Реферат

***Содержание***

1. Конвективний теплообмін

2. Теплообмін випромінюванням

Література

***1. Конвективний теплообмін***

Конвекцією називається перенос теплоти при переміщенні і перемішуванні всієї маси нерівномірно нагрітих рідини чи газу. При цьому, перенос теплоти залежить від швидкості руху рідини чи газу прямо пропорційно. Цей вид передачі теплоти супроводжується завжди теплопровідністю, яка має місце, наприклад, в граничному ламінарному шарі товщиною  чи ламінарному підшарі товщиною  турбулентного граничного шару (рис.1.1) при обтіканні середовищем твердого тіла.



Рис.1.1 Схема динамічного граничного шару.

Одночасний перенос теплоти конвекцією і теплопровідністю називається конвективним теплообміном. В інженерних розрахунках часто визначають конвективний теплообмін між потоками рідини чи газу і поверхнею твердого тіла. Цей процес конвективного теплообміну називають конвективною тепловіддачею або просто тепловіддачею.

***Диференціальні рівняння конвекції.*** Процес конвективного теплообміну між поверхнею тіла і середовищем (рідиною або газом) описується законом Ньютона-Ріхмана або диференціальним рівнянням тепловіддачі, згідно з яким, кількість теплоти, переданої від рухомого середовища до поверхні твердого тіла і навпаки прямо пропорційна різниці температур поверхні тіла і середовища:

, (1.1)

де  - площа теплообміну;  - час; *a* - коефіцієнт тепловіддачі, Вт/м2·К;  - температура поверхні тіла;  - температура середовища.

Цю ж теплоту можна визначити за законом Фур’є як теплоту, що проходить через ламінарний шар чи підшар теплопровідністю:

. (1.2)

Густина теплового потоку за законом Ньютона-Ріхмана:

, (1.3)

Перенос тепла в рухомому середовищі описується диференціальним рівнянням конфекції (рівнянням Фур’є-Кірхгофа):

, (1.4)

де  - компоненти вектора швидкості *W* на координатні осі *x*, *y*, *z, а* - коефіцієнт температуропровідності;  - температура;  - час; *qv* - потужність внутрішнього джерела (стоку) тепла Вт/м3; *ср* - теплоємність при постійному тиску, кДж/кг·К; *r* - густина середовища, кг/м3.

Рух середовища в процесі конвективного теплообміну описується рівнянням руху в’язкої рідини (Нав’є - Стокса), проекція якого на вісь :

,

 (1.5)

де  - густина середовища при температурі ;  - прискорення вільного падіння;  - коефіцієнт об’ємного розширення (для ідеального газу ); . Закон збереження маси щодо елементарного об’єму середовища виражається рівнянням нерозривності:

. (1.6)

Наведені рівняння разом з умовами однозначності дозволяють аналітично досліджувати задачі конвективного теплообміну в будь-якому конкретному випадку. Рішення цих диференціальних рівнянь складна і трудомістка задача, і вона можлива при обмежених простих випадків. Тому при дослідженні конвективного теплообміну застосовують метод теорії подібності.

***Основи теорії подібності***. Теорія подібності - це наука про подібні явища. Явища подібні, якщо вони мають подібні умови однозначності і чисельно однакові визначальні критерії подібності.

*Подібними явищами* називаються такі фізичні явища, що однакові якісно за формою і змістом, тобто мають одну фізичну природу, розвиваються під дією однакових сил і описуються однаковими за формою диференціальними рівняннями і крайовими умовами.

Обов'язковою умовою подібності фізичних явищ повинна бути геометрична подібність систем, де ці явища протікають. Два фізичних явища будуть подібні лише в тому випадку, якщо будуть подібні усі величини, що характеризують їх. Для всіх подібних систем існують безрозмірні комплекси величин, що називаються критеріямиподібності.

Основні положення теорії подібності формулюють у вигляді 3-х теорем.

теорема: Подібні явища мають однакові критерії подібності.

теорема: Будь-яка залежність між змінними, що характеризує будь-які явища, може бути представлена, у формі залежності між критеріями подібності, складеними з цих змінних, котра буде називатися критериальным рівнянням.

теорема: Два явища подібні, якщо вони мають подібні умови однозначності і чисельно однакові визначальні критерії подібності.

Умовами однозначності є:

· наявність геометричної подібності систем;

· наявність однакових диференціальних рівнянь;

· існування єдиного рішення рівняння при заданих граничних умовах;

· відомі чисельні значення коефіцієнтів і фізичних параметрів.

За допомогою теорії подібності визначається коефіцієнт тепловіддачі, який є функцією багатьох параметрів:

*α = f1 (Х; Ф; lo; xc; yc; zc; Wo; Δt; λ; а; ср; ρ; ν; β),* (1.7)

де: *Х* - характер руху середовища (вільний, примусовий);

*Ф* - форма поверхні;

*lo* - характерний розмір поверхні (довжина, висота, діаметр і т.д.);

*xc; yc; zc* - координати;

*Wo* - швидкість середовища (рідина, газ);

*Δt = (t'ст - t'с) -* температурний напір;

*λ* - коефіцієнт теплопровідності середовища;

*а* - коефіцієнт температуропровідності середовища;

*ср* - ізобарна питома теплоємність середовища;

*ρ* - густина середовища;

*ν= μ* /*r* - коефіцієнт кінематичної в'язкості середовища; (*μ -* коефіцієнт динамічноїв'язкості; *r -* густина середовища);

*β* - температурний коефіцієнт об'ємного розширення середовища.

Безрозмірний коефіцієнт тепловіддачі, згідно з теорією подоби, розраховується за допомогою критеріального рівняння, яке складається основі експериментальних досліджень для кожного конкретного виду конвективного теплообміну:

*= f2 (Х; Ф; X0; Y0; Z0; Re; Gr; Pr),* (1.1)

де: *X0; Y0; Z0* - безрозмірні координати;

*Nu = α·l0/λ* - *критерій Нуссельта* (безрозмірний коефіцієнт тепловіддачі), характеризує теплообмін між поверхнею стінки і рідиною (газом);

*Re = W·l0/ν* - *критерій Рейнольдса*, характеризує співвідношення сил інерції і в'язкості і визначає характер течії рідини (газу);

*Gr = (β·g·l03·Δt) /ν2* - *критерій Грасгофа*, характеризує подйомну силу, що виникає в рідині (газі) унаслідок різниці густин;

*Pr = ν/а = (μ·cp) /λ* - *критерій Прандтля*, характеризує фізичні властивості рідини (газу).

Після визначення критерію Нуссельта розраховується величина коефіцієнта тепловіддачі:

.

Для розрахунку безрозмірного коефіцієнта тепловіддачі використовуються основні розрахункові формули конвективного теплообміну, що дані для середніх значень коефіцієнтів тепловіддачі по поверхні стінки.

### *Вільна конвекція***. В необмеженому просторі (рис.1.2 а):**

а). Горизонтальна труба діаметром *d* при *103< (Gr·*·*Pr) <101.*

*= 0,5· (Gr·Pr) 0,25 (Prс/Prст) 0,25.* (1.2)

б). Вертикальна труба і пластина:

). ламінарна течія - *103< (Gr ·Pr) <102:*

*= 0,75· (Gr·Pr) 0,25· (Prс/Prст) 0,25*. (1.10)

). турбулентна течія - (*Gr ·Pr) > 102:*

*= 0,15· (Gr·Pr) 0,33 · (Prс/Prст) 0,25. (*1.11)



а) б)

Рис.1.2 Зміна  по висоті стінки при вільній конвекції в необмеженому просторі (а) і вільна конвекція в обмеженому об’ємі (б)

Тут значення *Gr*, *Pr* і *Prс* беруться при температурі рідини (газу), а *Prст* при температурі поверхні стінки. Визначальна температура - температура середовища; визначальний лінійний розмір для горизонтальних труб - діаметр, вертикальних поверхонь - висота

в). Горизонтальна пластина: розрахункове значення *Nu* збільшується на 30%, якщо нагріта поверхня зорієнтована вверх і на 30% зменшується, якщо нагріта поверхня зорієнтована вниз. Визначальний розмір - менша сторона пластини. Для повітря *Prс/Prст* = 1 і наведені формули спрощуються. В обмеженому просторі (рис.1.2 б) середня густина теплового потоку розраховується за формулами теплопровідності із заміною коефіцієнта теплопровідності  середовища еквівалентним . Якщо , приймається . В області  приймається .

Визначальний розмір - ширина каналу, визначальна температура - середня температура середовища. Густина теплового потоку:

.

***Примусова конвекція.***

Режим течії (рис.1.3) визначається по величині *Re.*



а) б)

Рис.1.3 Схеми ламінарної (а) і турбулентної (б) течії рідини в трубах.

а). Течія рідини в гладких трубах круглого перетину.

). ламінарна течія (рис.3. а) - *Re < 2100*

*= 0,15·Re0,33·Pr0,33· (Gr·Pr) 0,1· (Prс/Prст) 0,25·εl (*1.12)

або*,* (1.13)

де *εl* - коефіцієнт, що враховує зміну середнього коефіцієнта тепловіддачі по довжині труби і залежить від відношення довжини труби до його діаметра (*l/d*). Значення цього коефіцієнта представлені в таблиці 1.1.

Таблиця 1.1.

Значення *εl* при ламінарному режимі.

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| l/d | 1 | 2 | 5 | 10 | 15 | 20 | 30 | 40 | 50 |
| εl | 1,2 | 1,7 | 1,44 | 1,21 | 1,11 | 1,13 | 1,05 | 1,02 | 1,0 |

). перехідний режим - *2100 < Re < 104*

*= К0·Pr0,43· (Prс/Prст) 0,25·εl. (*1.14)

Коефіцієнт *К0* залежить від критерію Рейнольдса *Re* і представлена в таблиці 1.2.

Таблиця 1.2.

Значення *К0.*

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Re? 104 | 2,1 | 2,2 | 2,3 | 2,4 | 2,5 | 3 | 4 | 5 | 6 | 1 | 10 |
| ДО0 | 1,2 | 2,2 | 3,3 | 3,1 | 4,4 | 6,0 | 10,3 | 15,5 | 12,5 | 27,0 | 33,3 |

). турбулентна течія (рис.1.3 б) - *Re = 104*

*= 0,021· Re0,1·Pr0,43· (Prс/Prст) 0,25·εl. (*1.15)

Значення коефіцієнта *εl* представлені в таблиці 1.3.

Таблиця 1.3.

Значення *εl* при турбулентному режимі.

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| *l/d* | *εl* | | |
|  | Re = 2·103 | Re = 2·104 | Re = 2·105 |
| 1 | 1,2 | 1,51 | 1,21 |
| 2 | 1,70 | 1,40 | 1,22 |
| 5 | 1,44 | 1,27 | 1,15 |
| 10 | 1,21 | 1,11 | 1,10 |
| 15 | 1,11 | 1,13 | 1,01 |
| 20 | 1,13 | 1,11 | 1,06 |
| 30 | 1,05 | 1,05 | 1,03 |
| 40 | 1,02 | 1,02 | 1,02 |
| 50 | 1,00 | 1,00 | 1,00 |

б). Обтікання горизонтальної поверхні.

). ламінарна течія *- Re < 4*·*104*

*= 0,66·Re0,5·Pr0,33 · (Prс/Prст) 0,25. (*1.16)

). турбулентна течія - *Re > 4·104*

*= 0,037·Re0,5·Pr0,33 · (Prс/Prст) 0,25. (*1.17)

**Теплообмін при поперечному обтіканні.**

а). Пучки труб (рис.1.4) (кут атаки j = 200). Використовуються два види розташування труб в пучках:

коридорне (рис.1.4 а) і шахового (рис.1.4 б).



а) б)

Рис.1.4 Схеми розташування труб в пучках.

Середній коефіцієнт тепловіддачі при  може бути визначений з рівняння:

. (1.11)

Для шахового пучка ; ; для коридорного ; . Коефіцієнт, який враховує вплив відносних поперечного  і поздовжнього  кроків для коридорного пучка ; для шахового при  ; при  .

Коефіцієнт, який враховує номер ряду для першого ряду ; для другого ряду шахового пучка  коридорного ; для третього і наступних рядів . За визначальну температуру приймається середня температура середовища, визначальний розмір - зовнішній діаметр труби, швидкість течії середовища - швидкість в самому вузькому перетині ряду труб. Середнє значення коефіцієнта тепловіддачі:

, (1.12)

де  - середній коефіцієнт тепловіддачі -го ряду;  - сумарна площа поверхні труб -го ряду;  - число рядів у пучку.

б). Поперечне обтікання одиночної труби.

). при *Re = 5 - 103*

*= 0,57·Re0,5·Pr0,31 · (Prс/Prст) 0,25. (*1.20)

). при *Re = 103 - 2·105*

*Nu = 0,25 Re0,6·Pr0,31 · (Prс/Prст) 0,25. (*1.21)

***Теплообмін при кипінні.*** При бульбашковому кипінні (т. А-т. К на рис.1.5) теплообмін описується рівнянням:

, (1.22)

де  - критерій кипіння;  - питома теплота випаровування;  - густина пари;  - відривний діаметр бульбашок;  - частота видривання бульбашок. За визначальний геометричний розмір прийнята капілярна стала ;  - напруження поверхневого натягу;  - густина рідини.

конвективний теплообмін конвекція подібність

Для води в т. А (рис.1.5) ; в т. К , , ; правіше т. В, ; .

Добуток  характеризує середню швидкість росту бульбашок пари , яка залежить від тиску. При тиску 0,1МПа для води м/с, етилового спирту м/с. Для різних рідин наближене значення  можна знайти за емпіричною формулою:

, (1.23)

де  - тиск рідини;  - критичний тиск.



Рис. 1.5 Характер зміни  і  при кипінні.

На рис. 1.5 (лівіше т. А має місце вільна конвекція; в інтервалі т. А - т. К - бульбашкове кипіння; в інтервалі т. К - т. В - неусталене плівкове кипіння; правіше т. В усталене плівкове кипіння).

Для розрахунку теплообміну при одночасному впливі швидкості примусового руху рідини і кипіння використовується емпірична залежність:

, (1.24)

де  - шуканий коефіцієнт тепловіддачі;  - коефіцієнт тепловіддачі при примусовому русі без кипіння;  - коефіцієнт тепловіддачі при розвинутому кипінні.

***Теплообмін при конденсації.*** При конденсації насищеної пари і ламінарній течії плівки конденсату (рис.1.6) за нехтування конвективним переносом теплоти в ній густина теплового потоку:

; (1.25), або , (1.26)

де  - температура зовнішньої поверхні плівки конденсату;  - товщина плівки;  - коефіцієнт теплопровідності конденсату.



Рис. 1.6. Схема плівкової конденсації

Для визначення середнього значення  при утворенні на поверхні твердого тіла плівки конденсату використовують рівняння:

, (1.27)

де  - критерій Галілея;  - критерій фазового переходу; ;  - температури поверхонь плівки конденсату і твердого тіла (стінки).

Фізичні параметри плівки конденсату  визначаються при температурі , теплота пароутворення  при температурі . Для вертикальних труб чи стінки , для горизонтальних труб . Вплив перегріву пари може бути врахований шляхом підстановки замість  величини , де  - теплота перегріву пари;  - ентальпія рідини, що кипить;  - ентальпія сухої насиченої пари.

Визначальний для вертикальних стінки чи труби визначальний розмір - їх висота, для горизонтальних - менший розмір пластини і діаметр труби.

# ***2. Теплообмін випромінюванням***

Теплове випромінювання являє собою процес поширення в просторі внутрішньої енергії випромінюючого тіла за допомогою електромагнітних хвиль. При розв’язанні задач застосовують поняття: потік випромінювання  є величина енергії випромінювання *W*, віднесена до часу переносу *t*.  - променевий потік . Потік випромінювання, що проходить через одиницю поверхні, називається поверхневою густиною потоку або променевою енергією випромінювання:

 або . (2.1)

Якщо величина  для всіх елементів поверхні однакова, то .

Випромінювання однієї довжини хвилі чи в діапазоні  називається монохроматичним. Поверхнева густина потоку випромінювання монохроматичного випромінювання:

 або . (2.2)

У загальному випадку енергія, випромінювана тілом при влученні на інші тіла, частково відбивається, частково поглинається і проходить крізь тіло (рис. 2.1):

 *Е* = *ЕA* + *ЕR* + *ЕD*, (2.3)

де *ЕA* - поглинена енергія; *ЕR* - відбита енергія; *ЕD* - енергія, що пройшла через тіло.

 або

, тоді . (2.4)



Рис. 2.1 Схема балансу променевої енергії

Цю формулу можна представити у вигляді:

 (2.5)

де *А* - поглинальна здатність тіла; *R* - відбивна здатність тіла; *D* - пропускна здатність тіла. Кожен з трьох доданків може дорівнювати одиниці: якщо А = 1, то R = 0 і D = 0 і тіло вважають абсолютно чорним; якщо R = 1, то A = 0 і D = 0 і тіло абсолютне біле; якщо D = 1, то A = 0 і R = 0 і тіло є абсолютно прозорим чи діатермічним. Усі тіла в тому чи іншому ступені відбивають, поглинають чи пропускають енергію. Вони називаються сірими тілами.

***Закони теплового випромінювання.*** *Закон Планка*. Поверхнева густина потоку монохроматичного випромінювання для абсолютно чорного тіла залежить від довжини хвилі і температури тіла (рис. 2.2):

 (2.6)

де *С*1 = 3,74Ч10-16 ВтЧм2; *С*2 = 1,44·10-2 м·К; λ - довжина хвилі випромінювання.



а) б)

Рис. 2.2 Спектри випромінювання абсолютно чорного тіла при різних температурах (а) і в порівнянні з спектрами випромінювання сірого тіла і газу (б)

Встановлена залежність  має максимум, який з підвищенням температури зміщається і область більш коротких хвиль.

*Закон Віна* (*закон зсуву*). Зі збільшенням температури довжина хвилі, при якій поверхнева густина потоку монохроматичного випромінювання для абсолютно чорного тіла досягає максимуму зменшується:

l*mT* = 2114 мкм·К, (2.7)

де l*m* - довжина хвилі, при якій інтенсивність досягне максимуму.

Математичне вираження закону Віна одержують диференціюванням рівняння Планка, вважаючи отриману похідну рівною нулю:  ммЧК. Довжина хвилі *lm*, мм, що відповідає максимальному значенню :

*m =* 2,114*/ T. (*2.1)

Використовуючи закон зсуву Віна, можна вимірювати високі температури тіл на відстані, наприклад, розплавлених металів, космічних тіл і ін.

*Закон Стефана-Больцмана (закон четвертих ступенів).* Для абсолютно чорного тіла інтегральна густина випромінювання  пропорційна четвертому ступеню температури ідеального випромінювача. Інтегральну щільність інтенсивності напівсферичного випромінювання одержують у результаті інтегрування рівняння закону Планка по довжині хвилі  від 0 до :

, (2.2)

де Вт/м2 - постійна Стефана-Больцмана.

Для практичних розрахунків математичне вираження закону представляється у вигляді:

, (2.10)

де , *С*0 = 5,67 Вт/ (м2ЧК4) - постійна (коефіцієнт) випромінювання абсолютно чорного тіла.

Для сірого тіла закон Стефана-Больцмана має вигляд:

 (2.11)

Для зручності розрахунків формулу представляють у вигляді:

 (2.12)

де *С* - коефіцієнт випромінювання сірого тіла, Вт/ (м2ЧК4).

Для оцінки радіаційних властивостей реальних тіл використовується поняття ступеня чорності *e* як відношення потоку випромінювання тіла до потоку енергії, що випускається ідеальним випромінювачем з тією же температурою й у те ж середовище:

. (2.13)

Для сірих тіл закон Стефана-Больцмана записують у вигляді:

 (2.14)

де *ε* - ступінь чорності тіла; *ε* = *С*/*С*0; *С*0 - коефіцієнт випромінювання абсолютно чорного тіла.

*Закон Кірхгофа.* Відношення випромінювальної (*Е*) здатності до поглинальної (*А*) для всіх сірих тіл однакове і дорівнює випромінювальній здатності абсолютно чорного тіла *Е0* при тій же температурі і залежить лише від температури.

 (2.15)

Закон Кірхгофа виводиться з розгляду променистого теплообміну між двома паралельними близько розташованими поверхнями, з яких одна сіра, а інша абсолютно чорна. Позначимо температуру, випромінювальну і поглинальну здатності цих поверхонь відповідно *Т*, *Е*, *А*; *Т*0, *Е*0, *А*0, причому *Т* > *Т*0.

Сіра стінка випромінює енергію  і поглинає частину енергії, що випромінюється чорним тілом . Випромінювана сірим тілом енергія  і відбита ним енергія  потрапляють на чорне тіло і поглинаються ним. Результуюче випромінювання сірого тіла . При  маємо , звідки:

 або . (2.16)

Із законів Стефана-Больцмана і Кірхгофа слідує, що .

Звідки можна отримати:

. (2.17)

***Випромінювання тіла в процесі променевого теплообміну.*** Тіло, яке приймає участь у променевому теплообміні крім власного випромінювання  відбиває падаючу на нього енергію других тіл (рис.2.3):

 (2.11)

Сума енергій власного і вибитого випромінювання становить ефективне випромінювання тіла:

. (2.12)



###### Рис.2.3 Схема для складання рівняння балансу енергії

Результуюче випромінювання  (рис.2.3) є різницею між отримуваним і випускаючим тілом променевими потоками:

для площини *а-а* 

для площини *b-b* 

З цих рівнянь отримаємо:

; ; . (2.20)

*Взаємне випромінювання двох тіл, одне з яких знаходиться в порожнині іншого.* Кількість тепла, що передається від більш нагрітого тіла до менш нагрітого за допомогою випромінювання:

 (2.21)

де *Т*1 і *Т*2 - температури більш і менш нагрітого тіла відповідно; *F* - поверхня випромінювання; *τ* - час; *С*12 - коефіцієнт взаємного випромінювання (приведений коефіцієнт); *j* - середній кутовий коефіцієнт, що враховує форму і розмір поверхонь, що беруть участь у теплообміні, їхнє взаємне розташування і відстань між ними (довідкова величина); *С*12 *= ε*12*С0; ε*12 - приведений ступінь чорності*; ε*1 і *ε*2 - ступінь чорності тіл 1 і 2.

Якщо поверхня випромінювання більш нагрітого тіла значно менше замкнутої довкола нього поверхні випромінювання твердого тіла, тобто *F*1 << *F*2, то *С*12 = *С*1.

Якщо тіло, що випромінює тепло, розміщене усередині іншого тіла, то j = 1 ***(***рис.2.4). Тоді

, (2.22)

де індекс 1 відноситься до більш нагрітого тіла, індекс 2 - до менш нагрітого.



Рис.2.4 Теплообмін в замкненому просторі

*Взаємне випромінювання двох паралельних однакових за розмірами пластин.* Густина потоку результуючого випромінювання при передачі теплоти від більш нагрітої до менш нагрітої паралельних однакових за розмірами пластин:

. (2.23)

В свою чергу:

; . (2.24)

При усталеному режимі: .

З останніх чотирьох рівнянь отримаємо:

. Звідки:

. (2.25)

Згідно законам Кірхгофа і Стефана-Больцмана:

. (2.26)

Остаточно отримаємо:

, (2.27), де

 - приведена поглинальна здатність системи.

, де  - приведений ступінь чорності.

***Теплопередача*** - процес переносу тепла від одного теплоносія (гарячого) до другого (холодного) через стінку, що розділяє їх.

Запишемо вирази для густини теплового потоку при теплопередачі через плоску одношарову стінку (рис.2.5):

конвективна тепловіддача від середовища з більш високою температурою до лівої грані стінки

. (2.21)

передача тепла теплопровідністю через стінку товщиною *d*

. (2.22)

конвективна тепловіддача від правої грані стінки до другого (холодного) середовища

. (2.30)

При стандартній тепловіддачі усі три теплові потоки повинні бути однаковими і постійними у часі, тобто:

*q1=q2=q3=q. (*2.31)

З наведених рівнянь знаходимо часткові температурні перепади:



Рис.9.5. Теплопередача через плоску стінку.

, , (2.32)

, (2.33)

. (2.34)

Знаходимо повний температурний перепад процесу теплопередачі складанням часткових перепадів і вирішенням системи рівнянь відносно теплового потоку:

. (2.35)

Позначимо  і отримаємо рівняння теплопередачі через плоску стінку:

. (2.36)

Коефіцієнт пропорційності *К*, Вт/м2ЧК, називається коефіцієнтом теплопередачі. Величина, зворотна коефіцієнту теплопередачі *1/К*, називається повним термічним опором теплопередачі (*Rпов*).

. (2.37)

Величини ,  і  називаються частковими опорами тепловіддачі (*R*1 і *R*3) і теплопровідності стінки (*R*2).

Якщо стінка складається із *п* шарів то можна записати:

, (2.31)

Тоді рівняння теплопередачі через плоску стінку набуде вигляду:

. (2.32)

Коефіцієнт теплопередачі через багатошарову плоску стінку становить:

. (2.40)

Визначивши кількість тепла, що передається від одного теплоносія до іншого, можна знайти значення температур на поверхнях стінки:

, (2.41)

. (2.42)

***Теплообмінними апаратами*** або теплообмінниками називаються пристрої, призначені для передачі тепла від більш нагрітого теплоносія (рідини чи газу) до менш нагрітого (рис.2.6).



а) б) в)

Рис.2.6 Схеми скруббера (а), обертального регенератора (б) і рекуперативного кожухотрубного теплообмінника.

При тепловому розрахунку рекуперативного теплообмінника (рис.2.7) основними розрахунковими рівняннями є: рівняння теплопередачі для елемента поверхні теплообміну ; для всієї поверхні теплообміну , де і  - середні значення коефіцієнтів теплопередачі і температурного напору всього теплообмінника.

рівняння теплового балансу за умови відсутності теплових втрат , де  - масовий видаток теплоносія, кг/с;  - питома ентальпія, Дж/кг; індекси 1 і 2 відносяться до гарячої і холодної рідини, одним штрихом позначені параметри на вході, двома - на виході апарата. За відсутності кипіння чи конденсації: , де  і  - середні теплоємності теплоносіїв. Величина  є теплоємністю масового видатку називається витратною теплоємністю. З останніх двох рівнянь слідує: , де  і  - зміни температур гарячого і холодного теплоносіїв.



Рис. 2.7 Зміна температури робочих тіл при прямотоку (а) і протитоку (б).

Для теплообмінного апарату з прямотоком (рис.2.7 а) тепловий потік, що передається через елемент поверхні:

. (2.43)

Температура гарячої рідини знижується на  і холодної підвищується на .

Відповідно: 

Звідки  і .

Зміна температурного напору визначиться рівнянням:

, де  (2.44)

Підставляючи значення , отримаємо:

.

Позначивши , перепишемо:

 або ,  (2.45)

де  і  - температурні напори на вході і виході.

Перепишемо у вигляді  і підставимо значення  і :

 (2.46)

Тоді , але . Звідки . (2.47)

Аналогічну формулу можна вивести і для апарату з протитоком (рис. 2.7 б):

. (2.41)

Для обох випадків можна записати: , де  і  - більший і менший температурні напори.

Знаючи величини ,  і  можна обчислити поверхню теплообміну:

. (2.42)

# ***Література***

1. Скотт Э. - 2-е изд. - М.: ФИЗМАТЛИТ, 2007. - 560 с. - (Фундаментальная и прикладная физика).

. Каганов М.И. Абстракция в математике и физике / Каганов М.И., Любарский Г.Я. - М.: ФИЗМАТЛИТ, 2005. - 352 с.

. Делоне Н.Б. Что такое свет? / Делоне Н.Б. - М.: ФИЗМАТЛИТ, 2006. - 56 с. - (Библиотека физ. - мат. лит. для школьников).

. Фейнман Р. Дюжина лекций: шесть попроще и шесть посложнее: пер. с англ. / Фейнман Р. - М.: БИНОМ, 2006. - 318 с.: ил.

. Вятчанин С.П. Физика. Тесты для старшеклассников и абитуриентов: учеб. пособие / Вятчанин С.П. - 2-е изд. - М.: ФИЗМАТЛИТ, 2003. - 109 с. - (В помощь абитуриенту).

. Миронова, Г.А. Конденсированное состояние вещества: от структурных единиц до живой материи: учеб. пособие / Г.А. Миронова;. - М.: МГУ, 2004 - Т.1. - 532 с.

. Миронова, Г.А. Конденсированное состояние вещества: от структурных единиц до живой материи: учеб. пособие / Г.А. Миронова;. - М.: МГУ, 2006 - Т.2. - 840 с.

. Трубецков, Д.И. Лекции по сверхвысокочастотной электронике для физиков. В 2 т. / Д.И. Трубецков; автор А.Е. Храмов. - М.: ФИЗМАТЛИТ, 2003 - Т.1. - 496 с.

. Сборник задач по общему курсу физики. В 3 ч.: учеб. пособие / ред.В.А. Овчинкин, автор Д.А. Заикин, автор Э.В. Прут. - 2-е изд., испр. и доп. - М.: МФТИ, 2002 - Ч.1: Механика. Термодинамика и молекулярная физика. - 2-е изд., испр. и доп. - 448 с.; МО. - (Физика).

. Эксперимент в физике. Физический практикум / Шутов В.И., Сухов В.Г., Подлесный Д.В. - М.: ФИЗМАТЛИТ, 2005. - 184 с.