

Щербин Сергей Анатольевич,
к.т.н., доцент, Ангарский государственный технический университет,
e-mail: dekan_ftk@angtu.ru

Готов Валерий Андреевич,
обучающийся, Ангарский государственный технический университет,
e-mail: valera.gotov.2002@mail.ru

ОБОСНОВАНИЕ ВЫБОРА ТОЛЩИНЫ ТЕПЛОЙ ИЗОЛЯЦИИ

Shcherbin S.A., Glotov V.A.

JUSTIFICATION OF THE CHOICE OF THERMAL INSULATION THICKNESS

Аннотация. Рассмотрена методика определения оптимальной толщины тепловой изоляции из условия минимизации приведенных годовых затрат.

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

Abstract. The method of determining the optimal thickness of thermal insulation from the condition of minimizing the unit annual costs is considered.

Keywords: optimization, thermal insulation, thermal resistance, heat loss.

Практический интерес представляет обоснование выбора толщины тепловой изоляции. Оптимальная толщина может быть рассчитана из условия минимальных приведенных затрат [1]. Представим приведенные годовые затраты на устройство 1 м² тепловой изоляции Z , руб/(м²·год), в следующем виде:

$$Z = EK + \Xi, \quad (1)$$

где K – капитальные затраты, руб/м²; E – коэффициент эффективности капиталовложений, год⁻¹; Ξ – эксплуатационные затраты, руб/(м²·год).

Капитальные затраты на 1 м² теплоизолированной поверхности в наибольшей степени определяются стоимостью материала, которая, в свою очередь, зависит от необходимого термического сопротивления слоя теплоизоляции, обеспечивающего допустимую величину потерь теплоты:

$$K = \delta_T C_T = R_T \lambda_T C_T, \quad (2)$$

где δ_T – толщина слоя теплоизоляции, м; C_T – стоимость материала, руб/м³; $R_T = \delta_T / \lambda_T$ – термическое сопротивление слоя тепловой изоляции, м²К/Вт.

Эксплуатационные затраты определяются стоимостью тепловой энергии, теряемой через 1 м² теплоизолированной поверхности в течение 1 года:

$$\Xi = (t_{cp} - t_0) \tau C_Q / R, \quad (3)$$

где t_{cp} и t_0 – температуры горячей среды и окружающего воздуха, °С; τ – продолжительность работы за год, ч/год; C_Q – удельная стоимость тепловой энергии, руб/(Вт·ч); R – полное термическое сопротивление многослойной теплоизолированной стенки, м²К/Вт:

$$R = R_{cp} + \sum_{i=1}^n R_i + R_T + R_0, \quad (4)$$

где $R_{cp} = 1/\alpha_{cp}$ – термическое сопротивление теплоотдачи от горячей среды к внутренней поверхности стенки; R_i – термическое сопротивление теплопроводности i -го слоя стенки; $R_0 = 1/\alpha_0$ – термическое сопротивление теплоотдачи от наружной поверхности теплоизолированной стенки к окружающему воздуху.

Запишем выражение (4) в виде

$$R = \sum_{j=1}^m R_j + R_T, \quad (5)$$

где $\sum_{j=1}^m R_j$ – сумма термических сопротивлений теплоотдачи и теплопроводности всех слоев стенки, кроме слоя теплоизоляции, $m^2 \cdot K/Вт$.

Тогда

$$\Xi = \frac{(t_{cp} - t_0)\tau C_Q}{\sum_{j=1}^m R_j + R_T}, \quad (6)$$

и приведенные затраты на тепловую изоляцию составят:

$$Z = E R_T \lambda_T C_T + \frac{(t_{cp} - t_0)\tau C_Q}{\sum_{j=1}^m R_j + R_T}. \quad (7)$$

Определим первую производную функции (7) по R_T , приравняем ее к нулю и выразим оптимальное значение термического сопротивления теплоизоляции $(R_T)_{opt}$, при котором затраты будут минимальными (при условии, что вторая производная функции положительная):

$$\frac{d(Z)}{d(R_T)} = E \lambda_T C_T - \frac{(t_{cp} - t_0)\tau C_Q}{(\sum_{j=1}^m R_j + R_T)^2} = 0; \quad (8)$$

$$(R_T)_{opt} = \sqrt{\frac{(t_{cp} - t_0)\tau C_Q}{E \lambda_T C_T}} - \sum_{j=1}^m R_j. \quad (9)$$

Проверим условие минимума функции:

$$\frac{d^2(Z)}{d(R_T)^2} > 0; \quad (10)$$

$$\frac{d^2(Z)}{d(R_T)^2} = \frac{2(t_{cp} - t_0)\tau C_Q}{(\sum_{j=1}^m R_j + R_T)^3} > 0, \quad (11)$$

условие выполняется.

Выразим оптимальную толщину слоя тепловой изоляции:

$$(\delta_T)_{opt} = (R_T)_{opt} \lambda_T = \left(\sqrt{\frac{(t_{cp} - t_0)\tau C_Q}{E \lambda_T C_T}} - \sum_{j=1}^m R_j \right) \lambda_T. \quad (12)$$

Использование полученного выражения позволяет обоснованно выбрать толщину слоя тепловой изоляции.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Щербин, С.А.** Оптимальная толщина тепловой изоляции / С.А. Щербин, В.А. Глотов, А.А. Глотов // Современные технологии и научно-технический прогресс. – 2022. – Т. 1. – № 9 – С. 85-86.