

Тема 3.4 Теплопередача

План

1. Теплопередача через однослойную и многослойную плоскую стенку. Коэффициент теплопередачи.
2. Теплопередача через однослойную и многослойную цилиндрическую стенку
3. Тепловая изоляция. Критический диаметр изоляции.
4. Теплопередача через оребренные поверхности

Основная литература:

1 Крестин Евгений Александрович. Основы гидравлики и теплотехники
Редактор: Смирнова Н. А. Издательство: Кнорус, 2020 г.

Серия: Среднее профессиональное образование
Подробнее: <https://www.labyrinth.ru/books/733774/>

2 Брюханов О. Н., Мелик-Аракелян А.Т., Коробко В.И. Основы гидравлики и теплотехники: учебник (3-е издание), - М.: Издательский центр «Академия», 2017.

3 Лашутина Н.Г. и др. Техническая термодинамика с основами теплопередачи и гидравлики: учебник- Л.: Машиностроение, 1988.

Дополнительная литература:

1 Кудинов, В. А. Техническая термодинамика и теплопередача: учебник для среднего профессионального образования / В. А. Кудинов, Э. М. Карташов, Е. В. Стефанюк. -4-е изд., перераб. и доп. - Москва: Издательство Юрайт, 2022. - 454 с. - (Профессиональное образование). — ISBN 978-5-534-12196-4. - Текст: электронный // Образовательная платформа Юрайт [сайт]. —URL: <https://urait.ru/bcode/495923> .

2 Жуховицкий Д.А. Сборник задач по технической термодинамике: учебное пособие, второе издание-г. Ульяновск, 2007

Интернет-ресурсы:

1 Федеральный центр информационно-образовательных ресурсов. — Режим доступа: <http://fcior.edu.ru>

2 Электронная библиотека. Электронные учебники. - Режим доступа: <http://subscribe.ru/group/mechanika-studentam/>

1. Теплопередача через однослойную и многослойную плоскую стенку. Коэффициент теплопередачи.

Передача теплоты от одной среды (жидкости или газа) к другой через разделяющую их стенку называется теплопередачей.

Примерами теплопередачи являются передача теплоты от горячей воды к воздуху помещения через металлические стенки батарей центрального отопления, передача теплоты от горячих паров хладагента к воде или воздуху через стальные стенки труб в конденсаторах водяного или воздушного охлаждения и т. д. В этих случаях стенки не должны препятствовать теплопередаче от одной среды к другой, и поэтому они изготавливаются из материалов, имеющих высокую теплопроводность.

Когда же требуется уменьшить теплопритоки (например, в камеры холодильника, к холодным трубопроводам и аппаратам) или уменьшить потери теплоты от горячих поверхностей в окружающую среду, то стенки и аппараты покрывают теплоизоляционными материалами.

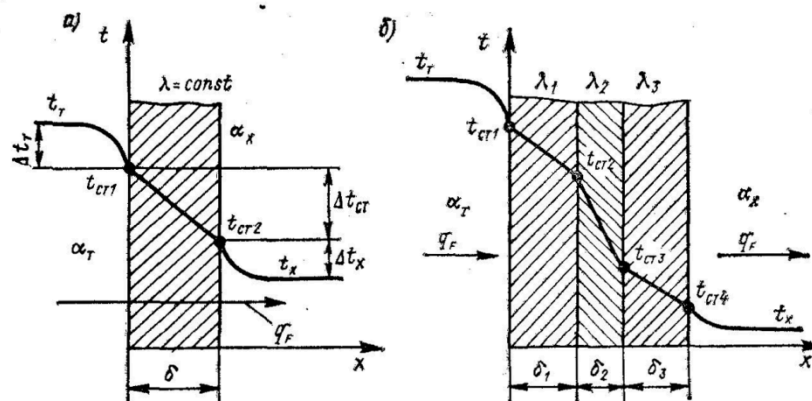


Рисунок 3.4.1- Теплопередача через плоские стенки

Теплопередача — сложный процесс, физическая сущность которого определяется конвекцией, теплопроводностью и тепловым излучением. Взаимосвязь между параметрами сред и разделяющей их стенкой зависит от формы стенки.

Однослойная плоская стенка. Рассмотрим процесс передачи теплоты через однородную плоскую стенку с толщиной δ и коэффициентом теплопроводности материала λ (рис.3.4.1, а). Стенка разделяет две среды — теплую и холодную, имеющие соответственно коэффициенты теплоотдачи α_T и α_x и температуры t_r и t_x . Если предположить, что величины α_T , α_x , t_r и t_x постоянны, то изменение температур сред и стенки осуществляется

перпендикулярно к поверхности стенки. Температуры поверхностей стенки $t_{\text{ст}1}$ и $t_{\text{ст}2}$ неизвестны.

В установившемся режиме процесс переноса теплоты от более нагретой среды через стенку к менее нагретой рассматривается как состоящий из трех составных частей: 1) теплоотдачи — переноса теплоты конвекцией от более нагретой среды с температурой t_T к стенке, температура поверхности которой $t_{\text{ст}1}$; 2) переноса теплоты теплопроводностью через стенку; 3) теплоотдачи — переноса теплоты конвекцией от поверхности стенки с температурой $t_{\text{ст}2}$ к более холодной среде с температурой t_X . При стационарном режиме, согласно закону сохранения энергии, плотность теплового потока вдоль оси x не изменяется. Тогда для трех рассмотренных этапов теплопередачи справедливы соотношения:

$$q_F = \alpha_T (t_T - t_{\text{ст}1}); \quad q_F = (\lambda/\delta) (t_{\text{ст}1} - t_{\text{ст}2}); \quad q_F = \alpha_X (t_{\text{ст}2} - t_X).$$

Уравнения (19.1) можно представить в виде:

$$t_T - t_{\text{ст}1} = q_F/\alpha_T; \quad t_{\text{ст}1} - t_{\text{ст}2} = q_F\delta/\lambda; \quad t_{\text{ст}2} - t_X = q_F/\alpha_X.$$

Суммируя отдельно правые и левые части этих уравнений, получим выражение для полного температурного напора

$$t_T - t_X = q_F (1/\alpha_T + \delta/\lambda + 1/\alpha_X),$$

откуда плотность теплового потока

$$q_F = (t_T - t_X)/(1/\alpha_T + \delta/\lambda + 1/\alpha_X) = k (t_T - t_X),$$

где выражение

$$k = 1/(1/\alpha_T + \delta/\lambda + 1/\alpha_X)$$

носит название коэффициента теплопередачи.

В отличие от коэффициентов теплопроводности и температуропроводности, этот коэффициент не является теплофизической характеристикой вещества. Коэффициент теплопередачи характеризует интенсивность переноса теплоты и отражает количественную сторону этого процесса, его размерность совпадает с размерностью α : Вт/(м² К).

Коэффициент теплопередачи k равен количеству теплоты, передаваемой от одной среды к другой через единицу поверхности стенки в единицу времени при разности температур сред в один градус.

Величина, обратная коэффициенту теплопередачи, называется полным термическим сопротивлением теплопередачи. Для однослойной стенки

$$1/k = R = 1/\alpha_T + \delta/\lambda + 1/\alpha_X = R_T + R_{ст} + R_X,$$

откуда следует, что полное термическое сопротивление равно сумме частных, причем $R_T = 1/\alpha_T$ — термическое сопротивление теплоотдачи со стороны более нагретой среды; $R_{ст} = \delta/\lambda$ — термическое сопротивление теплопроводности стенки; $R_X = 1/\alpha_X$ — термическое сопротивление теплоотдачи со стороны менее нагретой среды.

Многослойная плоская стенка. Рассмотрим многослойную стенку (рис.3.4.1, б), состоящую из трех слоев толщиной $\delta_1, \delta_2, \delta_3$, коэффициенты теплопроводности которых $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3$. С одной стороны стенка омывается теплой средой с температурой t_T , с другой — холодной средой с температурой t_X ; α_T и α_X — коэффициенты теплоотдачи этих сред.

Эта задача решается аналогично предыдущей. Поскольку общее термическое сопротивление равно сумме частных, то при расчете многослойной стенки учитывают термическое сопротивление всех ее слоев. В соответствии с формулой полное термическое сопротивление теплопередачи стенки, состоящей из n слоев,

$$R = 1/k = 1/\alpha_T + \delta_1/\lambda_1 + \delta_2/\lambda_2 + \dots + \delta_n/\lambda_n + 1/\alpha_X,$$

или

$$R = 1/\alpha_T + \sum_{i=1}^n \delta_i/\lambda_i + 1/\alpha_X.$$

Тогда коэффициент теплопередачи многослойной стенки

$$k = 1/R = 1 / \left(1/\alpha_T + \sum_{i=1}^n \delta_i/\lambda_i + 1/\alpha_X \right),$$

а плотность теплового потока

$$q_F = (t_T - t_X) / \left(1/\alpha_T + \sum_{i=1}^n \delta_i/\lambda_i + 1/\alpha_X \right) = k (t_T - t_X).$$

Выражение является частным случаем при $n = 1$. Тепловой поток через стенку с поверхностью F определится по формуле, которая называется основным уравнением теплопередачи

$$Q = q_F F = k F (t_T - t_X) = k F \theta.$$

Неизвестные температуры поверхности однослойной стенки находят из выражений (19.2):

$$t_{CT1} = t_T - q_F (1/\alpha_T); \quad t_{CT2} = t_T - q_F (1/\alpha_T + \delta/\lambda),$$

$$\text{или } t_{CT2} = t_X + q_F (1/\alpha_X).$$

Уравнение для определения температуры поверхности на стыке двух любых i -го и $i + 1$ -го слоев многослойной стенки имеет вид

$$t_{CT(i+1)} = t_T - q_F \left[1/\alpha_T + \sum_{i=1}^i (\delta_i/\lambda_i) \right].$$

Из уравнения следует, что при заданном температурном перепаде и неизменной площади поверхности теплообмена величиной, определяющей теплопередачу, является коэффициент теплопередачи k .

Интенсификация теплопередачи в теплообменных аппаратах является одним из основных путей снижения их габаритных размеров и металлоемкости. Пути интенсификации процесса передачи теплоты могут быть найдены из анализа частных составляющих коэффициента. Так, для чистой металлической стенки, толщина которой мала по сравнению с коэффициентом теплопроводности ($\delta/\lambda \rightarrow 0$), уравнение (19.5) принимает вид

$$k = 1/(1/\alpha_T + 1/\alpha_X) = (\alpha_T \alpha_X)/(\alpha_T + \alpha_X),$$

откуда следует, что значение коэффициента теплопередачи не может быть больше самого малого значения α .

Проанализируем числовой пример зависимости коэффициента k от заданных α_1 и α_2 :

$\alpha_1, \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$	10	10	50
$\alpha_2, \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$	2000	4000	2000
$k, \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$	9,95	9,99	48,78

Из этих данных можно сделать следующие выводы:

- 1) при $\alpha_1 \ll \alpha_2$ увеличение большего из коэффициентов теплоотдачи (α_2) почти не дает увеличения k .

2) коэффициент теплопередачи увеличивается примерно во столько же раз, во сколько увеличивается меньший (α_1) из коэффициентов теплоотдачи. Таким образом, при $\alpha_1 \ll \alpha_2$ можно считать, что $k \approx \alpha_1$, а при $\alpha_1 \gg \alpha_2$, что $k \approx \alpha_2$.

Теплопередающая поверхность аппаратов холодильных машин в процессе эксплуатации загрязняется как со стороны хладагента, так и со стороны хладоносителя. Коэффициенты теплопередачи после длительной эксплуатации могут снизиться на 40—50 % по сравнению с чистыми аппаратами, что объясняется большим термическим сопротивлением загрязнений.

Задача

Определить тепловой поток от газов к воздуху и поверхностную плотность потока сквозь кирпичную обмуровку котла площадью 120 м^2 и толщиной $\delta=250 \text{ мм}$, если температура газов $t_r=600^\circ\text{C}$, температура воздуха $t_x=30^\circ\text{C}$ и коэффициент теплоотдачи от газов к поверхности стенки $\alpha_1=23,6 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \text{ К})$, коэффициент теплоотдачи от поверхности стенки к наружному воздуху $\alpha_2=9,3 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \text{ К})$ и теплопроводность кирпичной обмуровки $\lambda=0,81 \text{ Вт}/(\text{м К})$. Найти также температуры на внутренней и наружной поверхностях обмуровки.