



Теплообмін при фазових перетвореннях і випромінюванні

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>Нормативна</i>
Форма навчання	<i>очна(денна)</i>
Рік підготовки, семестр	<i>3 курс, осінній семестр</i>
Обсяг дисципліни	<i>6 кредитів/ 180 годин / 45 год. лекцій, 36 год. практичних, 9 год лабораторних, 90 год. СРС</i>
Семестровий контроль/ контрольні заходи	<i>Екзамен / модульна контрольна робота</i>
Розклад занять	http://roz.kpi.ua/
Мова викладання	<i>Українська</i>
Інформація про керівника курсу / викладачів	Лектор: к. т. н., доц., Шевель Євген Вікторович, Eugeneshewel@i.ua Практичні: к.т.н., ас. Баскова Олександра Олександрівна, baskaleksandra@gmail.com Лабораторні: к.т.н., ас. Баскова Олександра Олександрівна, , baskaleksandra@gmail.com
Розміщення курсу	https://do.ipk.kpi.ua/course/view.php?id=2461

Програма навчальної дисципліни

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

Питання теплообміну в інженерних розробках мають велике значення оскільки ці процеси широко використовуються в різних галузях промисловості, науки, техніки. Надійна ефективна робота багатьох пристроїв обумовлена правильними розрахунками при їх конструюванні, що в свою чергу неможливо без досконалого розуміння закономірностей протікання цих процесів, вміння проводити розрахунки та створювати відповідні конструкції.

Предмет дисципліни – процеси теплообміну при кипінні, конденсації, тепловому випромінюванні; визначення умов існування різних видів теплообміну, їх інтенсивності, величин теплових потоків, максимально допустимих теплових навантажень.

Метою вивчення дисципліни є набуття студентами комплексу знань та навиків, що дозволяють проводити розрахунки теплообмінного обладнання, передбачати заходи щодо підвищення надійності його роботи та техніко-економічних показників.

Курс має на меті сформувати та розвинути такі фахові компетентності студентів:

ФК 6. Здатність вибирати основні й допоміжні матеріали та способи реалізації основних теплотехнологічних процесів при створенні нового обладнання в галузі енергомашинобудування і застосовувати прогресивні методи експлуатації теплотехнологічного обладнання для об'єктів енергетики, промисловості і транспорту, комунально-побутового та аграрного секторів економіки.

ФК 7. Здатність брати участь у роботах з розробки і впровадження теплотехнологічних процесів у ході підготовки виробництва нової продукції, перевіряти якість монтажу й налагодження при випробуваннях і здачі в експлуатацію нових енергетичних об'єктів та систем.

Програмними результатами навчання є:

ПРН 1. Знання і розуміння математики та тепломасообміну, технічної термодинаміки, гідрогазодинаміки, трансформації (перетворення) енергії, технічної механіки, конструкційних матеріалів, систем автоматизованого проектування енергетичних машин на рівні, необхідному для досягнення результатів освітньої програми.

ПРН 8. Виконувати літературний огляд, використовувати наукові бази даних та інші відповідні джерела інформації, здійснювати моделювання з метою детального вивчення і дослідження інженерних питань спеціальності 142 Енергетичне машинобудування відповідних спеціалізацій.

ПРН 10. Використовувати навички та вміння планувати і виконувати експериментальні дослідження за допомогою інструментальних засобів (вимірювальних приладів), оцінювати похибки проведення досліджень, робити висновки.

ПРН 13. Використовувати обладнання, матеріали та інструменти, інженерні технології і процеси, а також розуміння їх обмежень відповідно до спеціалізацій спеціальності 142 Енергетичне машинобудування.

ПРН 22. Класифікувати теплообмінне обладнання за різними ознаками і відповідно до заданих умов роботи теплообмінного обладнання, вибирати паливо і теплоносії, використовувати стандартні методики для виконання конструкторських і повіркових розрахунків тепло- і парогенеруючих установок і теплоенергетичного обладнання.

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

Пререквізити: «Теорія теплообміну».

Постреквізити: «Парові та водогрійні котли. Частина 1» та «Енергетичні ядерні реактори».

3. Зміст навчальної дисципліни

РОЗДІЛ 1. Конвективний теплообмін

Тема 1.1. Окремі види конвективного теплообміну

Вступ. Теплообмін рідких металів. Теплообмін в однофазному середовищі при біякритичних параметрах стану. Теплообмін при високій швидкості газового потоку. Тепловіддача в розріджених газах.

РОЗДІЛ 2 Теплообмін при фазових перетвореннях

Тема 2.1. Теплообмін при кипінні

Відомості про будову рідини. Внутрішні характеристики кипіння. Інтенсивність теплообміну при кипінні у великому об'ємі. Коефіцієнт тепловіддачі при кипінні у великому об'ємі. Вплив незалежних параметрів на коефіцієнт тепловіддачі. Кризи кипіння. Двофазний потік.

Тема 2.2. Теплообмін при конденсації

Особливості течії та теплообміну при конденсації на поверхні. Теплообмін при плівковій конденсації нерухомої пари. Вплив факторів, що не враховуються теорією Нусельта.

РОЗДІЛ 3 Теплообмін випромінюванням

Тема 3.1. Теплообмін випромінюванням

Основні поняття та визначення теплообміну випромінюванням. Теплообмін випромінюванням між тілами. Теплообмін в поглинаючих і випромінюючих середовищах. Складний теплообмін.

4. Навчальні матеріали та ресурси

Базова література

1. 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>
2. Є.В. Шевель, М.В. Воробйов. Теплообмін при кипінні. Навчальний посібник [Електронний ресурс]: для студентів які навчаються за спеціальностями 142 Енергетичне машинобудування, 143 Атомна енергетика, 144 Теплоенергетика / КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Електронні текстові дані (1 файл: 2,45 Мбайт). – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2021. – 42 с. (<https://ela.kpi.ua/handle/123456789/41235>)
3. Є.В. Шевель, М.В. Воробйов. Теплообмін при конденсації. Навчальний посібник [Електронний ресурс] для студентів які навчаються за спеціальностями 142 Енергетичне машинобудування, 143 Атомна енергетика, 144 Теплоенергетика / КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Електронні текстові дані (1 файл: 2,87 Мбайт). – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2021. – 33 с. (<https://ela.kpi.ua/handle/123456789/41234>)
4. Є.В. Шевель, М.В. Воробйов. Теплообмін випромінюванням. Навчальний посібник [Електронний ресурс] для студентів які навчаються за спеціальностями 142 Енергетичне машинобудування, 143 Атомна енергетика, 144 Теплоенергетика / КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Електронні текстові дані (1

файл: 4,57 Мбайт). – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2021. – 55 с.
(<https://ela.kpi.ua/handle/123456789/42119>)

Додаткова література

5. Толубинский В. И. Теплообмен при кипении / В. И. Толубинский. – Киев: Наукова думка, 1980. – 316 с.
6. Исаченко В. П. Теплопередача / В. П. Исаченко, В. А. Осипова, Л. С. Сукомел. – Москва: "Энергия", 1975.
7. Михеев М. А. Основы теплопередачи / М. А. Михеев, И. Н. Михеева. – Москва: "Энергия", 1977.
8. Петухов Б. С. Теплообмен в ядерных энергетических установках / Б. С. Петухов, Л. Г. Генин, С. А. Ковалев. – Москва: Энергоатомиздат, 1986.
9. Галин Н. М. Тепло-массообмен (в ядерной энергетике) / Н. М. Галин, П. Л. Кириллов. – Москва: Энергоатомиздат, 1987.
10. Краснощеков Е. А. Задачник по теплопередаче / Е. А. Краснощеков, А. С. Сукомел. – Москва: "Энергия", 1975.
11. Кириллов П. Л. Справочник по теплогидравлическим расчетам / П. Л. Кириллов, Ю. С. Юрьев, Б. П. Бобков. – Москва: Энергоатомиздат, 1984.
12. Исаченко В. П. Теплообмен при конденсации / В. П. Исаченко. – Москва: "Энергия", 1977. – 240 с.

Навчальний контент

5. Методика опанування навчальної дисципліни (освітнього компонента)

Лекційні заняття

№ з/п	Назва теми лекції та перелік основних питань (перелік дидактичних засобів, посилання на літературу та завдання на СРС)
Розділ 1 Конвективний теплообмін	
1.	Тема 1.1. Окремі види конвективного теплообміну Лекція 1. Вступ. Рідкометалеві теплоносії Завдання дисципліни. Силабус, РСО, література. Необхідність використання рідких металів, як теплоносіїв. Переваги та недоліки рідких металів, їх теплофізичні властивості, контактний термічний опір. Лекція супроводжується показом відповідних таблиць та рисунків за допомогою проектора. Література: основна – [1], с. 242-247, [2], с. 296-300, додаткова - [5], с. 302-314. Завдання на самостійну роботу: Опрацювання матеріалу лекцій. Особливості контактного термічного опору, причини що його викликають та сутність фізичних явищ.
2.	Лекція 2. Теплообмін рідких металів Теплообмін при вільній конвекції, теплообмін при вимушеній конвекції рідких металів. Розрахункові формули для обчислення інтенсивності теплообміну. Лекція супроводжується показом відповідних таблиць та рисунків за допомогою проектора. Література: основна – [1], с. 242-247, [2], с. 296-300, додаткова - [5], с. 302-314. Завдання на самостійну роботу: Опрацювання матеріалу лекцій. формули для визначення інтенсивності теплообміну.
3.	Лекція 3. Теплообмін в однофазному середовищі при навіколокритичних параметрах стану Особливості зміни теплофізичних властивостей речовин при навіколокритичних параметрах стану. Режими течії рідини при навіколокритичних параметрах стану. Розрахунок інтенсивності теплообміну. Лекція супроводжується показом відповідних таблиць та рисунків за допомогою проектора. Література: основна – [1], с. 247-248, [3], с. 253-264. додаткова – [5], с. 235-242, Завдання на самостійну роботу: Опрацювання матеріалу лекцій. Практичне застосування відомостей про теплообмін в однофазному середовищі при навіколокритичних параметрах стану.
4.	Лекція 4. Теплообмін при високій швидкості газового потоку Особливості омивання тіл високошвидкісним газовим потоком. Температура гальмування та адіабатна температура стінки. Розподіл температур в граничному шару в умовах підводу та відводу

	<p>теплоти. Обчислення тепловіддачі при омиванні тіл високошвидкісним газовим потоком.</p> <p>Лекція супроводжується показом відповідних таблиць та рисунків за допомогою проектора.</p> <p>Література: основна – [1], с. 248-255, [2], с. 286-292.</p> <p>Завдання на самостійну роботу: Опрацювання матеріалу лекцій. Коефіцієнт відновлення, його фізичний зміст, практичне визначення.</p>
5.	<p>Лекція 5. Тепловіддача в розріджених газах</p> <p>Молекулярна модель розріджених газів. Взаємодія молекул із стінкою. Режими течії розріджених газів. Стрибок швидкості і трибок температури біля твердої стінки при режимі ковзаючого потоку. Інтенсивність теплообміну в умовах течії розрідженого газу.</p> <p>Лекція супроводжується показом відповідних таблиць та рисунків за допомогою проектора.</p> <p>Література: основна – [1], с. 255-263.</p> <p>Завдання на самостійну роботу: Опрацювання матеріалу лекцій. Коефіцієнт акомодатції, коефіцієнт обміну кількістю руху.</p>
Розділ 2 Теплообмін при фазових перетвореннях	
6.	<p>Тема 2.1. Теплообмін при кипінні</p> <p>Лекція 6. Відомості про будову рідини</p> <p>Рух молекул рідини, поверхневий натяг, надлишок тиску, пов'язаний з поверхневим натягом. Змочуваність, крайовий кут змочування.</p> <p>Лекція супроводжується показом відповідних таблиць та рисунків за допомогою проектора.</p> <p>Література: основна - [2], с. 117 [3], с. 321-324, [4], с. 238-239.</p> <p style="padding-left: 40px;">додаткова – [5], с. 322-323.</p> <p>Завдання на самостійну роботу: Опрацювання матеріалу лекцій. Поправка Лапласа для поверхні довільної кривизни.</p>
7.	<p>Лекція 7. Внутрішні характеристики кипіння</p> <p>Зародження бульбашок пари, критичний радіус. Теорія гетерофазних флуктуацій Френкеля. Мінімальна робота утворення бульбашок критичного розміру.</p> <p>Лекція супроводжується показом відповідних таблиць та рисунків за допомогою проектора.</p> <p>Література основна - [1], с. 295-301, [2], с. 2118-119, [3], с. 324-328</p> <p style="padding-left: 40px;">додаткова - [5], с. 317-328.</p> <p>Завдання на самостійну роботу: Опрацювання матеріалу лекцій. Перегрів, необхідний для виникнення парового зародку.</p>
8.	<p>Лекція 8. Внутрішні характеристики кипіння</p> <p>Швидкість росту парової бульбашки. Відривний діаметр бульбашки, її форма, частота відриву. Число діючих центрів пароутворення.</p> <p>Література основна - [1], с. 295-301, [2], с. 2118-119, [3], с. 324-328</p> <p style="padding-left: 40px;">додаткова - [5], с. 317-328.</p> <p>Завдання на самостійну роботу: Опрацювання матеріалу лекцій. Перегрів, необхідний для виникнення парового зародку</p>
9.	<p>Лекція 9. Інтенсивність теплообміну при кипінні у великому об'ємі</p> <p>Класифікація видів кипіння. Розподіл температур в об'ємі киплячої рідини. Способи підводу тепла до поверхні (г. у. 1-го та 3-го роду). Крива кипіння, механізми, що використовуються для опису теплообміну при кипінні. 1-а та 2-га кризи кипіння.</p> <p>Лекція супроводжується показом відповідних таблиць та рисунків за допомогою проектора.</p> <p>Література: основна - [1], с. 301-303, 306-308, [2], с. 111-116, [4], с. 236-237</p> <p style="padding-left: 40px;">додаткова - [5], с. 328-337.</p> <p>Завдання на самостійну роботу: Опрацювання матеріалу лекцій. Вплив мікрохарактеристик поверхні кипіння на форму кривої кипіння.</p>
10.	<p>Лекція 10. Коефіцієнт тепловіддачі при кипінні у великому об'ємі</p> <p>Модель Толубінського та його узагальнююча залежність, середня швидкість росту парової бульбашки за період. Безрозмірні експериментальні формули Лабунцова та Кутателадзе. Емпіричні формули для води.</p> <p>Лекція супроводжується показом відповідних таблиць та рисунків за допомогою проектора.</p> <p>Література: основна - [1], с. 308-311, [2], с. 328-333, [4], с. 247-248.</p> <p style="padding-left: 40px;">додаткова - [5], с. 328-337.</p> <p>Завдання на самостійну роботу: Опрацювання матеріалу лекцій. Фізичний зміст безрозмірних комплексів, що входять до розрахункових формул з визначення інтенсивності теплообміну при кипінні.</p>

11.	<p>Лекція 11. Вплив незалежних параметрів на коефіцієнт тепловіддачі. Кризи кипіння</p> <p>Параметри, що впливають на процес кипіння та їх вплив на інтенсивність теплообміну. Гідродинамічна теорія кризи Кутателадзе. Механізм теплообміну при плівковому кипінні рідини. Вплив швидкості потоку рідини на коефіцієнт тепловіддачі при кипінні.</p> <p>Лекція супроводжується показом відповідних таблиць та рисунків за допомогою проектора.</p> <p>Література: основна – [2], с. 131-132, [3], с. 337-340, [4], с. 248-259. додаткова [5], с. 337-350.</p> <p>Завдання на самостійну роботу: Опрацювання матеріалу лекцій. Характер зміни співвідношення різних механізмів теплообміну при плівковому кипінні.</p>
12.	<p>Лекція 12. Двофазний потік</p> <p>Визначення та терміни. Істинні та витратні характеристики двофазного потоку. Режими течії, зміна параметрів двофазного потоку по довжині парогенеруючої труби.</p> <p>Лекція супроводжується показом відповідних таблиць та рисунків за допомогою проектора.</p> <p>Література: основна - [1], с. 311-316, [3], с. 354-361, [4], с. 259-271 додаткова – [5], с. 354-367.</p> <p>Завдання на самостійну роботу: Опрацювання матеріалу лекцій.</p>
13.	<p>Лекція 13. Двофазний потік</p> <p>Кризи тепловіддачі при протіканні двофазного потоку в трубі. Режим погіршеного теплообміну.</p> <p>Література: основна - [1], с. 311-316, [3], с. 354-361, [4], с. 259-271 додаткова – [5], с. 354-367.</p> <p>Завдання на самостійну роботу: Опрацювання матеріалу лекцій.</p>
14.	<p>Тема 2.2. Теплообмін при конденсації</p> <p>Лекція 14. Особливості течії та теплообміну при конденсації на поверхні</p> <p>Основні уявлення про процес конденсації. Термічний опір плівки та термічний опір фазового переходу. Режими течії плівок конденсату (ламінарний, хвильовий, турбулентний).</p> <p>Лекція супроводжується показом відповідних таблиць та рисунків за допомогою проектора.</p> <p>Література: основна - [1], с. 263-269, [2], с. 138-139, [4], с. 208-212.</p> <p>Завдання на самостійну роботу: Опрацювання матеріалу лекцій. Фізичний зміст термічного опору фазового переходу</p>
15.	<p>Лекція 15. Теплообмін при плівковій конденсації нерухомої пари</p> <p>Постанова задачі Нуссельтом, аналітичне визначення коефіцієнта тепловіддачі при ламінарній течії. Локальний та середній коефіцієнти тепловіддачі. Формула Нуссельта в безрозмірній формі. Конденсація на похилій поверхні та на горизонтальній трубі.</p> <p>Лекція супроводжується показом відповідних таблиць та рисунків за допомогою проектора.</p> <p>Література: основна - [1], с. 270-279, с. [2], с. 139-142, [4], с. 217-219. додаткова - [4] с. 43-46, 51-52, 60-61.</p> <p>Завдання на самостійну роботу: Опрацювання матеріалу лекцій. Рівняння руху рідини з урахуванням допущень, прийнятих Нуссельтом.</p>
16.	<p>Лекція 16. Вплив факторів, що не враховуються теорією Нуссельта.</p> <p>Вплив зміни теплофізичних властивостей речовин, перегріву та вологості пари, вплив стану поверхні. Вплив хвильового та турбулентного режиму течії плівки конденсату. Вплив швидкості пари. Вплив переохолодження, сил інерції та тертя.</p> <p>Лекція супроводжується показом відповідних таблиць та рисунків за допомогою проектора.</p> <p>Література: основна - [1], с. 279-285, [2], с. 143-158, [4], с. 219-227. додаткова - [4] с. 52-59, 63-66, 106-124.</p> <p>Завдання на самостійну роботу: Опрацювання матеріалу лекцій.</p>
17.	<p>Лекція 17. Конденсація на пучках труб та всередині труб.</p> <p>Теплообмін при конденсації на пучці горизонтальних труб. Теплообмін при конденсації всередині труб при низьких і високих швидкостях. Інтенсифікація теплообміну при конденсації.</p> <p>Література: основна - [1], с. 279-285, [2], с. 143-158, [4], с. 219-227. додаткова - [4] с. 52-59, 63-66, 106-124.</p> <p>Завдання на самостійну роботу: Опрацювання матеріалу лекцій. Методи осереднення коефіцієнта тепловіддачі при конденсації всередині труби при низьких швидкостях.</p>
Розділ 3 Теплообмін випромінюванням	
18.	<p><i>1-а частина модульної контрольної роботи</i></p> <p>Тема 3.1. Теплообмін випромінюванням</p> <p>Лекція 18. Основні поняття та визначення теплообміну випромінюванням.</p>

	<p>Природа теплового випромінювання, розподіл випромінювання по спектру. Визначення понять, результуюча густина потоку випромінювання.</p> <p>Література: основна - [1], с. 361-376, [2], с. 160-169, [4], 310-319.</p> <p>додаткова -</p> <p>Завдання на самостійну роботу: Опрацювання матеріалу лекцій.</p>
19.	<p>Лекція 19. Закони теплового випромінювання.</p> <p>Закон Планка, закон Стефана-Больцмана, Закон Віна, закон Кирхгофа, закон Ламберта.</p> <p>Лекція супроводжується показом відповідних таблиць та рисунків за допомогою проектора.</p> <p>Література: основна - [1], с. 361-376, [2], с. 160-169, [4], 310-319.</p> <p>додаткова -</p> <p>Завдання на самостійну роботу: Опрацювання матеріалу лекцій. Закон Віна, його практичний прояв.</p>
20.	<p>Лекція 20. Теплообмін випромінюванням між тілами.</p> <p>Теплообмін випромінюванням між двома тілами, розділеними прозорим середовищем. Променевий теплообмін між двома паралельними поверхнями. Теплообмін за наявності екранів. Теплообмін випромінюванням між тілом та його оболонкою.</p> <p>Лекція супроводжується показом відповідних таблиць та рисунків за допомогою проектора.</p> <p>Література: основна - [1], с. 378-395, [2], с. 173-192, [4], с. 327-332.</p> <p>додаткова -</p> <p>Завдання на самостійну роботу: Опрацювання матеріалу лекцій. Променевий теплообмін між двома паралельними поверхнями за наявності екранів з різною поглинаючою здатністю.</p>
21.	<p>Лекція 21 Теплообмін в поглинаючих і випромінюючих середовищах.</p> <p>Теплообмін в поглинаючих і випромінюючих середовищах. Перенос енергії випромінюванням в поглинаючому середовищі. Оптична товщина середовища. Особливості випромінювання газів та парів. Променевий теплообмін між газовим середовищем та оболонкою. Складний теплообмін.</p> <p>Лекція супроводжується показом відповідних таблиць та рисунків за допомогою проектора.</p> <p>Література: основна - [1] с. 420-440, [2], с. 185-196, [4], с. 324-327, 332-334.</p> <p>Завдання на самостійну роботу: Опрацювання матеріалу лекцій. Ступінь чорноти газових сумішей.</p>
22.	<p>Лекція 22 Теплообмін випромінюванням між тілами, довільно розташованими в просторі.</p> <p>Теплообмін випромінюванням між двома тілами, довільно розташованими в просторі. Елементарний, місцевий та середній кутові коефіцієнти випромінювання.</p> <p>Література: основна - [1], с. 378-395, [2], с. 173-192, [4], с. 327-332.</p> <p>Завдання на самостійну роботу: Опрацювання матеріалу лекцій. Тілесні кути.</p>
23.	<i>2-а частина модульної контрольної роботи</i>

Практичні заняття

Основні завдання циклу практичних занять - закріпити теоретичні положення навчальної дисципліни, набути уміння та досвід їх практичного застосування.

№ з/п	Назва теми заняття та перелік основних питань
Розділ 1 Конвективний теплообмін	
1.	Заняття 1. Визначення інтенсивності теплообміну при течії рідких металів. Література: [5], с. 92, 99-101, 151.
2.	Заняття 2. Визначення інтенсивності теплообміну при течії рідких металів. Література: [5], с. 92, 99-101, 151.
3.	Заняття 3. Розрахунок теплообміну при високих швидкостях газового потоку. Література: [5], с. 62-64.
4.	Заняття 4. Теплообмін в однофазному білякритичному середовищі. Література: [5], с. 104-114.
Розділ 2 Теплообмін при фазових перетвореннях	
5.	Заняття 5. Визначення мікрохарактеристик процесу кипіння. Література: [5], с. 170-180.
6.	Заняття 6. Визначення коефіцієнтів тепловіддачі при кипінні у великому об'ємі. Література: [5], с. 170-180.
7.	Заняття 7. Визначення коефіцієнтів тепловіддачі при кипінні у великому об'ємі. Література: [5], с. 170-180.

8.	Заняття 8. Теплообмін при кипінні з впливом вимушеної швидкості, Література: [5], с. 170-180.
9.	Заняття 9. Визначення критичної густини теплового потоку. Література: [5], с. 170-180.
10.	Заняття 10. Розрахунок коефіцієнтів тепловіддачі при ламінарній плівковій конденсації. Література: [5], с. 152-163
11.	Заняття 11. Розрахунок коефіцієнтів тепловіддачі при турбулентній течії конденсату. Література: [5], с. 163-164.
12.	Заняття 12. Визначення впливу різних факторів на коефіцієнти тепловіддачі при конденсації. Література: [5], с. 152-163.
13.	Заняття 13. Визначення впливу різних факторів на коефіцієнти тепловіддачі при конденсації. Література: [5], с. 152-163.
Розділ 3 Теплообмін випромінюванням	
14.	Заняття 14. Визначення характеристик випромінювання. Література: [5], с. 180-185.
15.	Заняття 15. Розрахунок теплообміну випромінюванням між тілами. Література: [5], с. 186-205.
16.	Заняття 16. Розрахунок теплообміну випромінюванням між тілами. Література: [5], с. 186-205.
17.	Заняття 17. Розрахунок теплообміну випромінюванням між газом та твердими тілами. Література: [5], с. 205-212.
18.	Заняття 18. Розрахунок складного теплообміну. Література: [5], с. 205-212.

Лабораторні заняття

Лабораторні роботи призначені для набуття студентами досвіду в постановці та проведенні експериментів з дослідження теплофізичних явищ, обробці та аналізі експериментальних даних.

№ з/п	Назва лабораторної роботи
1.	Заняття 1 Дослідження режимів течії двофазного потоку.
2.	Заняття 2. Визначення коефіцієнта тепловіддачі при кипінні на циліндричній горизонтальній поверхні
3.	Заняття 3. Визначення критичного значення теплового потоку.
4.	Заняття 4. Визначення кутового коефіцієнту випромінювання.
5.	Заняття 5. Захист звіту з виконання лабораторних робіт

6. Самостійна робота студента

Самостійна робота студентів полягає в засвоєнні лекційного матеріалу, закріпленні його шляхом вирішення задач, обробці матеріалів лабораторних робіт, підготовці до модульної контрольної роботи та екзамену, виконанні розрахункової роботи. Розподіл годин самостійної роботи за темами наведено в таблиці.

Тема 1.1. Окремі види конвективного теплообміну	8
Тема 2.1. Теплообмін при кипінні	15
Тема 2.2 Теплообмін при конденсації	11
1-а частина модульної контрольної роботи	2
Тема 3.1. Теплообмін випромінюванням	12
2-а частина модульної контрольної роботи	2
Розрахункова робота	10
Екзамен	30
Всього годин	90

Політика та контроль

7. Політика навчальної дисципліни (освітнього компонента)

Навчання проводиться у вигляді потокових лекцій з використанням діапроектора, практичних занять з експрес-опитуванням, лабораторних робіт в лабораторії.

- Заняття проводяться відповідно до розкладу, запізнення не допускаються. Відвідування занять є обов'язковим.
- На практичних заняттях студенти працюють самостійно, використовуючи довідкову літературу.
- Перед виконанням лабораторних робіт з'ясовується ступінь готовності студентів до роботи з лабораторним обладнанням. Після проведення роботи та обробки результатів лабораторні роботи приймаються викладачем.
- Модульна контрольна робота розділена на дві частини, пишеться самостійно, користування додатковими матеріалами виключено.
- Під час навчання, а особливо при проведенні контрольних заходів студенти повинні строго дотримуватись Кодексу честі, який доступний за посиланням : <https://kpi.ua/code>

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

1. Рейтинг студента з кредитного модуля розраховується зі 100 балів, з них 50 балів складає стартова шкала. Стартовий рейтинг (протягом семестру) складається з балів, що студент отримує за види робіт, надані в таблиці

Вид занять	кількість	бали		сума балів
Практичні заняття	13	відповіді на занятті	3x4=12	12
МКР	2x0,5=1		2x7(теор.)+ +2x6(прак.)=26	26
Лабораторні роботи	4	робота на занятті	4x0,5=2	12
		здача л.р.	5x2=10	
Сума вагових балів контрольних заходів				50
Екзамен			50	100

Заохочувальні і штрафні бали:

	Бали
1. Несвоєчасне виконання лабораторної роботи	-1

2. Критерії оцінювання.

Практичні заняття - відповіді на заняттях:

- а) повністю правильно надана відповідь оцінюється в 4 бали;
- б) частково надана відповідь оцінюється в 3 бали;
- в) відповідь із суттєвими помилками оцінюється в 2 бали;
- г) неправильно надана відповідь оцінюється в 1-0 балів.

За семестр кожен студент 3 рази проходить експрес-опитування.

Модульна контрольна робота.

Кожна МКР складається з контрольних завдань з теорії та контрольних завдань з практики.

Теоретична частина МКР оцінюється таким чином:

- повна відповідь (не менше 90% потрібної інформації) – 7 балів;
- достатньо повна відповідь (не менше 75% потрібної інформації), або повна відповідь з незначними неточностями – 6-5 бали;
- неповна відповідь (не менше 60% потрібної інформації) та незначні помилки – 4-3 бали;
- відповідь містить суттєві помилки - 2-1 бал;
- незадовільна відповідь, або її відсутність - 0 балів.

Оцінка практичного завдання МКР:

- правильна відповідь – 6 балів;
- є несуттєві помилки, але хід розв'язку вірний – 5-4 бали;
- є суттєві помилки в методиці та підрахунках -3-1 бал;

- відсутній розв'язок - 0 балів.

Лабораторні роботи

- а) правильно оформлена робота з правильними результатами обробки – 2 бали;
- б) робота з незначними помилками у обробці -1 бал
- в) неправильно оформлена робота зі значними помилками -0 балів.

Сума вагових балів контрольних заходів протягом семестру складає: $R_c = 50$ балів.

3. Екзамен

Екзаменаційна складова шкали: $R_E = 50$ балів.

Екзамен складається в письмовій формі. Кожне завдання містить два теоретичних питання і одне практичне, перелік питань наведений у додатку. Теоретичні питання оцінюються в 17 балів, а практичне в 16 балів.

Система оцінювання теоретичного питання:–

- повна відповідь (не менше 90% потрібної інформації) – 15 – 17 балів;
- достатньо повна відповідь (не менше 75% потрібної інформації, або незначні неточності) – 13 - 14 балів;
- неповна відповідь (не менше 60% потрібної інформації та деякі помилки) – 10-12 балів;
- відповідь містить суттєві помилки 6-9 балів;
- незадовільна відповідь 1-5 балів;
- відсутня відповідь 0 балів.

Система оцінювання практичного питання:

- повне, безпомилкове розв'язання завдання – 11-16 балів;
- повне розв'язання завдання із несуттєвими неточностями –7 - 10 балів;
- завдання виконане з певними недоліками – 1 - 6 балів;
- завдання не виконано – 0 балів.

4. На першій (8-й тиждень) та другій (14-й тиждень) атестації студент отримує «зараховано», якщо він набирає не менше половини максимально можливої кількості балів за відповідний період.

Умовою допуску до екзамену є здача всіх лабораторних робіт та захист курсової роботи.

Рейтинг R_D студента складається з рейтингу, одержаного протягом семестру з урахуванням заохочувальних і штрафних балів R_c , і рейтингу його екзаменаційної оцінки

$$R_D = R_c + R_E$$

$$R_D = 100 \text{ балів}$$

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

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 аспірантом умов допуску до екзамену. Студентам, 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 аспірантом 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

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.

Додаток 1

Перелік питань, які виносяться на екзамен з кредитного модуля

1. Особливості тепловіддачі від стінки, що омивається високошвидкісним потоком газу.
2. Механізм течії плівки конденсату й інтенсивність теплообміну при конденсації пари усередині горизонтальної труби.
3. Аналіз процесу теплообміну випромінюванням між опуклим тілом і його оболонкою.
4. Зміна по довжині пароперегрівальної труби, що обігривається, при подачі в неї рідкого теплоносія таких величин: коефіцієнта тепловіддачі, середньої $t_{p,}$ $t_{ст.}$ Труби, істинного й балансового паровмісту.
5. Причини, що спричиняються високу інтенсивність теплообміну при кипінні у великому об'ємі в порівнянні з тепловіддачею при вільній конвекції однофазної рідини.
6. Вплив на теплообмін при конденсації пари факторів, що не враховуються теорією Нусельта.
7. Особливості випромінювання газів, парів і перенесення енергії в поглинаючому середовищі.
8. Умови виникнення парової бульбашки на стінці при нагріві рідини у великому об'ємі.
9. Процеси течії плівки конденсату і процеси теплообміну при конденсації насиченої нерухливої пари на одиночній горизонтальній трубі й на вертикальному пучку горизонтальних труб.
10. Основні поняття й визначення теплообміну випромінюванням.
11. Переваги та недоліки рідких металів, як теплоносіїв.

12. Характеристика параметрів процесу кипіння: відривний діаметр парової бульбашки, частота відриву одиночної парової бульбашки, зміна температури стінки під паровою бульбашкою.
13. Інтенсифікація теплообміну при конденсації.
14. Зв'язок режимів течії теплоносія й режимів теплообміну в каналі, що обігрівається, при надкритичному тиску.
15. Особливості теплообміну між розрідженим потоком газу і стінкою.
16. Особливості теплообміну при течії рідкого металу.
17. Вплив режиму течії плівки конденсату на інтенсивність теплообміну при конденсації на вертикальній поверхні сухої насиченої пари.
18. Основні закони випромінювання.
19. Основні поняття й визначення теплообміну до розріджених газів.
20. Криза тепловіддачі при кипінні в умовах вільного руху.
21. Теплообмін випромінюванням між опуклим тілом і його оболонкою.
22. Зміна режимів тепловіддачі на кривій кипіння.
23. Основні поняття про процес конденсації. Постановка задачі для аналітичного рішення теплообміну при ламінарному режимі течії конденсату.
24. Теплові і гідродинамічні процеси при кризі тепловіддачі в умовах кипіння при вільному русі рідини.
25. Теплообмін випромінюванням у системі тіл із плоскопаралельними поверхнями. Вплив наявності екранів.
26. Вплив швидкості вимушеного руху рідини на інтенсивність теплообміну при кипінні.
27. Особливості теплообміну при течії теплоносія в області білякритичних тисків.
28. Кризи тепловіддачі при вимушеному русі теплоносія, що в обігрівається трубі.
29. Умови виникнення парової бульбашки на стінці при нагріві рідини у великому об'ємі.
30. Механізм відводу теплоти від тепловиділяючої поверхні одиночною паровою бульбашкою при кипінні в умовах вільного руху.

Робочу програму навчальної дисципліни (силабус):

Складено доцентом кафедри АЕ *Шевелем Євгеном Вікторовичем*

Ухвалено: кафедрою АЕС і ІТФ (протокол № 15/а від 30.06. 2022 р.)

Погоджено: Методичною комісією ТЕФ (протокол № 9 від 30. 06. 2022 р.)