

Практическая работа №12 (4 час.)

Тема: Расчет количества теплоты, передаваемой через различные конструкции. Расчет толщины изоляционного слоя строительной конструкции. Выбор изоляции.

Цель: Получить практические навыки в определении теплового потока, проходящего через разделительную стенку различной формы, необходимую толщину изоляционного слоя, целесообразность использования той или иной изоляции.

Методические пояснения и рекомендации

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

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

Теплопередача через однослойную и многослойную плоские стенки

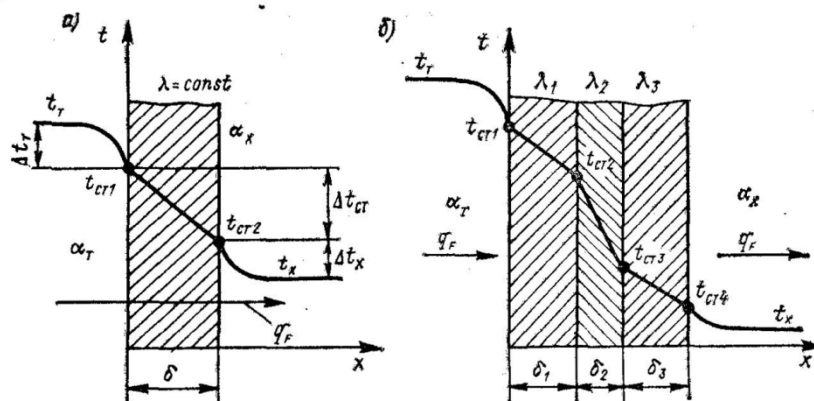


Рисунок 12.1- Теплопередача через плоские стенки

Плотность теплового потока

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

где α_T, α_X - коэффициенты теплоотдачи со стороны теплой и холодной среды, Вт/м²·К;

δ - толщина стенки, м;

λ - коэффициент теплопроводности материала стенки, Вт/м·К ;

t_x, t_T - температуры холодной и теплой сред, К;
 q_F - плотность теплового потока, Вт/м².

Откуда коэффициент теплопередачи

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

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.

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

$$t_{ст1} = t_T - q_F (1/\alpha_T); \quad t_{ст2} = t_T - q_F (1/\alpha_T + \delta/\lambda),$$

$$\text{или } t_{ст2} = t_x + q_F (1/\alpha_x).$$

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

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

Тепловой поток через стенку с поверхностью F определится по формуле, которая называется основным уравнением теплопередачи

$$\boxed{Q = q_F F = k F (t_T - t_x) = k F \theta.}$$

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

$$t_{\text{сг} (i+1)} = t_{\text{Т}} - q_{\text{Р}} \left[1/\alpha_{\text{Т}} + \sum_{i=1}^l (\delta_i/\lambda_i) \right].$$

Теплопередача через однослойную и многослойную цилиндрическую стенку

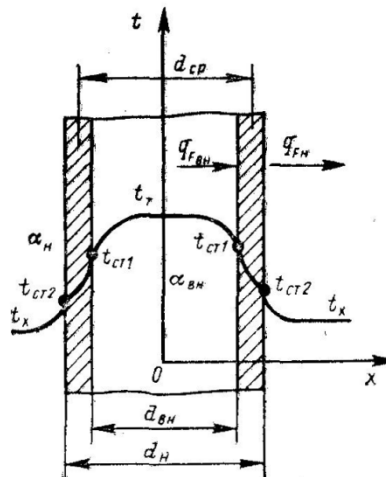


Рисунок 19.2 -Теплопередача через цилиндрическую стенку

Полный температурный напор

$$t_{\text{Т}} - t_{\text{Х}} = \frac{q_l}{\pi} \left[\frac{1}{\alpha_{\text{вн}} d_{\text{вн}}} + \frac{1}{2\lambda} \ln (d_{\text{н}}/d_{\text{вн}}) + \frac{1}{\alpha_{\text{н}} d_{\text{н}}} \right].$$

Значение линейной плотности теплового потока

$$q_l = \frac{\pi (t_{\text{Т}} - t_{\text{Х}})}{\frac{1}{\alpha_{\text{вн}} d_{\text{вн}}} + \frac{1}{2\lambda} \ln (d_{\text{н}}/d_{\text{вн}}) + \frac{1}{\alpha_{\text{н}} d_{\text{н}}}} = k_l \pi (t_{\text{Т}} - t_{\text{Х}}),$$

где k_l — линейный коэффициент теплопередачи, Вт/(м·К), показывающий, какое количество теплоты передается от одной среды к другой через цилиндрическую стенку длиной 1 м в единицу времени при разности температур сред в один градус.

$$k_l = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_{\text{вн}} d_{\text{вн}}} + \frac{1}{2\lambda} \ln (d_{\text{н}}/d_{\text{вн}}) + \frac{1}{\alpha_{\text{н}} d_{\text{н}}}}.$$

Величина, обратная линейному коэффициенту теплопередачи, называется линейным термическим сопротивлением теплопередачи:

$$R_l = \frac{1}{k_l} = \frac{1}{\alpha_{BH} d_{BH}} + \frac{1}{2\lambda} \ln(d_H/d_{BH}) + \frac{1}{\alpha_H d_H} = R_{l_{BH}} + R_{l_{CT}} + R_{l_H}.$$

В случае передачи теплоты через многослойную цилиндрическую стенку в уравнениях должны быть учтены термические сопротивления теплопроводности всех ее слоев. Тогда линейный тепловой поток, Вт/м

$$q_l = \frac{\pi (t_T - t_X)}{\frac{1}{(\alpha_{BH} d_{BH})} + \sum_{i=1}^n [1/(2\lambda_i)] \ln(d_{Hi}/d_{BH i}) + 1/(\alpha_H d_{H+1})},$$

$$q_l = k_l \pi (t_T - t_X),$$

Неизвестные температуры поверхности однослойной цилиндрической стенки находят из соотношений (19.11):

$$t_{CT1} = t_T - (q_l/\pi) [1/(\alpha_{BH} d_{BH})];$$

$$t_{CT2} = t_T - (q_l/\pi) \{1/(\alpha_{BH} d_{BH}) + [1/(2\lambda)] \ln(d_H/d_{BH})\}.$$

Тепловой изоляцией называют любое покрытие, способствующее уменьшению теплового потока через данную поверхность.

Для правильного выбора типа изоляционного материала необходимо, чтобы $d_{кр} \leq d_H$ или $2\lambda_{из}/\alpha_H \leq d_H$. Тогда

$$\lambda_{из} \leq \alpha_H d_H / 2.$$

Толщина слоя теплоизоляции ограждающих конструкций холодильных объектов определяется из уравнения :

$$\delta_{из} = \lambda \left[1/k_0 - \left(1/\alpha_T + \sum_{i=1}^n \delta_i/\lambda_i + 1/\alpha_X \right) \right],$$

где k_0 — нормативный коэффициент теплопередачи (СНиП 105—74).

Теплопередача через ребреные поверхности

Отношение большей площади поверхности стенки к меньшей называется *коэффициентом ребрения* β :

$$\beta = F_2/F_1.$$

Коэффициент теплопередачи оребренной стенки

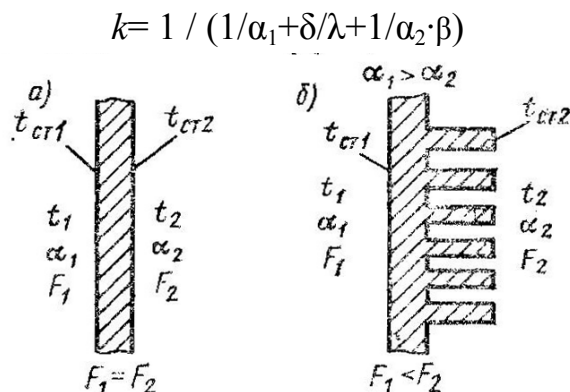


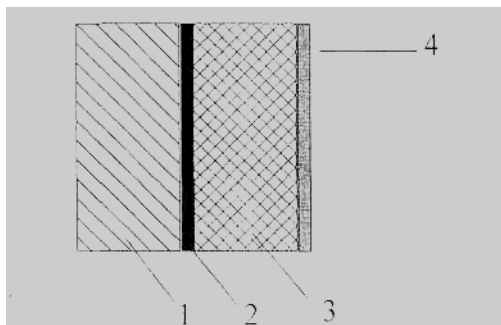
Рисунок 12.3 - Оребрение поверхности: а — плоская стенка; б — оребренная стенка

Исходные данные (задание):

1. По условиям задач 1 - рассчитать требуемые величины.
2. Ответить письменно на контрольные вопросы.

Вариант1

1. Определить тепловой поток через наружную стену холодильника размером 40 х 6 м. Температура наружного воздуха $t_{cp1} = 28^\circ\text{C}$, температура воздуха в холодильнике $t_{cp2} = -20^\circ\text{C}$. Конструкция стены холодильника показана на рис.1. Коэффициенты теплоотдачи от наружного воздуха к стене $\alpha = 23,3 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{K})$; от внутренних стен к воздуху в холодильнике $\alpha_2 = 10,5 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{K})$.



- 1 - стена холодильника [$\delta = 250 \text{ мм}$; $\lambda = 1,28 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{K})$];
- 2 - пароизоляция [$\delta = 5 \text{ мм}$; $\lambda = 0,82 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{K})$];
- 3 - теплоизоляция [$\delta = 250 \text{ мм}$; $\lambda = 0,05 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{K})$];

4 – штукатурка $[\delta = 20 \text{ мм}; \lambda = 0,78 \text{ Вт/(м·К)}]$.

Рисунок 1 - Конструкция стены холодильника:

2. Определить необходимую толщину перегородки из пенобетона для камер холодильника с близкими температурами. Коэффициент теплопередачи $k = 0,58 \text{ Вт/(м}^2\text{К)}$, коэффициенты теплоотдачи $\alpha_1 = \alpha_2 = 8 \text{ Вт/(м}^2\text{К)}$. Перегородка покрыта с обеих сторон слоем штукатурки толщиной 20 мм.

3. По изолированному стальному трубопроводу диаметром 57 x 3,5 мм течет холодильный агент с температурой минус 25 °С, коэффициент теплоотдачи от воздуха к поверхности трубопровода $\alpha_1 = 12,5 \text{ Вт/(м}^2 \text{ К)}$. Изоляцией служит слой минеральной ваты толщиной 100 мм. Определить потери холода с изоляцией и без нее.

4. Определить целесообразность использования волокнистого асбеста для теплоизоляции трубопровода диаметром $d_1/d_2 = 18/20 \text{ мм}$, если коэффициент теплоотдачи в окружающую среду с внешней поверхности изоляции $\alpha_2 = 8 \text{ Вт/(м}^2 \text{ К)}$.

Каким должен быть максимальный коэффициент теплопроводности изоляции, используемый для этой цели?

Вариант 2

1. Стена здания выполнена из строительного кирпича толщиной 350мм, с обеих сторон покрыта штукатуркой толщиной 20мм. Коэффициенты теплоотдачи: от наружного воздуха к стене $\alpha_1=25,4 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \text{ К})$, от стены к воздуху в помещении $\alpha_2=8,5 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \text{ К})$. Температура наружного воздуха минус 30°C , температура воздуха внутри здания 22°C . Определить тепловой поток и температуру внутренней поверхности стены.

2. Кожухотрубный конденсатор холодильной установки изготовлен из стальных труб диаметром 37х3,5мм. При эксплуатации, трубы конденсатора покрылись снаружи осадком из загрязненного масла толщиной 0,25мм ($\lambda=0,14 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \text{ К})$), а изнутри - слоем «водяного камня» толщиной 1,1мм ($\lambda=1,7 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \text{ К})$). Коэффициенты теплоотдачи от холодильного агента к трубе $\alpha_1=3500 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \text{ К})$, от внутренней поверхности к воде $\alpha_2=2250 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \text{ К})$. Определить коэффициенты теплопередачи для чистой и загрязненной труб. Во сколько раз изменится производительность конденсатора в результате загрязнений?

3. Плоская металлическая стенка толщиной 5мм омывается с одной стороны водой ($\alpha_1=300 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \text{ К})$) и с другой стороны воздухом ($\alpha_2=8 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \text{ К})$). Температура воды 85°C , а воздуха - 18°C . Определить, как изменится плотность теплового потока, если со стороны воздуха стенку обрешить с коэффициентом $\beta=1,6$.

4. На поверхности трубопроводов для холодильного агента диаметром 18 и 32мм нанесена изоляция из минеральной ваты. Коэффициент теплоотдачи от воздуха к трубопроводу равен $21,4 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \text{ К})$. Правильно ли подобрана изоляция?

Порядок выполнения работы:

1. Выполнить задание в соответствии с данными своего варианта (чет., нечет.)
2. Ответить письменно на контрольные вопросы.

Контрольные вопросы

1. Что называется теплопередачей?
2. Какие величины влияют на коэффициент теплопередачи?
3. Что называется тепловой изоляцией?
4. Запишите правило выбора тепловой изоляции.
5. Что называется коэффициентом оребрения?
6. Запишите формулу для определения толщины изоляционного слоя.