

Щербин Сергей Анатольевич,

к.т.н., доцент, Ангарский государственный технический университет,

e-mail: dekan_ftk@angtu.ru

Глотов Валерий Андреевич,

студент гр. ТМ-24-1, Ангарский государственный технический университет,

e-mail: valera.glotov.2002@mail.ru

ПОДБОР МАТЕРИАЛА И РАСЧЁТ ТОЛЩИНЫ ТЕПЛОВОЙ ИЗОЛЯЦИИ

Shcherbin S.A., Glotov V.A.

SELECTION OF MATERIAL AND THICKNESS OF THERMAL INSULATION

Аннотация. Рассмотрена методика подбора материала, применяемого в качестве тепловой изоляции, и расчёта его толщины.

Ключевые слова: тепловая изоляция, термическое сопротивление, тепловые потери.

Abstract. The methods of selecting the material used as thermal insulation and its thickness are considered.

Keywords: thermal insulation, thermal resistance, heat loss.

Тепловая изоляция находит широкое применение в нефтехимической промышленности для уменьшения тепловых потерь, что является важным экономическим фактором при проектировании технологических аппаратов и трубопроводов. Кроме того, использование теплоизоляции способствует надежному проведению адиабатных, изотермических, экзотермических и других специфических химико-технологических процессов, а также защите оборудования от коррозии за счет предотвращения образования конденсата.

Не менее важным фактором является обеспечение безопасных условий труда для рабочего персонала. В соответствии с данными таблицы 1 [1], температура наружной поверхности тепловой изоляции для аппаратов, расположенных в рабочей или обслуживаемой зонах помещений, не должна превышать 35-55 °С. Температура наружной поверхности тепловой изоляции оборудования, расположенного на открытом воздухе в рабочей или обслуживаемой зоне, должна быть не выше 60 °С. Для трубопроводов, расположенных за пределами рабочей или обслуживаемой зоны, температура наружной поверхности тепловой изоляции не должна превышать температурных пределов применения материалов покровного слоя, и не должна быть выше 75 °С.

К материалам для тепловой изоляции предъявляются следующие требования: значение коэффициента теплопроводности не должно превышать 0,12 Вт/(м·К) при 25°С; малая плотность (менее 400 кг/м³) за счет высокой пористости; низкая гигроскопичность; высокая удельная массовая теплоемкость (не менее 800 Дж/(кг·К)); термостойкость, механическая прочность, достаточная пластичность; пожаробезопасность (при горении материала не должны выделяться вредные и ядовитые вещества); отсутствие собственного запаха и невосприимчивость к посторонним запахам; доступность, дешевизна и долговечность материала.

Допускаемая температура изолируемых поверхностей,
расположенных в рабочей или обслуживаемой зонах помещений

Температура технологической среды в аппарате (трубопроводе), °С	Температура наружной поверхности тепловой изоляции, °С, не более
выше 500 °С	55
от 150 до 500 °С	45
150 °С и ниже	40
температура вспышки паров ниже 45 °С	35

В работе [2] рассмотрены основные положения, которые следует учитывать при подборе материала тепловой изоляции. Показано, что при подборе материала для тепловой изоляции следует определить ее критический диаметр $(d_T)_{кр}$ и проверить условие целесообразности применения выбранного материала:

$$(d_T)_{кр} = \frac{2\lambda_T}{\alpha_0} \leq d_H, \quad (1)$$

где λ_T – коэффициент теплопроводности материала тепловой изоляции, Вт/(м·К); α_0 – коэффициент теплоотдачи от наружной поверхности изоляции к окружающей среде (атмосферному воздуху), Вт/(м²·К); d_H – наружный диаметр изолируемой поверхности, м.

Известно, что увеличение толщины теплоизоляционного слоя не приводит к пропорциональному уменьшению тепловых потерь, так как в этом случае помимо увеличения термического сопротивления теплопередачи стенки возрастает площадь наружной поверхности теплообмена с окружающей средой [3]. Критический диаметр тепловой изоляции соответствует минимальному значению полного термического сопротивления или, другими словами, максимальным потерям теплоты через наружную поверхность. Если условие (1) не выполняется, то следует выбрать другой материал с меньшим коэффициентом теплопроводности.

В настоящей работе рассмотрен подход к определению материала и толщины тепловой изоляции. Схематический разрез стенки аппарата, покрытого тепловой изоляцией, изображен на рисунке 1. Задача заключается в подборе материала и определении толщины тепловой изоляции s_T для аппарата с внутренним диаметром $d = 1300$ мм, в котором происходит конденсация водяного пара при температуре $t_1 = 152$ °С, чтобы при температуре окружающего воздуха $t_5 = 20$ °С температура наружной поверхности изоляции t_4 не превышала 40°С.

В качестве материала тепловой изоляции выбираем стеклянную вату с коэффициентом теплопроводности $\lambda_T = 0,05$ Вт/(м·К). Проверим условие (1) целесообразности использования выбранного материала тепловой изоляции:

$$\frac{2 \cdot 0,05}{10} \leq 1,308;$$

0,01 м < 1,308 м, условие выполняется,

где $5 \leq \alpha_0 \leq 15$ Вт/(м²·К) – коэффициент теплоотдачи от поверхности изоляции к воздуху (ламинарное движение); $d_H = d + 2s = 1,308$ м – наружный диаметр аппарата, м; $s = 0,004$ м – толщина стенки аппарата.

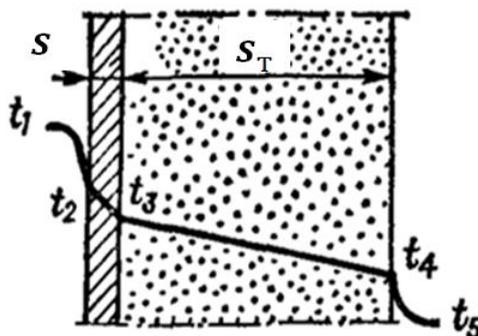


Рисунок 1 – Разрез стенки аппарата, покрытого тепловой изоляцией.

При стационарном режиме, согласно закону сохранения энергии, плотность теплового потока q_0 в окружающую среду будет одинакова для всех этапов теплопередачи, соответственно:

$$\frac{\lambda_T}{s_T} \cdot (t_3 - t_4) = K_0(t_1 - t_5), \quad (2)$$

где K_0 – коэффициент теплопередачи от горячего теплоносителя в окружающую среду через двухслойную стенку, Вт/(м² · К):

$$K_0 = \left(\frac{1}{\alpha_1} + R_1 + \frac{s}{\lambda} + \frac{s_T}{\lambda_T} + \frac{1}{\alpha_0} \right)^{-1}, \quad (3)$$

где $\alpha_1 = 10^4$ Вт/(м²·К) – коэффициент теплоотдачи от конденсирующегося водяного пара к внутренней поверхности аппарата; $R_1 = 10^{-4}$ м² · К/Вт – термическое сопротивление загрязнений на стенке со стороны конденсирующегося пара; $\lambda = 17,5$ Вт/(м · К) – коэффициент теплопроводности для конструкционного материала стенки аппарата (нержавеющей стали).

В первом приближении температуру наружной поверхности стенки аппарата t_3 принимаем равной температуре водяного пара в аппарате $t_3 = t_1 = 152$ °С, а температуру наружной поверхности изоляции t_4 – равной заданному допустимому значению $t_4 = 40$ °С.

Подставим в (2) известные величины и выразим искомую толщину тепловой изоляции:

$$s_T = 0,028 \text{ м} = 28 \text{ мм}.$$

Полученное значение толщины округлим до стандартного значения $s_T = 0,05$ м.

Определим по (3) величину коэффициента теплопередачи с учетом выбранной толщины тепловой изоляции:

$$K_0 = \left(\frac{1}{10^4} + 1 \cdot 10^{-4} + \frac{0,004}{17,5} + \frac{0,05}{0,05} + \frac{1}{10} \right)^{-1} = 0,91 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К}).$$

Рассчитаем плотность теплового потока в окружающую среду:

$$q_0 = K_0 \cdot (t_1 - t_5) = 0,91 \cdot (152 - 20) = 120,1 \text{ Вт}/\text{м}^2.$$

Выразим температуру внутренней поверхности стенки аппарата:

$$t_2 = t_1 - \frac{q_0}{\alpha_{\text{п}}} = 152 - \frac{120,1}{10^4} = 151,98 \text{ }^\circ\text{С}.$$

Температура наружной поверхности стенки аппарата:

$$t_3 = t_2 - \frac{q_0 \cdot s_{\text{руб}}}{\lambda_{\text{руб}}} = 151,98 - \frac{120,1 \cdot 0,004}{17,5} = 151,96 \text{ }^\circ\text{С}.$$

Температура наружной поверхности изоляции составит:

$$t_4 = t_5 + \frac{q_0}{\alpha_0} = 20 + \frac{120,1}{10} = 32 \text{ }^\circ\text{С}.$$

Полученное значение не превышает заданного допустимого значения температуры наружной поверхности тепловой изоляции 40 °С.

В нормативной литературе [4] приводятся значения предельной толщины теплоизоляционных конструкций для оборудования и трубопроводов в зависимости от диаметра изолируемой поверхности и температуры. Так, для аппаратов и трубопроводов с наружным диаметром 1020 мм и более предельная толщина теплоизоляционного слоя составляет 320 мм.

В случае, если расчетная толщина изоляции больше предельной, следует принимать более эффективный теплоизоляционный материал и ограничиться предельной толщиной тепловой изоляции, если это допустимо по условиям технологического процесса.

Таким образом, рассмотренный в работе подход позволяет обоснованно подобрать материал и толщину слоя тепловой изоляции.

ЛИТЕРАТУРА

1. СП 60.13330.2012. Свод правил. Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха. Актуализированная редакция СНиП 41-01-2003. – М.: Минрегион России, 2012.
2. **Щербин, С.А.** Подбор материала для устройства тепловой изоляции / С.А. Щербин, В.А. Готов // Современные технологии и научно-технический прогресс. – 2021. – Т. 1, № 8. – С. 103-104.
3. **Варфоломеев, Б.Г.** Тепловая изоляция аппаратов / Б.Г. Варфоломеев, В.В. Карасев. – Москва : МИТХТ, 2000. – 61 с.
4. СП 61.13330.2012. Свод правил. Тепловая изоляция оборудования и трубопроводов. Актуализированная редакция СНиП 41-03-2003. – М.: Минрегион России, 2012.