

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

**Циклова комісія технічного обслуговування авіаційної техніки**

**ТЕКСТ ЛЕКЦІЇ**

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

**272 Авіаційний транспорт**  
**(Аеронавігація)**

**Тема 7. Види теплообміну. Теплопровідність**

.

### **ЗАТВЕРДЖЕНО**

Науково-методичною радою  
Харківського національного  
університету внутрішніх справ  
Протокол від 30.08.2023 р. № 7

### **СХВАЛЕНО**

Методично радою Кременчуцького  
льотного коледжу  
Протокол від 28.08.2023 р. № 1

### **ПОГОДЖЕНО**

Секцією науково-методичної ради  
ХНУВС з технічних дисциплін  
Протокол від 29.08.2023 р. № 7

Розглянуто на засіданні циклової комісії технічного обслуговування авіаційної техніки, протокол від 28.08.2023 р. № 1

**Розробники:** викладач циклової комісії технічного обслуговування авіаційної техніки *Яніцький А.А.*

### **Рецензенти:**

1. Завідувач кафедри технологій аеропортів Національного авіаційного університету, д.т.н., професор *Тамаргазін О.А.*

Викладач циклової комісії технічного обслуговування авіаційної техніки Кременчуцького льотного коледжу Харківського національного університету внутрішніх справ, к.т.н., с.н.с. *Тягній В.Г.*

## **План лекції**

1. Види переносу теплоти;
2. Температурне поле. Тепловий потік;
3. Закон Фур'є. Диференціальне рівняння теплопровідності;
4. Теплопровідність плоскої стінки;
5. Теплопровідність циліндричної стінки;
6. Контактний тепловий опір.

## **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.
5. Технічна термодинаміка і теплопередача : підручник для академічного бакалаврату В. А. Кудінов, Е. М. Карташов, Є. В. Стефанюк , 2016. 442 с.

### **Інформаційні ресурси в інтернеті:**

6. URL : <http://klk.univd.edu.ua/uk/dir/177/biblioteka>
7. URL : <http://www.dstu.dp.ua/Portal/Data/6/29/6-29-kl76.pdf>

## 7.1 Види переносу теплоти

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

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

- теплопровідність;
- конвекцію;
- теплообмін випромінюванням.

**Теплопровідність** складається в перенесенні 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 самої 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.

## 7.2 температурного поле. Тепловий потік.

**температурним полем** називається сукупність значень температури в кожен момент часу в усіх точках розглянутого простору.

Температура може змінюватися в напрямку однієї, двох або всіх трьох осей координат. Відповідно до цього розрізняють одномірні, двомірні і тривимірні поля температур. Одномірне стаціонарне температурне поле описується формулою виду:  $T = \phi(\xi)$ .

**ізотермічними поверхнями** називаються поверхні, що представляють собою геометричне місце точок з однаковою температурою. Такі поверхні не можуть перетинатися один з одним. Вони можуть бути замкнутими або обмежуються зовнішніми кордонами тіла.

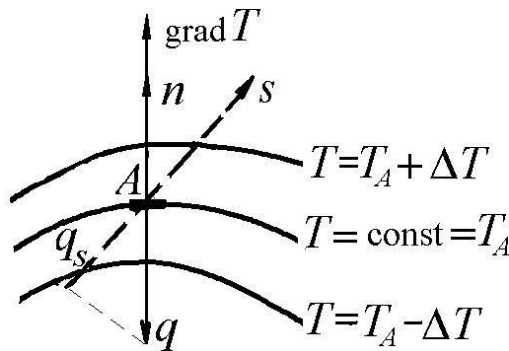
**ізотермами** називаються лінії перетину ізотермічних поверхонь з будь-якої площиною (малюнок).

За допомогою ізотермічних поверхонь або ізотерм можна графічно зобразити вид температурного поля в даний момент часу.

Як видно на малюнку, в найближчій околиці точки А температура змінюється в усіх напрямках, що не збігаються з площиною, дотичною до ізотермічної поверхності  $T = \text{const}$ .

**градієнтом температури** називається похідна температури по нормалі до ізотермічної поверхні:

$$\text{grad}T = n \frac{\partial T}{\partial n}$$



Гradient температури є вектором, спрямованим по нормалі до ізотермічної поверхні в бік збільшення температури.

**тепловим потоком** називається кількість теплоти, що проходить через дану поверхню з площею  $F$  в одиницю часу.

Він позначається символом  $Q$ . Одиницею вимірювання  $Q$  є Дж / с, тобто ват (Вт).

**Щільністю теплового потоку** називається кількість теплоти, що проходить через одиницю поверхні в одиницю часу. Вона позначається символом  $q$  і вимірюється в Вт / м<sup>2</sup>.

Щільність теплового потоку - векторна величина, спрямована в бік, протилежний градієнту температури, тобто в сторону зменшення температури. Тепловий потік  $Q$  і його щільність  $q$  пов'язані очевидним співвідношенням

$$Q = \int_F q dF,$$

де  $F$  - площа даної ізотермічної поверхні.

Якщо щільність теплового потоку постійна на розглянутій поверхні, то

$$Q = q F.$$

### 7.3 Закон Фур'є. Диференціальне Рівняння теплопровідності

Відповідно до закону Фур'є, вектор щільності теплового потоку через ізотермічну поверхню пропорційний градієнту температури:

$$\vec{g} = -\lambda \text{grad}T.$$

Знак мінус у правій частині цього рівності означає, що теплота поширюється в напрямку зменшення температури.

Коефіцієнт пропорційності  $\lambda$  в формулах називається коефіцієнтом теплопровідності і має одиницю вимірювання Вт / (м · К).

**Коефіцієнт теплопровідності є фізичним параметром речовини і характеризує його здатність передавати теплоту. Він залежить від природи**

речовини, його агрегатного стану, температури і т.д.

Найбільші значення лімеют метали і їх сплави. У твердих матеріалів (діелектриків), рідин і газів значення  $\lambda$  суццественно менше.

$$\partial T / \partial \tau = \alpha (\partial^2 T / \partial x^2 + \partial^2 T / \partial y^2 + \partial^2 T / \partial z^2)$$

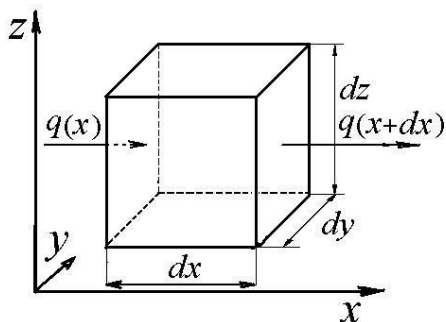
де величина  $a = \frac{\lambda}{c\rho}$

(З одиницею виміру  $\text{м}^2 / \text{с}$ ) називається коефіцієнтом температуропровідності.

З цих рівнянь видно, що скорості зменення температури  $\partial T / \partial \tau$  в будь-якій точці тіла тим вище, чим більше значення  $a$ . Тому можна вважати, що коефіцієнт температуропровідності є мірою теплоінерційної властивості матеріалу тіла. Коефіцієнт температуропровідності залежить тільки від фізичних властивостей речовини ( $c, \rho, \lambda$ ) і тому сам є фізичним параметром даної речовини.

Щоб отримати рішення отриманих рівнянь, відповідне конкретному завданні, треба до цього рівняння додати математичний опис приватних особливостей даного завдання. Ці приватні особливості називаються крайовими умовами. До них відносяться: тепловий стан тіла в початковий момент часу (початкові умови), форма, розміри тіла і особливості процесу теплообміну на його кордонах (граничні умови).

Нижче будуть розглянуті процеси стаціонарної теплопровідності в твердих тілах простих форм.



#### 7.4 Теплопровідність плоскої стінки

**одношарова стіна.** Розглянемо плоску стінку (рис. 1.3) товщиною  $\delta$ , з коефіцієнтом теплопровідності  $\lambda$ , у якій температура змінюється лише вздовж осі  $x$ , нормальної до її поверхні.

Згідно із законом Фур'є в даному випадку  $q = -\lambda \frac{dT}{dx}$

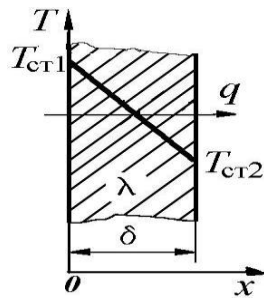
тоді  $\Delta T_{\text{ст}} = T_{\text{ст}1} - T_{\text{ст}2}$  – температурний напір

$R = \delta / \lambda$  - тепловий опір стінки

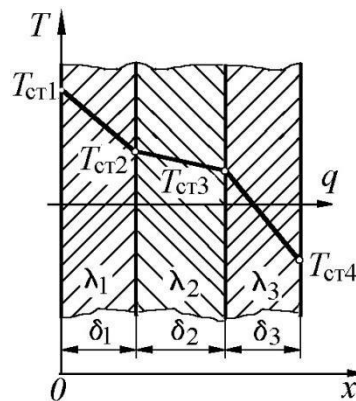
$$q = \Delta \frac{T_{\text{ст}}}{R}$$

Отже, щільність теплового потоку через плоску стінку при теплопровідності пропорційна температурному напору на стінці і обернено пропорційна її

тепловому опору.



А щільність теплового потоку через плоску многослойную стінку пропорційна сумарному температурному напору (різниці температур на зовнішніх поверхнях стінки) і обернено пропорційна повного тепловому опору стінки, рівному сумі теплових опорів її окремих шарів.



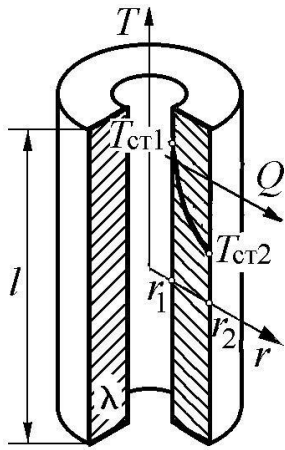
### 7.5 Теплопровідність циліндричної стінки

Лінійна щільність теплового потоку  $Q$  через циліндричну стінку пропорційна температурному напору на стінці  $\Delta T_{ст}$  і обернено пропорційна її лінійному тепловому опору  $R$ .

Якщо труба тонкостінна ( $\delta \ll d_1$ ), то кривизна стінки слабо впливає на значення лінійної щільності теплового потоку. В цьому випадку для її визначення можна використовувати залежність, отриману для плоскої стінки.

$$q = \Delta \frac{T_{ст}}{R}$$





## 7.6 Контактний тепловий Опір

Вище при аналізі теплопровідності багатошарових стінок приймалося допущення, що тепловий контакт між дотичними поверхнями є ідеальним, і тому температури цих поверхонь однакові. У реальних умовах на поверхні будь-якого матеріалу завжди є мікроскопічні нерівності. Тому в місцях зіткнення поверхонь контакт відбувається тільки в окремих невеликих зонах (малюнок), а інші ділянки поверхні розділені тонким прошарком повітря (або іншого газу) або рідини, якщо тіло занурене в рідину. В результаті передача теплоти відбувається частково через зони фактичного контакту, а частково - через газову або рідку прошарок. Це призводить до появи додаткового теплового опору в місці зіткнення поверхонь,  $\text{K} / \text{Вт}$ ).  $R_k$  **залежить від природи, чистоти обробки і твердості контактуючих поверхонь**. Зменшення  $R_k$  можна досягти шляхом покриття дотичних поверхонь м'якими металами (міддю, оловом і ін.) Або застосуванням тонких прокладок з м'яких теплопровідних матеріалів. Значення  $R_k$  определяються по досвідченим даним.

