**Лекція**

з навчальної дисципліни **Термодинаміка і теплообмін**

|  |  |
| --- | --- |
| **Тема** | Способи передачі тепла. Передача тепла теплопровідністю через одношарову  |
|  | та багатошарову плоскі стінки. |
| **Мета заняття** | Дізнатись про основні способи передачі тепла та визначити  |
|  | формули для знаходження теплового потоку, що проходить через |
|  | одношарову та багатошарову стінки |
| **Матеріально-технічне забезпечення та дидактичні засоби, ТЗН** |
| Опорні конспекти, проектор, комп’ютер |

 Час – 2 академ. години ( 80 хвилин)

План проведення лекції

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Структура лекції | Відведений час, хв | Методичні вказівки |
| 1 Організаційна частина | 5 | Привітання, визначення присутності студентів на занятті |
| 2 Актуалізація вивчення даної дисципліни | 10 | * Перевірка домашнього завдання.
* Опитування за минулою темою. Оголошення теми заняття.
* Формування мети заняття.
 |
| 3 Основна частина (викладення навчальних питань лекції) | 55 | 1 Способи передачі (поширення) тепла2 Основні визначення3 Закон Фур’є. 4 Передача тепла теплопровідністю через одношарову і багатошарову плоску стінки |
| 4 Заключна частина Домашнє завдання (1) с. 145-150 | 10 | * Узагальнення вивченого матеріалу.
* Бліц- опитування студентів за матеріалами лекції
* Оцінювання роботи студентів на занятті.
 |

Література

1. Чернов, А. В. Основы теплотехники и гидравлики [Текст] : учеб. / А. В. Чернов, Н. К. Бессребренников ; М. - Л. : Энергия, 1965. - 456 с.;
2. Черняк О. В. Основы теплотехники и гидравлики [Текст] : учеб. / О. В. Чернов, Г. Б. Рыбчинсая ; М. : Наука, 1989.
3. Основи термодинаміки [Електронний ресурс]. – Режим доступа: [**www.URL**](http://www.URL):[**http://posibnyky.vntu.edu.ua/fizika/22\_1.htm**](http://posibnyky.vntu.edu.ua/fizika/22_1.htm)
4. Основи теплотехніки [Електронний ресурс]. – Режим доступа: [**www.URL**](http://www.URL):http://gendocs.ru/v7346/конспект,\_теоритичні\_основи\_теплотехніки

Навчальні матеріали лекції

### 1. Способи передачі (поширення) тепла

Усі процеси, що протікають в часі і просторі, зв’язані з явищами переносу енергії й маси. Процес переносу теплоти й маси, що протікають переважно в суцільних середовищах (у твердих тілах, рідинах і газах).

Відповідно до другого закону термодинаміки під дією різниці температур відбувається процес переносу теплоти в просторі убік менших значень температури. Самовільний необоротний процес переносу теплоти в просторі, обумовлений різницею температур, називається теплообміном. *Закономірності переносу теплоти і кількісні характеристики цього процесу вивчаються*[***теорією теплообміну***.](https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%A2%D0%B5%D0%BF%D0%BB%D0%BE%D0%BE%D0%B1%D0%BC%D1%96%D0%BD)

Перенос маси відбувається при різниці концентрації речовини, при випаровуванні, кипінні, конденсації і багатьох інших процесах. Якщо має місце обмін як теплотою, так і масою, то процес називається тепло масообміном. У теорії тепло масообміну вивчають потоки теплоти і маси.

*В****теорії теплообміну розглядається дві основні задач****і*:

*1. Визначення кількості тепла, яке передається від одного тіла до іншого або переходить із однієї частини тіла до іншої при заданих умовах.*

*2. Визначення температури в різних ділянках тіла, що беруть участь в процесі теплообміну.*

*Необхідної і достатньою умовою теплообміну є різниця температур*.

*Теплообмін може здійснюватись трьома способами: теплопровідністю, конвекцією і тепловим випромінюванням*.



[***Теплопровідність***](https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%A2%D0%B5%D0%BF%D0%BB%D0%BE%D0%BF%D1%80%D0%BE%D0%B2%D1%96%D0%B4%D0%BD%D1%96%D1%81%D1%82%D1%8C)*– це перенос тепла при безпосередньому контакті тіл (або частин одного тіла), що мають різні температури*. Теплопровідність обумовлена рухом мікрочастинок речовини і можлива у твердих, рідких і газоподібних середовищах.

[***Конвекція***](https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%9A%D0%BE%D0%BD%D0%B2%D0%B5%D0%BA%D1%86%D1%96%D1%8F)*– це процес переносу теплоти при переміщенні макрооб’ємів рідини або газу у просторі з області з одною температурою в область з іншою*. При цьому на перенос тепла істотно впливає процес переносу самого середовища.

[***Тепловим випромінюванням***](https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%A2%D0%B5%D0%BF%D0%BB%D0%BE%D0%B2%D0%B5_%D0%B2%D0%B8%D0%BF%D1%80%D0%BE%D0%BC%D1%96%D0%BD%D1%8E%D0%B2%D0%B0%D0%BD%D0%BD%D1%8F)*називається процес переносу теплоти в просторі за допомогою електромагнітних хвиль*.

При цьому має місце подвійне взаємне перетворення: частина внутрішньої енергії випромінювача перетворюється в енергію електромагнітних хвиль, що поглинаються тепло сприймаючим тілом, перетворюючись в теплову енергію.

У дійсності в природі і техніці випадки поширення тепла відбуваються лише од­ним способом — теплопровідністю, конвекцією і тепловим випромінюванням зуст­річаються рідко. Найчастіше один вид теплообміну супроводжується іншим.

Конвекція тепла завжди супроводжується теплопровідністю, тому, що при русі рідин і газів вони контактують з твердою поверхнею. Спільний процес конвекції і теплопровідності називається конвективним теплообміном. На практиці можуть ма­ти місце більш складні процеси переносу теплоти.

У техніці і побуті проходять процеси теплообміну між різними рідинами (стис­ливими, або нестисливими), розділеними твердою стінкою. Прикладом може слу­жити процес передачі теплоти водою в опалювальному приладі навколишньому повітрю в приміщенні.*Процес передачі теплоти від однієї рідини до іншої, що ма­ють різну температуру, через поділяючу їх стінку називається****теплопередачею***.

### 2. Основні визначення

|  |
| --- |
| Процес теплообміну може мати місце тільки за умови, що в різних точках системи температура неоднакова. У загальному випадку температура залежить від координат *х, у, z*розглянутої точки і часу *τ*:                                                 *t = f(х, у, z, τ)*                                                      (1)*Сукупність значень температури для всіх точок простору в даний момент часу називається*[***температурним полем***](https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%A1%D0%BA%D0%B0%D0%BB%D1%8F%D1%80%D0%BD%D0%B5_%D0%BF%D0%BE%D0%BB%D0%B5)*.* *Якщо температурне поле в часі не міняється, воно називається****стаціонарним****, якщо ж змінюється —****нестаціонарним****.* Тепловий режим тіла (або системи тіл), що відповідає стаціонарному температурному полю, називають *сталим*, а той, що відповідає нестаціонарному температурному полю — *несталим*.Якщо температура тіла (системи тіл) змінюється в напрямку однієї координати, то температурне поле називають *одномірним* *(t= t(х))*, якщо вздовж двох координат *(t= t(х,у))* —*двомірним*, у напряму трьох координат *(t = t (х,у,z))* — *тримірним*.*Якщо з'єднати всі точки тіла, що мають однакову температуру, одержимо поверхню рівних температур, або ізотермічну поверхню.*[***Ізотермічна поверхня***](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%98%D0%B7%D0%BE%D1%82%D0%B5%D1%80%D0%BC%D0%B8%D1%87%D0%B5%D1%81%D0%BA%D0%B0%D1%8F_%D0%BF%D0%BE%D0%B2%D0%B5%D1%80%D1%85%D0%BD%D0%BE%D1%81%D1%82%D1%8C)*— це геометричне місце точок простору, що мають однакову температуру.*Оскільки в одній і тій же точці простору одночасно не може бути двох різних температур, то ізотермічні поверхні одна з одною не перетинаються. Усі вони або закінчуються на границі тіла, або замикаються на собі. Таким чином, зміна температури в тілі проходить тільки в напрямках, що перетинають ізотермічні поверхні (наприклад, у напрямку *х*, рис. 1.). Найбільш різка зміна температури має місце в напрямку нормалі *n* до ізотермічної поверхні.*Зміна температури в напрямку нормалі до ізотермічної поверхні характеризується градієнтом температури.*[***Градієнтом температури***](https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%A2%D0%B5%D0%BC%D0%BF%D0%B5%D1%80%D0%B0%D1%82%D1%83%D1%80%D0%BD%D0%B8%D0%B9_%D0%B3%D1%80%D0%B0%D0%B4%D1%96%D1%94%D0%BD%D1%82_%28%D0%B3%D0%B5%D0%BE%D1%84%D1%96%D0%B7%D0%B8%D0%BA%D0%B0%29)*є вектор, спрямований по нормалі до ізотермічної поверхні убік зростання температури і чисельно рівний похідній температури по цьому напрямку* (рис 1):https://sites.google.com/site/osnoviteplotehnikitagidravliki/_/rsrc/1471982608454/rozdil-tretij-teoria-teplomasoobminu/-3-1-teploprovidnist/2-osnovni-viznacenna/1.jpg?height=182&width=200                           https://sites.google.com/site/osnoviteplotehnikitagidravliki/_/rsrc/1471982631092/rozdil-tretij-teoria-teplomasoobminu/-3-1-teploprovidnist/2-osnovni-viznacenna/2.jpg                                   (2)де *n0* — одиничний  вектор,   нормальний до  ізоповерхні і спрямований убік зростання температур; *дt/дn* — скалярна величина температурного градієнта, що дорівнює похідній температури по нормалі.*Градієнт температури з від'ємним знаком, тобто спрямований убік зменшення температури, називають****паданням температури****.**У неоднорідному температурному полі виникає перенос теплоти. Кількість теплоти, що проходить за одиницю часу через довільну поверхню F, називають****тепловим потоком****Q, Вт. Тепловий потік, віднесений до одиниці площі поверхні, називають густиною теплового потоку, або****питомим тепловим потоком****q, Вт/м2.*Розрізняють місцеву (локальну) і середню по поверхні *F* густину теплового потоку. Зв'язок між ними визначається співвідношенням https://sites.google.com/site/osnoviteplotehnikitagidravliki/_/rsrc/1471983089846/rozdil-tretij-teoria-teplomasoobminu/-3-1-teploprovidnist/2-osnovni-viznacenna/3.jpg,де *qл* і *q* – відповідно локальна і середня по поверхні *F* густина теплового потоку.Тепло може виділятися внаслідок наявності внутрішніх джерел теплоти, що характеризуються *густиною об'ємного тепловиділення* *qv, Вт/м3*. Якщо величина *qv* позитивна, то говорять, що в тілі маються позитивні джерела тепла. При від'ємних значеннях *qv* маються негативні джерела (або стоки) тепла. |

### 3. Закон Фур’є.

### Коефіцієнт теплопровідності та його значення для різних технічних матеріалів

[***Тепловим потоком***](https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%A2%D0%B5%D0%BF%D0%BB%D0%BE%D0%B2%D0%B8%D0%B9_%D0%BF%D0%BE%D1%82%D1%96%D0%BA)*називають кількість теплоти Q, що проходить через одиницю часу через довільну поверхню.* Вектор теплового потоку завжди направлений в сторону зменшення температури. *Кількість інтенсивності теплообміну характеризується****густиною теплового потоку****q.*

[***Густиною теплового потоку***](https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%93%D1%83%D1%81%D1%82%D0%B8%D0%BD%D0%B0_%D1%82%D0%B5%D0%BF%D0%BB%D0%BE%D0%B2%D0%BE%D0%B3%D0%BE_%D0%BF%D0%BE%D1%82%D0%BE%D0%BA%D1%83)*або****питомим тепловим потоком****, називають кількість теплоти, що проходить через одиницю поверхні F в одиницю часу τ:*

                                                           (3)

Густина теплового потоку — це кількість теплоти, яка проходить через одиницю площі поверхні за одиницю часу. Вимірюють з використанням [датчиків теплового потоку.](https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%94%D0%B0%D1%82%D1%87%D0%B8%D0%BA_%D1%82%D0%B5%D0%BF%D0%BB%D0%BE%D0%B2%D0%BE%D0%B3%D0%BE_%D0%BF%D0%BE%D1%82%D0%BE%D0%BA%D1%83)

Так як тепло завжди передається від більш нагрітих частинок тіла до менш нагрітих, то вектор *густини теплового потоку q завжди направлений в сторону зменшення температури*.

Вивчаючи процес теплопровідності в твердих тілах, французький вчений Фур’є встановив, що густина теплового потоку пропорційна градієнту температури:

$q=-λ\frac{∂t}{∂n}=-λ grad t$                             (4)

Відношення (4) виражає ***основний закон теплопровідності й називається [закономФур](https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%97%D0%B0%D0%BA%D0%BE%D0%BD_%D0%A4%D1%83%D1%80%27%D1%94%22%20%5Ct%20%22_blank)***[***’***](https://sites.google.com/site/osnoviteplotehnikitagidravliki/rozdil-tretij-teoria-teplomasoobminu/-3-1-teploprovidnist/goog_1536349038)[***є***](https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%97%D0%B0%D0%BA%D0%BE%D0%BD_%D0%A4%D1%83%D1%80%27%D1%94)***.***

Знак мінус в правій частині відношення (4) означає, що вектори теплового потоку і градієнта температури направлені в протилежні сторони.

Коефіцієнт пропорційності *λ* у виразі (4) є фізичний параметр речовини, який називають коефіцієнтом теплопровідності. Він характеризує здатність речовини проводити тепло.

Розмірністю коефіцієнта теплопровідності визначається із виразу (4):



Відповідно, величина коефіцієнту теплопровідності чисельно рівна питомому тепловому потоку через стінку одиничної товщини при перепаді температури 1°С. Чим більший λ, тим кращим провідником теплоти є речовина.

Хорошими провідниками теплоти є метали, поганими провідниками теплоти – сухе нерухоме повітря. Легкі пористі матеріали погано проводять тепло, так як їх пори заповнені повітрям.

### 4. Передача тепла теплопровідністю через одношарову і багатошарову плоску стінки

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Розглянемо передачу тепла теплопровідністю через плоску одношарову стінку (див. рис.). кількість тепла, що проходить через таку стінку, підпорядковується закону Фур’є, який виражається рівнянням:$Q=λ\frac{t\_{1}-t\_{2}}{δ}F$, *Вт*(5)де *Q* – [тепловий потік](https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%A2%D0%B5%D0%BF%D0%BB%D0%BE%D0%B2%D0%B8%D0%B9_%D0%BF%D0%BE%D1%82%D1%96%D0%BA), *Вт*;  *λ*– коефіцієнт теплопровідності, *Вт/м×град*; *t1*– температура зовнішньої поверхні стінки, *ºC*; *t2* – температура внутрішньої поверхні стінки, *ºC*; *δ* – товщина стінки, *м*; *F* – поверхня стінки, *м2*.http://ok-t.ru/studopediaru/baza2/2796376222807.files/image305.gifhttp://ok-t.ru/studopediaru/baza2/2796376222807.files/image305.gif***Фізичний зміст коефіцієнта теплопровідності****: це – кількість енергії в формі тепла, яка проходить в одиницю часу через одиницю поверхні тіла при зміні його температури на один градус.* Під цим мається на увазі, що тепловий потік протікає в направленні, нормальному до поверхні стінки.Коефіцієнт теплопровідності визначається звичайним дослідним шляхом і має різні значення для різних тіл. Як показує теорія і досліди, величина *λ* залежить від природи речовини тіла, його структури і змінюється з зміною температури. При збільшенні температури коефіцієнт теплопровідності зменшується для металів і зростає для других матеріалів, рідин і газів.В таблиці 1. наводяться значення *λ* для різних матеріалів. Як видно із табл. 1., гарним провідником тепла є матеріали, із яких один із кращих провідників тепла є мідь. Поганим провідником тепла є пористі матеріали: азбест, волок, пробка і ін., а гази мають іще більш низький коефіцієнт теплопровідності  (*λ = 0,006 ÷ 0,6 Вт/м×град*), чим ізоляційні матеріали.Коефіцієнт теплопровідності крапельних рідин лежить в межах від *0,09 до 0,7 Вт/м×град*. У води при різних тисках і температурах *λ* коливається в межах від *0,46 до 0,7 Вт/м×град*. **Порівняння теплопровідності різних матеріалів**порівняння теплопровідності матеріалівТаблиця 1.

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| ***Матеріали*** | λ, Вт/м×град | ***Матеріали*** | λ, Вт/м×град |
| *Метали* | Скло | 0,75 |
|  Алюміній | 200 – 300 | Штукатурка | 0,70 – 0,90 |
| Латунь | 100 | Шлак котельний | 0,30 |
| Мідь | 360 | *Ізолюючі матеріали* |
| Сталь вуглецева | 45 – 55 | Азбест | 0,15 – 0,20 |
| Сталь легована | 17 – 45 | Плита із волока, пробки, торфу | 0,05 – 0,10 |
| Чавун | 56 – 64 | Опилки | 0,07 |
| *Будівельні матеріали* | *Різні матеріали* |
| Бетон | 1,30 | Зола | 0,12 |
| Цегла червона | 0,75 | Котельний накип | 0,70 – 2,30 |
| Цегла вогнетривка | 0,80 – 1,70 | Сажа | 0,06 – 0,10 |
| Дерево вздовж волокон | 0,35 – 0,70 |   |   |
| Дерево впоперек волокон | 0,14 – 0,20 |   |   |

Розділивши рівняння (5) на *F*, отримаємо:$\frac{Q}{F}=λ\frac{t\_{1}-t\_{2}}{δ}$                                                (6)*Величину****q****називають*[***питомою густиною теплового потоку***](https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%93%D1%83%D1%81%D1%82%D0%B8%D0%BD%D0%B0_%D1%82%D0%B5%D0%BF%D0%BB%D0%BE%D0%B2%D0%BE%D0%B3%D0%BE_%D0%BF%D0%BE%D1%82%D0%BE%D0%BA%D1%83)*або просто густиною теплового потоку* (рідше – питомою потужністю теплового потоку). Тоді рівняння (6) можна записати в наступному вигляді:http://pk-p.ru/image/65382_191_1.png, Вт/м2.                                               (7)*Величину****λ/δ****називають****тепловою провідністю****, а зворотну величину****δ/λ****-*[***термічним опором***](https://en.wikipedia.org/wiki/Thermal_resistance)*. Розмірність термічного опору* – *м2×град/Вт*.$$ \frac{δ}{λ}= R$$Позначивши ***δ/λ = R***, перепишемо рівняння (5) в наступному вигляді:https://sites.google.com/site/osnoviteplotehnikitagidravliki/_/rsrc/1475328042875/rozdil-tretij-teoria-teplomasoobminu/-3-1-teploprovidnist/4-peredaca-tepla-teploprovidnistu-cerez-odnosarovu-i-bagatosarovu-plosku-stinki/1.jpg  або https://sites.google.com/site/osnoviteplotehnikitagidravliki/_/rsrc/1475328122130/rozdil-tretij-teoria-teplomasoobminu/-3-1-teploprovidnist/4-peredaca-tepla-teploprovidnistu-cerez-odnosarovu-i-bagatosarovu-plosku-stinki/2.jpg                                     (8)Таким чином, ***густина теплового потоку****, що передана теплопровідністю через одношарову плоску стінку, прямо пропорційна різниці температур і обернено пропорційна термічному опору стінки.*Зміна температури по товщині стінки йде по закону прямої лінії, якщо коефіцієнт теплопровідності приймається не залежним від температури.Обмежуючі поверхні (стіни будівель, стіни топок і т. п) звичайно виконуються багатошаровими. Передача тепла через багатошарову стінку визначається теплопровідністю окремих шарів багатошарової стінки.Розглянемо стінку, яка складається із трьох шарів різних матеріалів, що щільно прилягають один до одного (рис. 3). Густина теплового потоку q для всіх шарів стінки однакова. Тому для кожного шару стінки можна записати наступні рівняння:https://sites.google.com/site/osnoviteplotehnikitagidravliki/_/rsrc/1475328208422/rozdil-tretij-teoria-teplomasoobminu/-3-1-teploprovidnist/4-peredaca-tepla-teploprovidnistu-cerez-odnosarovu-i-bagatosarovu-plosku-stinki/3.jpghttps://sites.google.com/site/osnoviteplotehnikitagidravliki/_/rsrc/1475328208422/rozdil-tretij-teoria-teplomasoobminu/-3-1-teploprovidnist/4-peredaca-tepla-teploprovidnistu-cerez-odnosarovu-i-bagatosarovu-plosku-stinki/3.jpghttps://sites.google.com/site/osnoviteplotehnikitagidravliki/_/rsrc/1475328208422/rozdil-tretij-teoria-teplomasoobminu/-3-1-teploprovidnist/4-peredaca-tepla-teploprovidnistu-cerez-odnosarovu-i-bagatosarovu-plosku-stinki/3.jpgІз цих рівнянь можна визначити температуру в містах зіткнень шарів, а також перепад температур в кожному шарі:https://sites.google.com/site/osnoviteplotehnikitagidravliki/_/rsrc/1475328283661/rozdil-tretij-teoria-teplomasoobminu/-3-1-teploprovidnist/4-peredaca-tepla-teploprovidnistu-cerez-odnosarovu-i-bagatosarovu-plosku-stinki/4.jpgСкладаючи почленно праві і ліві частини цього рівняння, отримаємо:https://sites.google.com/site/osnoviteplotehnikitagidravliki/_/rsrc/1475328364855/rozdil-tretij-teoria-teplomasoobminu/-3-1-teploprovidnist/4-peredaca-tepla-teploprovidnistu-cerez-odnosarovu-i-bagatosarovu-plosku-stinki/5.jpg?height=50&width=320звідкиhttps://sites.google.com/site/osnoviteplotehnikitagidravliki/_/rsrc/1475328450679/rozdil-tretij-teoria-teplomasoobminu/-3-1-teploprovidnist/4-peredaca-tepla-teploprovidnistu-cerez-odnosarovu-i-bagatosarovu-plosku-stinki/6.jpg?height=102&width=200                                      (9)де *ΣR* - сума термічних опорів окремих шарів стінки. Тепловий потік, що проходить через багатошарову стінку, рівний:https://sites.google.com/site/osnoviteplotehnikitagidravliki/_/rsrc/1475328601840/rozdil-tretij-teoria-teplomasoobminu/-3-1-teploprovidnist/4-peredaca-tepla-teploprovidnistu-cerez-odnosarovu-i-bagatosarovu-plosku-stinki/7.jpg?height=122&width=200                                   (10)Падіння температури в багатошаровій стінці зображується ламаною лінією, як зображено на рисунку.**Висновки**Таким чином можна знайти величину теплового потоку, що проходить через одношарову та багатошарову плоскі стінки |

Контрольні питання

1. Назвіть способи передачі тепла.

2. Що таке коефіцієнт теплопровідності. Який його фізичний зміст.

3. Розмірність коефіцієнта теплопровідності.

4. Закон Фур’є.

5. Записати формулу для передачі тепла теплопровідністю через одношарову плоску стінки та назвати її складові.

6.Записати формулу для передачі тепла теплопровідністю через багатошарову плоску стінки та назвати її складові.