоки. Режими течії.

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

Диференціальні рівняння гідродинаміки. Основні числа подоби, що характеризують гідродинаміку двофазного потоку.

### **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**

Рух однофазної рідини, що не стискається у трубах. Коефіцієнти опору у трубах. Залежність коефіцієнтів опору від характеру течії.

#### **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

#### **Тема 3.3. Теплогідрравлічна розвірка паралельних каналів**

Основні передумови для аналітичного дослідження теплогідрравлічної надійності системи паралельних парогенеруючих каналів. Коефіцієнти теплової і гідравлічної розвірки. Конструктивно витратний параметр.

#### **Тема 3.4. Безрозмірне рівняння гідравлічної діаграми**

Вивід безрозмірного рівняння гідравлічної діаграми (БРГД).

#### **Тема 3.5. Аналіз впливу конструктивних особливостей елемента на теплогідрравлічну розвірку**

Можливість використання БРГД для аналізу впливу режимних факторів на теплогідрравлічну розвірку. Умови розвитку екстремальних значень коефіцієнта теплової розвірки.

#### **Тема 3.6. Особливості гідродинаміки колекторних систем**

Особливості гідродинаміки колекторів, які роздають та збирають потік. Характер течії в колекторах.

### **Розділ 4. Невимушена циркуляція теплоносія в циркуляційних контурах енергетичних установок**

#### **Тема 4.1. Визначення рушійного та корисного напорів циркуляції**

Рушійний напір. Корисний напір. Швидкість циркуляції.

#### **Тема 4.2. Оцінка надійності невимушеної циркуляції**

Гідродинамічна характеристика труби при підйомному та опускному руху двофазного потоку. Швидкість підживлення. Режим застою циркуляції.

### **Розділ 5. Вимушена циркуляція теплоносія в циркуляційних контурах енергетичних установок**

#### **Тема 5.1. Гідродинамічні характеристики поверхонь, що обігріваються**

Основні передумови для аналітичного дослідження системи паралельних парогенеруючих каналів.

### **Тема 5.2. Методи запобігання пульсації теплоносія в циркуляційних контурах енергетичних установок**

Характер пульсації потоку в парогенеруючих трубах. Вільні коливання. Пульсації при постійній тепловіддачі.

## **Розділ 6. Процеси теплопереносу у випарювальних елементах енергетичних установок**

### **6.1. Теплообмін на занурених парогенеруючих поверхнях тепловіддачі**

Вплив деяких факторів на інтенсивність теплообміну при пухирковому кипінні (тиск, рівень гравітації, висота рівня рідини, орієнтація у просторі, шорсткість). Розрахункові формули.

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

Вплив швидкості рідини і паровмісту потоку на інтенсивність теплообміну при пухирковому кипінні. Процеси теплообміну в дисперсно-кільцевому потоці. Інтенсивність теплообміну при кипінні в умовах направленої течії рідини.

## **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**

Теплова та гідродинамічна теорії кризи теплообміну при кипінні рідини на занурених поверхнях теплообміну. Нестійкість по Гельмгольцу. Нестійкість по Тейлору.

### **Тема 7.2. Критична щільність теплового потоку при кипінні теплоносія на занурених поверхнях тепловіддачі**

Вплив режимних параметрів на критичний тепловий потік при кипінні насиченої рідини. Рівняння для розрахунку критичної щільності теплового потоку. Вплив недогріву рідини до температури насичення на критичну щільність теплового потоку.

### **Тема 7.3 Критична щільність теплового потоку при кипінні теплоносія у парогенеруючих каналах в умовах вимушеного руху теплоносія**

## **3. Навчальні матеріали та ресурси**

*Рекомендована література*

### **Основна література**

1. Тепловыделение в ядерном реакторе. Под ред. Н.Н. Пономарева-Степного, - М.: Энергоатомиздат, 1985, - 160с.
2. Кириллов П.Л., Юрьев Ю.С., Бобков В.П. Справочник по теплогидравлическим расчетам (ядерные реакторы, теплообменники, парогенераторы) - М.: Энергоатомиздат, 1990, - 360с.
3. Кутепов А.М., Стерман Л.С., Стюшин Н.Г. Гидродинамика и теплообмен при парообразовании - М.: Высшая школа, 1986, - 448с.
4. Петухов Б.С., Генин Л.Г., Ковалев С.А. Теплообмен в ядерных энергетических установках/ Б.С. Петухов, - М.: Энергоатомиздат, 1986, - 470с.
5. Дейч М.Е., Зарянкин А.Е. Гидрогазодинамика: Учеб. пособие для вузов – М.: Энергоатомиздат, 1984. – 384с.
6. Делайе Дж., Гио М., Ритмюллер М. Теплообмен и гидродинамика в атомной и тепловой энергетике. Пер. с англ. Под ред. П.Л. Кириллова / - М.: Энергоатомиздат, 1984, - 422с.
7. Галин Н.М., Кириллов П.Л. Тепломассообмен (в ядерной энергетике) - М.: Энергоатомиздат, 1987, - 376с.

### **Допоміжна література**

8. Саркисов А.А., Пучков В.Н. Физические основы эксплуатации ядерных паропроизводящих установок/ А.А. Саркисов, - М.: Энергоатомиздат, 1989, - 504с.
9. Петров П.А. Гидродинамика прямоточного котла – М-Л: Гос. энерг. изд. 1960. – 168 с.
10. Орнатский А.П., Дашкиев Ю.Г., Перков В.Г. Парогенераторы сверхкритического давления: Учеб. пособие для вузов - Киев: Вища школа, 1980. – 288 с.
11. Двайер О. Теплообмен при кипении жидких металлов– М: Мир, 1980. – 516с.
12. Методичні вказівки до самостійної роботи з курсу «Гідродинаміка та теплообмін в ядерних енергетичних установках» ч.1, 2, - Київ, КПІ, 1992, - 75с., 90с.

## Навчальний контент

Методика опанування навчальної дисципліни (освітнього компонента)

Лекційні заняття

Розділ 1. Фізика процесів генерації парової фази

Тема 1.1. Механізм процесу теплообміну при пазирковому та плівковому кипінні.

ЛЕКЦІЯ 1. Закономірність зародження, зростання, відриву та руху парових бульба-шок. Механізм процесу теплообміну при пазирковому кипінні. Крива кипіння.

Література: [4] гл.11, стор. 313-353.

Розділ 2. Теплогідралічні режими двофазних потоків

Тема 2.1. Структурні зміни пароводяного потоку в парогенеруючих елементах.

ЛЕКЦІЯ 2. Параметри двофазного потоку. Гомогенний, гетерогенний і адіабатний потоки.

Література: [4] гл.13, стор. 380-392;

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

ЛЕКЦІЯ 3. Диференційні рівняння гідродинаміки. Основні числа подоби, що харак-теризують гідродинаміку і теплообмін двофазного потоку.

Література: [3] гл. 1, стор.15-19; [7] гл. 6, стор.269-281

Розділ 3. Рух двофазного потоку у парогенеруючих каналах

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

ЛЕКЦІЯ 4. Рух однофазної рідини у трубах. Коефіцієнти опору у трубах.

Література: [2] гл.1, стр. 26-38

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

ЛЕКЦІЯ 5. Особливості руху двофазної рідини в каналах енергетичних установок

Література: [2] гл.2, стр. 44-60;

Тема 3.3. Теплогідралічна розвірка паралельних каналів.

ЛЕКЦІЯ 6. Основні передумови для аналітичного дослідження теплогідралічної надійності системи паралельних парогенеруючих каналів.

Література: [3] гл.2, стр. 67-75;

Тема 3.4. Безрозмірне рівняння гідралічної діаграми.

ЛЕКЦІЯ 7. Вивід безрозмірного рівняння гідралічної діаграми (БРГД).

Література: [10] гл. 2, стор. 49-53

Тема 3.5. Аналіз впливу конструктивних особливостей елемента на теплогідралічну розвірку.

ЛЕКЦІЯ 8. Можливість використання БРГД для аналізу впливу режимних факторів на теплогідралічну розвірку.

Література: [10] гл. 2, стор. 53-63

Тема 3.6. Особливості гідродинаміки колекторних систем.

ЛЕКЦІЯ 9. Особливості гідродинаміки колекторів, які роздають та збирають потік.

Література: [9] гл. 3, стор. 68-81

Розділ 4. Невимушена циркуляція теплоносія в циркуляційних контурах енергетичних установок

Тема 4.1. Визначення рушійного та корисного напорів циркуляції.

ЛЕКЦІЯ 10. Рушійний напір. Корисний напір.

Література: [3] гл.2, стр. 47-55.

Тема 4.2. Оцінка надійності невимушеної циркуляції.

ЛЕКЦІЯ 11. Гідродинамічна характеристика труби при підйомному та опускному руху двофазного потоку. Швидкість підживлення.

Література: [3] гл.2, стр. 55-66.

РОЗДІЛ 5. Вимушена циркуляція теплоносія в циркуляційних контурах енергетичних установок

Тема 5.1. Гідродинамічні характеристики поверхонь, що обігріваються.

ЛЕКЦІЯ 12. Основні передумови для аналітичного дослідження системи паралельних парогенеруючих каналів

Література: [3] гл.2, стр. 70-75

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

ЛЕКЦІЯ 13. Характер пульсації потоку в парогенеруючих трубах. Вільні коливання. Пульсації при постійній тепловіддачі.

Література: [3] гл.2, стр. 75-79; [9] гл. 5, стр.128-164.

Розділ 6. Процеси теплопереносу у випарювальних елементах енергетичних установок

Тема 6.1. Теплообмін на занурених парогенеруючих поверхнях тепловіддачі.

ЛЕКЦІЯ 14. Вплив деяких факторів на інтенсивність теплообміну при пазирковому кипінні (тиск, рівень гравітації, висота рівня рідини, орієнтація у просторі, шорсткість).

Література: [2] гл.5, стр. 82-84; [4] гл. 11, стр. 328-353; [7] гл. 6, стр. 242-248

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

ЛЕКЦІЯ 15. Вплив швидкості рідини і паровмісту потоку на інтенсивність теплообміну при пазирковому кипінні. Процеси теплообміну в дисперсно-кільцевому потоці. Інтенсивність теплообміну при кипінні в умовах направленої руху рідини.

Література: [2] гл.5, стр. 85-89; [7] гл. 6, стр. 259-281.

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.

ЛЕКЦІЯ 16. Теплова та гідродинамічна теорії кризи теплообміну при кипінні рідини на занурених поверхнях теплообміну.

Література: [3] гл.10, стр. 269-270; [7] гл. 6, стр. 248-255.

Тема 7.2. Критична щільність 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 щільності теплового потоку.

Література: [3] гл.10, стр. 271-278; [7] гл. 6, стр. 281-303.

Тема 7.3 Критична щільність 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.

Література: [3] гл.11, стр. 283-315; [3] гл.12, стр. 315-327; [2] гл.6, стр. 91-113.

Модульна контрольна робота.

Практичні заняття

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

1. Диференційні рівняння гідродинаміки. Основні числа подоби, що характеризують гідродинаміку двофазного потоку.

Література: [3] гл. 1, стор.15-19; [7] гл. 6, стор.269-281

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

2. Рух однофазної рідини, що не стискається у трубах. Коефіцієнти опору у трубах. Залежність коефіцієнтів опору від характеру течії.

Література: [2] гл.1, стр. 26-38

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

3. Особливості руху двофазної рідини в каналах енергетичних установок

Література: [2] гл.2, стр. 44-60;

Тема 3.6. Особливості гідродинаміки колекторних систем

4. Особливості гідродинаміки колекторів, які роздають та збирають потік. Характер течії в колекторах.

Література: [9] гл. 3, стор. 68-81



Розділ 4. Невимушена циркуляція теплоносія в циркуляційних контурах енергетичних установок

Тема 4.1. Визначення рушійного та корисного напорів циркуляції

5. Рушійний напір. Корисний напір. Швидкість циркуляції.

Тема 2.1 Математичний опис досліджуваного процесу. Вибір емпіричних формул на основі обробки експериментальних даних. Планування повнофакторного експерименту.

Література: [1] с.176-187, [5] с.244-261.

Розділ 5. Вимушена циркуляція теплоносія в циркуляційних контурах енергетичних установок

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

6. Характер пульсацій потоку в парогенеруючих трубах. Вільні коливання. Пульсації при постійній тепловіддачі.

Література: [3] гл.2, стр. 75-79; [9] гл. 5, стр.128-164.

Розділ 6. Процеси теплопереносу у випарювальних елементах енергетичних установок

Тема 6.1. Теплообмін на занурених парогенеруючих поверхнях тепловіддачі

7. Вплив деяких факторів на інтенсивність теплообміну при пухирковому кипінні (тиск, рівень гравітації, висота рівня рідини, орієнтація у просторі, шорсткість). Розрахункові формули.

Література: [2] гл.5, стр. 82-84; [4] гл. 11, стр. 328-353; [7] гл. 6, стр. 242-248

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

8. Теплова та гідродинамічна теорії кризи теплообміну при кипінні рідини на занурених поверхнях теплообміну. Нестійкість по Гельмгольцу. Нестійкість по Тейлору.

Література: [3] гл.10, стр. 269-270; [7] гл. 6, стр. 248-255.

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

9. Вплив режимних параметрів на критичний тепловий потік при кипінні насиченої рідини. Рівняння для розрахунку критичній щільності теплового потоку. Вплив недогріву рідини до температури насичення на критичну щільність теплового потоку.

Література: [3] гл.10, стр. 271-278; [7] гл. 6, стр. 281-303.

#### **4. Самостійна робота студента**

Теми до самостійної роботи до лекційних занять:

1. Інтенсивність теплообміну при кипінні у великому об'ємі. Теплообмін при плівковому кипінні. Література: [7] гл. 6, стор.234-259.

2. Режим руху. Література: [7] гл. 6, стор.259-269

3. Розподіл швидкості в перерізі труби при ламінарному та турбулентному рухах. Література: [5] гл. 9, стор.242-248

4. Залежність коефіцієнтів опору від характеру течії. Література: [4] гл. 8, стр.234-264

5. Місцеві опори. Література: [5] гл. 9, стор.254-265

6. Коефіцієнти теплової і гідравлічної розвірки. Література: [9] гл. 2, стор. 43-60

7. Конструктивно витратний параметр. Фізичний сенс. Література: [10] гл. 2, стор. 49-53

8. Умови розвитку екстремальних значень коефіцієнта теплової розвірки. Література: [10] гл. 2, стор. 53-63

9. Характер течії в колекторах. Література: [9] гл. 3, стор. 77-81

10. Швидкість циркуляції. Література: [3] гл.2, стр. 51-53

11. Режим застою циркуляції. Література: [3] гл.2, стр. 55-58.

12. Гідродинамічна нестабільність. Література: [3] гл.2, стр. 73-75

13. Період і амплітуда пульсацій. Література: [9] гл. 5, стр.152-160.

14. Розрахункові формули. Література: [3] гл.7, стр. 204-213

15. Теплообмін при кипінні рідини, що не догріта. Література: [7] гл. 6, стр. 273-275.

16. Нестійкість по Гельмгольцу. Нестійкість по Тейлору. Література: [11] гл.6, стр. 422-

17. Вплив недогріву рідини до температури насичення на критичну щільність теплового потоку. Література: [3] гл.10, стр. 278-280.

18. Криза теплообміну другого роду у кільцевих каналах. Література: [3] гл.12, стр. 327-329

## Політика та контроль

### 5. Політика навчальної дисципліни (освітнього компонента)

Викладачі курсу очікують від студентів активного залучення та безпосередньої участі у опануванні дисципліни, зокрема:

- відвідування занять (лекцій, практичних);
- дотримання правил поведінки на заняттях (активність, уникнення телефонних розмов під час аудиторних занять, зосередженість на матеріалі заняття, відключення телефонів, використання відповідних засобів для оперативного пошуку інформації);
- регулярний перегляд повідомлень та виконання призначених завдань; регулярний перегляд та обробка повідомлень на електронну пошту у корпоративному домені @kpi.ua;
- оперативне реагування на запити та питання викладача;
- розуміння та дотримання рейтингової системи оцінювання (PCO);
- дотримання політики дефайнів та перекладань;
- дотримання політики щодо академічної доброчесності;
- інші вимоги, що не суперечать законодавству України та нормативним документам університету.

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

Поточний контроль: опитування за темами (ZOOM конференції), МКР

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

Семестровий контроль: Залік

Умови допуску до семестрового контролю: мінімально позитивна оцінка за опитуваннями, семестровий рейтинг більше 30 балів.

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

	кількість	бали	сума балів
Лекційні заняття	18	відповіді на занятті	18
Практичні заняття	9	відповіді на занятті	18
Модульна контрольна робота	1		24
Сума вагових балів контрольних заходів			60

Шкала балів за відповідні рівні оцінювання з кожного виду контролю.

1. МКР: (24 бали)

«відмінно», повна відповідь (не менше 90% потрібної інформації) – 24-20 балів;

«добре», достатньо повна відповідь (не менше 75% потрібної інформації), або повна відповідь з незначними неточностями – 19-15 балів;

«задовільно», неповна відповідь (не менше 60% потрібної інформації) та незначні помилки – 14-8 балів;

«незадовільно», незадовільна відповідь (не відповідає вимогам) – 7-0 балів.

2. Лекційне заняття (з розрахунку одне питання всього 1 бал)

творче розкриття питань, вільне володіння матеріалом – 1 бал;

немає відповіді – 0 балів;

3. Практичне заняття: (з розрахунку чотири питання всього 2 бали)

«відмінно», творче розкриття питань, вільне володіння матеріалом – 2 бали;

«добре», глибоке розкриття питань – 1 бал;

немає відповіді – 0 балів.

Заохочувальні і штрафні бали:

	бали
1. Відсутність на лекції або на практичних заняттях без поважних причин	-5
2. Ведення конспекту лекцій	1...5
Сума заохочувальних і штрафних балів $RS$	10

## 7. Додаткова інформація з дисципліни (освітнього компонента)

Перелік питань до заліку

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. Режими течії

- класифікація режимів течії, змінення  $\varphi$ ,  $T_c$ ,  $T$  по довжині труби, що обігрівається;

- додаткові течії в горизонтальних трубах, діаграма режимів течії для вертикального пароводяного потоку

6. Диференціальні рівняння гідродинаміки

- рівняння руху в проекціях на вісі координат (рівняння Навьє- Стокса);

- рівняння нерозірваності, 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 не розірваності 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  $\Delta P$ , утрата 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 і 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

- важкій контур, режим застою циркуляції, перекидання циркуляції.

12. Гідравлічна і 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 тепловою і гідравлічною 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 направлено руху рідини

- вплив швидкості рідини, вплив паровмісту потоку;

- процеси обміну в дисперсно-кільцевому шарі, формули для розрахунку інтенсивності теплообміну при пухирковому кипінні в умовах руху 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 обігріваємих трубах

19. Поняття о пасивних замкнених випарувально-конденсаційних системах

- термосифони

- теплові труби

Робочу програму навчальної дисципліни (силабус):

Складено професором каф. АЕС і ІТФ, д.т.н., Кравцем Володимиром Юрійовичем

Ухвалено кафедрою АЕС і ІТФ (протокол № 19 від 09.06.2021 р.)

Погоджено Методичною комісією факультету1 (протокол № \_\_ від \_\_\_\_\_)