

**МІНІСТЕРСТВО ВНУТРІШНІХ СПРАВ УКРАЇНИ  
ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ВНУТРІШНІХ  
СПРАВ  
КРЕМЕНЧУЦЬКИЙ ЛЬОТНИЙ КОЛЕДЖ**

**Циклова комісія технічного обслуговування авіаційної техніки**

**МЕТОДИЧНІ МАТЕРІАЛИ  
до лабораторних робіт**

навчальної дисципліни  
«Термодинаміка та теплопередача»  
обов'язкових компонент  
освітньо-професійної програми першого (бакалаврського) рівня вищої  
освіти

**272 Авіаційний транспорт**  
**(Технології робіт та технологічне обладнання аеропортів)**

**Кременчук 2023**

**ЗАТВЕРДЖЕНО**

Науково-методичною радою  
Харківського національного  
університету внутрішніх справ  
Протокол від 22.02.2024 р. № 2

**СХВАЛЕНО**

Методичною радою  
Кременчуцького льотного коледжу  
ХНУВС  
Протокол від 17.01.2024 р. № 6

**ПОГОДЖЕНО**

Секцією науково-методичної ради  
ХНУВС з технічних дисциплін  
Протокол від 22.02.2024 р. № 2

Розглянуто на засіданні циклової комісії технічного обслуговування авіаційної техніки, протокол від 12.12.2023 р. № 8

**Розробники:**

1. Викладач циклової комісії технічного обслуговування авіаційної техніки , спеціаліст вищої категорії Яніцький А.А.

**Рецензенти:**

1. Завідувач кафедри технологій аеропортів Національного авіаційного університету, д.т.н., професор Тамаргазін О.А.
2. Викладач циклової комісії технічного обслуговування авіаційної техніки Кременчуцького льотного коледжу Харківського національного університету внутрішніх справ, к.т.н., с.н.с. Тягній В.Г.

**1. Розподіл часу навчальної дисципліни за темами  
(денна форма навчання)  
Не передбачено**

**2. Розподіл часу навчальної дисципліни за темами  
(заочна форма навчання)**

Номер та назва навчальної теми	Кількість годин відведених на вивчення навчальної дисципліни						Вид контролю
	Всього	з них:					
		Лекції	Семінарі	Практичні заняття	Лабораторні	Самостійна	
Тема 1. Термодинамічна система і її стан.	10	0	0	0	0	10	Усне опитування
Тема 2. Перший закон термодинаміки. Термодинамічні процеси в газах.	10	0	0	0	0	10	Усне опитування
Тема 3. Другий закон термодинаміки.	10	0	0	0	0	10	Усне опитування
Тема 4. Ідеальні цикли теплових двигунів.	10	0	0	0	0	10	Усне опитування
Тема 5. Основні рівняння термодинаміки газового потоку.	12	2	0	0	0	10	Усне опитування
Тема 6. Розгін і гальмування газового потоку.	10	0	0	0	0	10	Усне опитування
Тема 7. Види теплообміну. Теплопровідність.	12	0	0	0	2	10	Усне опитування
Тема 8. Конвективний теплообмін.	12	2	0	0	0	10	Усне опитування
Тема 9. Теплообмін випромінюванням.	10	0	0	0	0	10	Усне опитування
Тема 10. Передача теплоти через стінки. Методи теплового захисту.	10	0	0	2	2	6	Усне опитування
Тема 11. Теплообмінні апарати.	14	2	0	2	2	8	Усне опитування
Всього за семестр:	120	6	0	4	6	104	залік

**3. Методичні вказівки до лабораторних занять**

**Тема № 7. Види теплообміну. Теплопровідність**

## **Лабораторне заняття № 1 Визначення відношення теплоємності при постійному тиску до теплоємності при постійному об'ємі.**

Навчальна мета заняття: ознайомлення з існуючими методами визначення відношення теплоємності при постійному тиску до теплоємності при постійному об'ємі.

Кількість годин – 4 (денна), 2 (заочна форма). Місце проведення - навчальна аудиторія.

### **Навчальні питання:**

1. Вивчити види переносу теплоти.
2. Температурне поле. Тепловий потік.
3. Закон Фур'є.
4. Діференціальне Рівняння теплопровідності

**Матеріально-технічне забезпечення заняття:** Спеціалізовані стенди, плакати.

### **План проведення заняття:**

I. Порядок проведення вступу до заняття.

Вітання з особовим складом групи; перевірка особового складу та готовність його до навчального заняття; доведення мети заняття та навчальних питань.

II. Проведення основної частини заняття.

1. Дослідити процеси теплообміну.
2. Провести аналіз процесів теплообміну.
3. Визначити відношення теплоємності при постійному тиску до теплоємності при постійному об'ємі.
4. Оформити звіт.

III. Порядок проведення заключної частини заняття.

Підведення підсумків заняття, перевірка, захист звітів та оголошення оцінок здобувачів.

### **Короткі теоретичні відомості**

**Теплообміном** називається процес перенесення теплоти в просторі.

Теплообмін являє собою складне явище, яке можна умовно розділити на ряд більш простих, видів перенесення теплоти, які принципово відрізняються один від одного,:

- теплопровідність;
- конвекцію;
- теплообмін випромінюванням.

**Теплопровідність** складається з перенесення теплоти мікрочастинками речовини (молекулами, атомами, іонами, електронами). Такий теплообмін відбувається в тілах при наявності перепаду температури, але механізм перенесення теплоти залежить від агрегатного стану тіла.

**У газах** поширення теплоти відбувається внаслідок обміну енергією при зіткненнях молекул. Молекули газу в тій його частині, яка має більш високу температуру, мають більшу кінетичну енергію хаотичного руху, ніж молекули газу в області з низькою температурою. Зазначений обмін енергією призводить до переносу теплоти від нагрітих об'ємів газу до холодних.

**У твердих тілах** (діелектриках) перенесення теплоти відбувається внаслідок силового взаємодії між молекулами, тобто в процесі зіткнень тих, хто вагається частинок. Ця взаємодія істотно сильніше, ніж в газах, внаслідок чого теплопровідність твердих тіл на 5 ... 6 порядків вище, ніж газів.

**В металах** додатковий перенос теплоти відбувається внаслідок руху і зіткнень вільних електронів. Тому метали мають кращу теплопровідність, ніж діелектрики.

**У рідких середовищах**, Так само як і в діелектриках, теплопровідність визначається силовим взаємодією молекул при зіткненні тих, хто вагається частинок. Цей процес доповнюється взаємної дифузії нагрітих і холодних макрооб'ємів рідини. Зазвичай теплопровідність рідин перевершує теплопровідність газів в нормальних умовах, але вона в кілька десятків і сотень разів менше, ніж у твердих тіл. Виняток становлять рідкі метали, у яких теплопровідність близька до теплопровідності твердих металів.

**Конвекція** спостерігається лише в рідинах і газах. Конвективний перенесення теплоти обумовлений переміщенням макрочасток (макрооб'ємів) речовини в просторі з області з однією температурою в область з іншою температурою, тобто перенос теплоти пов'язаний з переносом самого речовини. Конвекція завжди супроводжується теплопровідністю.

**Конвективним теплообміном** називається процес спільного перенесення теплоти конвекцією і теплопровідністю.

**Теплове випромінювання.** При теплообміні випромінюванням перенесення теплоти здійснюється за допомогою електромагнітних хвиль. При цьому відбувається подвійне перетворення енергії. Внутрішня енергія речовини перетворюється в енергію випромінювання (енергію електромагнітних хвиль), яка поширюється в просторі і, потрапляючи на тіла, здатні її поглинати, знову перетворюється у внутрішню енергію цих тіл. Перенесення теплоти тепловим випромінюванням нерідко відбувається спільно з конвективним теплообміном, наприклад, в камерах згоряння двигунів.

Спостережувані в природі і техніці явища теплообміну зазвичай включають в себе всі розглянуті вище види перенесення теплоти.

Для зручності технічних розрахунків вводиться поняття про два види теплообміну, які називають тепловіддачею і теплопередачею.

**Тепловіддачею** називається процес теплообміну, що виникає між твердим тілом і омиває його рідкої або газоподібної середовищем. У загальному випадку тепловіддача включає в себе конвекцію, теплопровідність і випромінювання.

**Теплопередачею** називається процес теплообміну, що виникає між рідкими або газоподібними середовищами, розділеними твердою стінкою. Одним з основних параметрів, що визначають характер теплообміну, є температура.

**Перелік питань для поточного контролю знань здобувачів:**

1. Назвати види теплоємності.
2. Пояснити поняття теплоємності газів.
3. Пояснити особливості процесі передачі тепла у газових сумішах.
4. Пояснити поняття теплоємності суміші газів.

## **Тема № 10. Передача теплоти через стінки. Методи теплового захисту.**

### **Лабораторне заняття № 2**

**Тема роботи:** Дослідження тепловіддачі горизонтальної труби при вільному русі повітря.

**Навчальна мета заняття:** Вивчити процеси тепловіддачі горизонтальної труби при вільному русі повітря.

Кількість годин – 2 (заочна форма). Місце проведення - навчальна аудиторія.

**Навчальні питання:**

1. Дослідження тепловіддачі горизонтальної труби при вільному русі повітря.

**Матеріально-технічне забезпечення занять:** Спеціалізовані стенди, плакати.

**План проведення заняття:**

I. Порядок проведення вступу до заняття.

Вітання з особовим складом групи; перевірка особового складу та готовність його до навчального заняття; доведення мети заняття та навчальних питань.

II. Порядок проведення основної частини заняття.

1. Дослідити процеси теплообміну.
2. Провести аналіз ефективності теплообмінних апаратів.
3. Дослідити ефективність способів охолодження двигуна внутрішнього згорання.

4. Оформити звіт.

III. Порядок проведення заключної частини заняття.

Підведення підсумків заняття, перевірка, захист звітів та оголошення оцінок здобувачів.

### **Перелік питань для поточного контролю знань здобувачів:**

1. Назвати види теплообмінних апаратів.
2. Пояснити основні способи підвищення ефективності теплообмінних апаратів.
3. Пояснити методи способів охолодження двигуна внутрішнього згорання.
4. Пояснити зміну температури теплоносіїв теплообмінних апаратів.

### **Короткі теоретичні відомості**

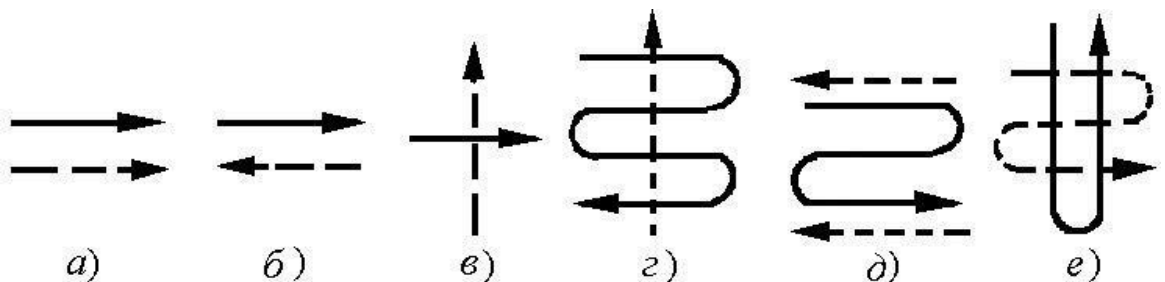
За принципом дії теплообмінні апарати поділяють на три основних типи: рекуперативні, регенеративні і змішувальні.

У рекуперативних теплообмінниках передача теплоти від одного теплоносія до іншого здійснюється через поверхню розділяє їх теплопровідної стінки, званої робочою поверхнею теплообмінника. При роботі цих теплообмінників напрямок теплового потоку через стінку не змінюється, і процес теплопередачі є найчастіше стаціонарним.

Рекуперативні теплообмінники класифікують за рядом ознак.

1. **У напрямку руху теплоносіїв.** Теплообмінники поділяють на такі типи:

а) прямоточні (а), коли обидва теплоносія рухаються паралельно в одному напрямку;

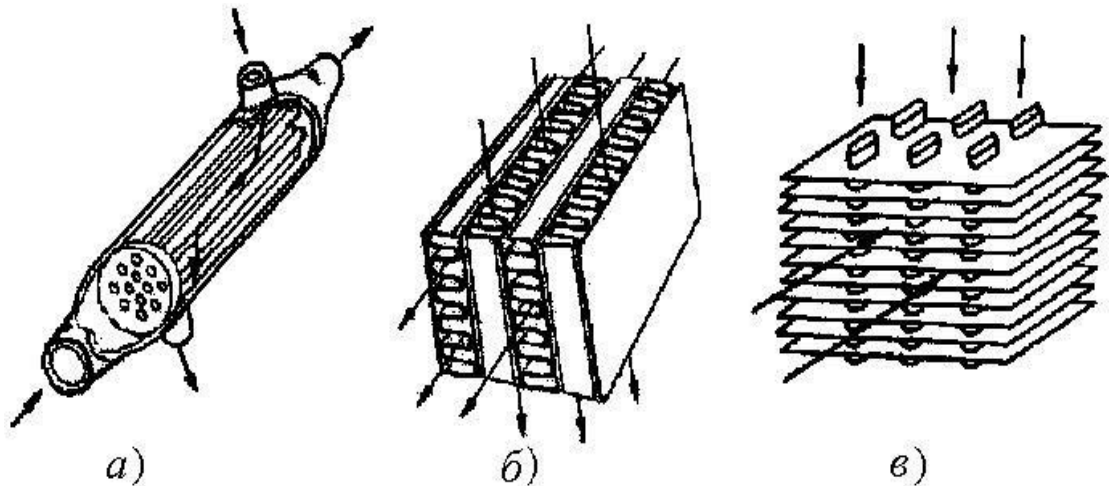


б) протиточні (б), коли теплоносії рухаються в протилежних напрямках;

в) теплообмінники з перехресним струмом (в і г), коли теплоносії рухаються у взаємно перпендикулярних напрямках; при цьому перехресний струм може бути одноразовим і багаторазовим;

г) комбіновані (д і е), в яких поєднуються елементи прямотока, протитока і перехресного струму.

**2. По конфігурації робочої поверхні.** Робоча поверхня теплообмінників може виконуватися у вигляді трубок або пластин (гладких або оребрених). Відповідно до цього розрізняють трубчасті (а), пластинчасті (б) і ребристі (в) теплообмінники.



**3. За агрегатним станом і роду теплоносіїв.** Гарячими і холодними теплоносіями можуть бути самі різні речовини, що знаходяться або в рідкому, або в газоподібному станах. Відповідно до стану теплоносіїв теплообмінники можуть бути: рідинно-рідинними (наприклад, паливо-олійними), рідинно-газовими (наприклад, паливо-повітряними) або газогазовими (наприклад, повітря-повітряними). Агрегатний стан теплоносіїв може змінюватися при їхньому проходженні через теплообмінний апарат. До таких теплообмінників відносяться: теплообмінник - конденсатор, в якому в результаті охолодження відбувається перехід газоподібного (пароподібного) теплоносія частково або повністю в рідку фазу; випарний теплообмінник, де рідкий теплоносій, сприймаючи теплоту, випаровується, тобто переходить в газову фазу.

В регенеративних теплообмінниках одна і та ж робоча поверхня, так звана насадка, по черзі омивається то гарячим, то холодним теплоносієм. При зіткненні з гарячим теплоносієм насадка акумулює одержувану теплоту, а потім при обтіканні холодним теплоносієм віддає йому цю теплоту. Насадка повинна мати значну теплоємність і розвиненою робочою поверхнею контактує з теплоносієм.

Щоб процес теплообміну протікав безперервно, теплообмінник має зазвичай дві паралельно працюють секції. Конструктивно ці секції можуть бути виконані або у вигляді двох камер, які по черзі підключаються то до холодного, то до гарячого теплоносія, або в них розміщується обертається теплообмінник, елементи якого також по черзі взаємодіють з гарячим і холодним теплоносіями.



У змішувальних теплообмінниках процес теплообміну відбувається при безпосередньому контакті (перемішуванні) теплоносіїв один з одним. Тому змішувальні теплообмінники називаються також контактними.

## **Тема № 11. Теплообмінні апарати**

### **Лабораторне заняття № 3**

**Тема роботи:** Дослідження ефективності способів регулювання охолодження двигуна внутрішнього згорання.

Навчальна мета заняття: Вивчити методи регулювання охолодження двигуна внутрішнього згорання.

Кількість годин – 2 (заочна форма). Місце проведення - навчальна аудиторія.

#### **Навчальні питання:**

1. Вивчити методи регулювання охолодження двигуна внутрішнього згорання.

**Матеріально-технічне забезпечення занять:** Спеціалізовані стенди, плакати.

#### **План проведення заняття:**

I. Порядок проведення вступу до заняття.

Вітання з особовим складом групи; перевірка особового складу та готовність його до навчального заняття; доведення мети заняття та навчальних питань.

II. Проведення основної частини заняття.

1. Дослідити процеси теплообміну.
2. Провести аналіз законів теплообміну для розуміння роботи теплових машин і апаратів, правил їх експлуатації.
3. Дослідити ефективність способів регулювання охолодження двигуна внутрішнього згорання.
4. Оформити звіт.

III. Порядок проведення заключної частини заняття.

Підведення підсумків заняття, перевірка, захист звітів та оголошення оцінок здобувачів.

#### **Перелік питань для поточного контролю знань здобувачів:**

1. Назвати види переносу теплоти. Пояснити поняття температурного поля, теплового потоку.
2. Пояснити основні поняття теплового випромінювання.
3. Пояснити методи теплового захисту.
4. Пояснити зміну температури теплоносіїв по тракту аівадвигуна.

### **Короткі теоретичні відомості**

Конвективне охолодження використовують для охолодження:

- камер згорання;
- дисків турбін;

- лопаток турбін;
- вихідних пристроїв;
- блоків електро - і радіоапаратури і т.п .

Загороджувальне охолодження

Сутність такого охолодження полягає в тому, що на деякій ділянці охолоджувальної стінки організовується протягом загороджувального захисного шару охолоджувача (холодного газу) між гарячим газом і стінкою. Цей захисний шар називають завісою.

Проникаюче охолодження

При проникаючому охолодженні стінка виготовляється з пористого матеріала або має велике число дрібних отворів, рівномірно розташованих на її поверхні. Ці отвори створюються або шляхом перфорації стінки, або за рахунок її виготовлення з пористого матеріалу.

Через отвори охолоджувач подається в прикордонний шар гарячого газу. Що впливає з отворів охолоджувач зменшує швидкість і температуру гарячого газового потоку поблизу стінки і збільшує товщину прикордонного шару. Це зменшує коефіцієнт тепловіддачі від гарячого газу в стінку.

Проникаюче (пористе) охолодження по суті є комбінованим, так як в ньому присутні елементи конвективного і загороджувального охолодження. Крім того, при русі через стінку по малорозмірних каналах (порах або спеціально створеним отворів) охолоджувач (газ або рідина) сприймає теплоту від стінки і тим самим значно зменшує її температуру.

Тугоплавкі теплозахисні покриття. До тугоплавким відносяться покриття з малими значеннями коефіцієнта теплопровідності, які не руйнуються високотемпературним газовим потоком. Тому їх розмір (товщина) не змінюється в процесі роботи. Покриття, що наноситься на поверхню, що захищається стінки з боку гарячого теплоносія, являє собою додаткове теплове опір між стінкою і теплоносієм. Теплозащитное покриття дозволяє зменшити температуру захищається стінки лише при наявності теплового потоку через стінку, тобто при наявності відведення теплоти від неї, наприклад, за рахунок конвективного охолодження.

#### **4. Рекомендована література (основна, допоміжна), інформаційні ресурси в Інтернеті**

##### **Основна:**

1. Котовський В. Н. Технічна термодинаміка : тексти лекцій, 2015. 88 с.
2. Котовський В. Н. Теплопередача : тексти лекцій, 2015. 76 с.

##### **Допоміжна:**

3. Базаров І. П. Термодинаміка : підручник. 2010. 384 с.
4. Баранов В. М., Коньков А. Ю. Термодинаміка і теплопередача: навчальний посібник; 2-е видання, перероблене. 2004. 91 с.

**Інформаційні ресурси в інтернеті:**

5. URL : <http://klk.univd.edu.ua/uk/dir/177/biblioteka>
6. URL : <http://www.dstu.dp.ua/Portal/Data/6/29/6-29-kl76.pdf>
7. URL : <https://www.youtube.com/watch?v=rfOI3PwO194>