

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 ребреные 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/>

3 Тепловая изоляция. Критический диаметр изоляции

Тепловой изоляцией называют любое покрытие, способствующее уменьшению теплового потока через данную поверхность. В качестве изоляционных применяют материалы как органического, так и неорганического происхождения с коэффициентом теплопроводности 0,35—0,015 Вт/(м·К).

Рациональная толщина слоя теплоизоляции зависит от эффективности применяемого изоляционного материала и его стоимости. Рассмотрим факторы, влияющие на передачу теплоты через слой изоляции, на примере стального изолированного трубопровода. Линейное термическое сопротивление в соответствии с формулой

$$R_l = 1/(\alpha_{вн}d_{вн}) + [1/(2\lambda_{ст})] \ln(d_{из}/d_{вн}) + \\ + [1/(2\lambda_{из})] \ln(d_{из}/d_{н}) + 1/(\alpha_{н}d_{н}),$$

где четыре слагаемых правой части уравнения представляют собой соответственно термические сопротивления теплоотдачи внутри трубы, теплопроводности стенки, теплопроводности изоляции, теплоотдачи на наружной поверхности теплоизоляции.

Первое и второе слагаемые правой части уравнения не зависят от изменения наружного диаметра изоляции $d_{из}$. На графике (рис.3.4.3, а) сумма этих сопротивлений ($R_{л1} + R_{л2}$) изображается прямой, параллельной оси абсцисс. Третье слагаемое $R_{л3}$ — сопротивление теплопроводности изоляции с ростом ее толщины возрастает, а последнее $R_{л4}$ — сопротивление теплоотдачи на наружной поверхности с ростом $d_{из}$ уменьшается.

Таким образом, при наложении слоя тепловой изоляции на трубу происходит не только уменьшение тепловых потерь, связанных с дополнительным сопротивлением слоя изоляции, но одновременно улучшается отвод теплоты от внешней поверхности в окружающую среду за счет увеличения площади наружной поверхности. Следовательно, суммарный тепловой поток через изолированную трубу может как увеличиваться, так и уменьшаться.

Кривая суммарных термических сопротивлений R_l в точке 2 имеет явно выраженный минимум. Если учесть, что термическое сопротивление обратно пропорционально коэффициенту теплопередачи, то минимальному термическому сопротивлению R_{lmin} в точке 2 будет соответствовать максимальная плотность теплового потока q_{lmax} , точка 2₀.

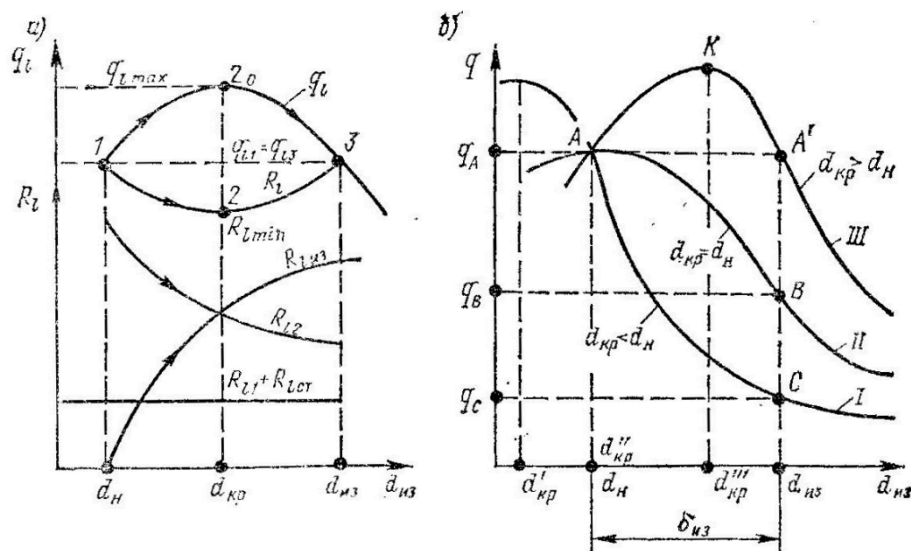


Рисунок 3.4.3- К определению критического диаметра теплоизоляции

Значение внешнего диаметра теплоизоляции, при котором тепловой поток достигает максимального значения, называется *критическим диаметром изоляции*.

Из рис.3.4.3 , а следует: 1) при $d_{из} < d_{кр}$ увеличение толщины изоляции приводит к возрастанию теплового потока по сравнению с неизолированным трубопроводом (точка 1), т. е. к росту тепловых потерь, которые при $d_{из} = d_{кр}$ достигают максимума; 2) при $d_{из} > d_{кр}$ увеличение толщины изоляции приводит к уменьшению теплового потока, 3) при $d_{из}$ (точка 3) тепловой поток становится равным тепловому потоку неизолированного трубопровода: $q_{II} = q_{I3}$. Это значит, что слой изоляции $\delta_{из} = 0,5 (d_{из} - d_{н})$ установлен напрасно, т. е. изоляционный материал выбран неверно.

Наружный диаметр изоляции $d_{из} = d_{кр}$ экстремальной точке 2 может быть определен из уравнения, если взять первую производную от R_l по $d_{из}$ и приравнять ее к нулю:

$$\frac{\partial R_l}{\partial d_{из}} = \frac{1}{2\lambda_{из}d_{из}} - \frac{1}{\alpha_{н}d_{из}^2},$$

откуда

$$\boxed{d_{из} = 2\lambda_{из}/\alpha_{н} = d_{кр}.}$$

Из выражения следует, что критический диаметр теплоизоляции $d_{кр}$

зависит только от теплопроводности изоляционного материала $\lambda_{из}$ и коэффициента теплоотдачи $\alpha_{н}$ от наружной поверхности изоляции к окружающей среде и совершенно не зависит от размеров трубопровода.

Поэтому для одной и той же трубы диаметра d_n в зависимости от применяемого изоляционного материала (кривые *I*, *II*, *III* на рис.3.4.3 , б) критический диаметр изоляции может иметь различные значения: $d_{кр}$, $d''_{кр}$, $d'''_{кр}$.

Из графика видно: 1) при одной и той же толщине слоя теплоизоляции $\delta_{из}$ наибольшее уменьшение теплового потока достигается при изоляционном материале, для которого $d_{кр} < d_n$; действительно, $q_A = q'_A > q_B > q_C$; 2) толщину изоляции трубопровода следует увеличивать только до тех пор, пока происходит резкое снижение теплового потока, так как дальнейшее увеличение слоя изоляции малоэффективно. Следовательно, для правильного выбора типа изоляционного материала необходимо, чтобы $d_{кр} \leq d_n$ или $2\lambda_{из}/\alpha_n \leq d_n$. Тогда

$$\lambda_{из} \leq \alpha_n d_n / 2.$$

Из неравенства следует, что чем меньше диаметр изолируемого трубопровода, тем более эффективной должна быть теплоизоляция, т.е. тем меньше должен быть ее коэффициент теплопроводности.

В случае установки теплоизоляции на плоской стенке не возникает вопроса о принципиальной пригодности того или другого материала. Любой изоляционный материал будет уменьшать тепловой поток, так как размеры площади поверхности теплопередачи в направлении теплового потока не изменяются ($q_F = \text{const}$). 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).