

УДК 674.05

© М.В. Вржеш, к.т.н., В.С. Пенкаля, А.В. Шульган
Луцький національний технічний університет

ВИБІР ТЕПЛОІЗОЛЯЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ ЗА ТЕРМІЧНИМ ОПОРОМ ТА ВАРТІСТЮ

У статті виконано порівняльний аналіз ефективності використання сучасних теплоізоляційних матеріалів за їх термічним опором та вартістю.

**ТЕПЛОПРОВІДНІСТЬ, ТЕРМІЧНИЙ ОПІР, ТЕПЛОВІ
ВТРАТИ, ТЕПЛОІЗОЛЯЦІЙНІ МАТЕРІАЛИ, ТЕПЛОНОСІЇ**

Постановка проблеми. У технологічних процесах деревообробних виробництв часто використовують прогрівання та охолодження обладнання при пускові, зупинці або зміні режиму [1]. Зменшення теплових втрат у трубопроводах являється актуальною проблемою, оскільки при виборі матеріалу та товщини шару ізоляції необхідно враховувати як їх термічний опір, так і вартість.

Аналіз останніх досліджень і публікацій [1-3] свідчить про те, що досить широкий асортимент теплоізоляційних матеріалів потребує врахування певних їх особливостей, зокрема теплофізичних характеристик та товщини шару ізоляції.

Зменшення теплових втрат шляхом збільшення товщини шару ізоляції має обмеження, оскільки зі зростанням зовнішнього діаметра до деякого критичного значення, зростають також теплові втрати циліндричної стінки [1].

Рекомендації щодо знаходження критичного діаметра ізоляції важко реалізувати для технологічного устаткування деревообробних виробництв, так як існують конструкційні обмеження на розташування внутрішніх теплопроводів.

Мета дослідження – проаналізувати доцільність застосування різних теплоізоляційних систем за їх термічним опором та вартістю.

Результати дослідження. Повний термічний опір багат шарової циліндричної стінки можна визначити за формулою:

$$R_t = \frac{1}{\alpha_1 \cdot \pi \cdot d_1} + \sum_{i=1}^n \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot \lambda_i} \cdot \ln \frac{d_{i+1}}{d_i} + \frac{1}{\alpha_n \cdot \pi \cdot d_n} = R_{t,1} + R_{t,c} + R_{t,n}, \quad (1)$$

де d_1 і d_n – внутрішній та зовнішній діаметри циліндричної стінки; α_1 і α_n – коефіцієнти тепловіддачі на поверхнях циліндричної стінки зі сторони гарячого та холодного теплоносіїв; λ_i – коефіцієнти теплопровідності окремих шарів.

Із формули (1) видно, що повний термічний опір багат шарової циліндричної стінки є сумою окремих термічних опорів: $R_{t,1}$ – термічний опір тепловіддачі зі сторони гарячого теплоносія; $R_{t,c}$ – термічний опір багат шарової циліндричної стінки; $R_{t,n}$ – термічний опір тепловіддачі зі сторони холодного теплоносія.

За умови $d_1 = const$ та збільшенням d_n зростає термічний опір $R_{t,c}$, однак зменшується термічний опір $R_{t,n}$. Такий подвійний характер повного термічного опору R_t означає, що існує таке значення d_n , при якому R_t набуває екстремальної величини. Прирівнявши першу похідну від повного опору R_t по діаметру d_n , до нуля, одержимо:

$$\frac{dR_t}{d(d_n)} = \frac{1}{2 \cdot \lambda_1 \cdot d_n} - \frac{1}{\alpha_n \cdot d_n^2} = 0, \quad (2)$$

звідки

$$d_n = d_{кр.} = \frac{2 \cdot \lambda_1}{\alpha_n}. \quad (3)$$

За об'єкт досліджень було взято фрагмент трубчастої теплопровідної системи підігріву плит мембранного преса (рис. 1) та сучасні теплоізоляційні матеріали: керамічне покриття “Термосилат” (рис. 2), полотно фольговане “Теплоізол” (рис. 3), циліндр базальтовий “Техноніколь” (рис. 4).

Теплофізичні характеристики теплоносіїв, фрагменту трубчастої теплопровідної системи, теплоізоляційних матеріалів зведені до таблиць 1-3.

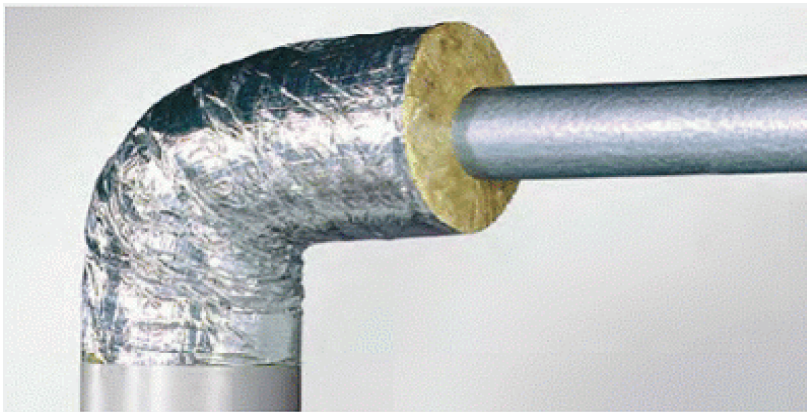


Рис. 1 – Фрагмент трубчастої теплопровідної системи мембранного преса



Рис. 2 – Керамічне покриття “Термосилат”



Рис. 3 – Полотно фольговане “Теплоізол”



Рис. 4 – Циліндр базальтовий “Техноніколь”

Таблиця 1 - Характеристики теплоносіїв

Тип теплоносія	Густина $\rho, \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$	Ізобарна теплоємність $c_{pm}, \frac{\text{кДж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$	Температура, К	Тиск, Па	Стан середовища
повітря	1,225	1,006	366	100325	Статичний
олива (Thermia Oil B, Shell)	797,8	2,2458	393	$2,8 \cdot 10^5$	Динамічний (турбулентний)

Таблиця 2 - Характеристики фрагменту трубчастої теплопровідної системи

Матеріал	Зовнішній діаметр d_2 , мм	Внутрішній діаметр d_1 , мм	Коефіцієнт теплопровідності λ , Вт/м·К	Коефіцієнт тепловіддачі на внутрішній поверхні α_1 , Вт/м ² ·К	Коефіцієнт тепловіддачі на зовнішній поверхні α_2 , Вт/м ² ·К
Сталь	48	40	51	3045,5	5

Таблиця 3 - Характеристики теплоізоляційних матеріалів

Матеріал	Зовнішній діаметр d_n , мм	Внутрішній діаметр d_l , мм	Коефіцієнт теплопровідності λ , Вт/м·К	Коефіцієнт тепловіддачі на зовнішній поверхні α_2 , Вт/м ² ·К	Вартість
Керамічне покриття "Термосилат"	49;50;51	48	0,0022	0,022	90 грн/л
Полотно "Теплоізол"	58;68;78	48	0,038	8	18,6 грн/м.п.
Циліндр базальтовий "Техноніколь"	68	48	0,048	8	17 грн/шт.
	78				24 грн/шт.
	88				29 грн/шт.

Спочатку було досліджено залежність між повним термічним опором та його складовими від зміни діаметра зовнішньої поверхні циліндричної стінки без використання ізоляції (рис. 5). Аналізуючи отримані результати, слід зазначити: по-перше, повний термічний опір практично повністю залежить від термічного опору тепловіддачі на зовнішній поверхні; по-друге, збільшення товщини стінки в досліджуваному діапазоні зовнішніх діаметрів є недоцільним; по-третє, критичний діаметр циліндричної неізольованої стінки $d_{кр} = 20,4$ м.

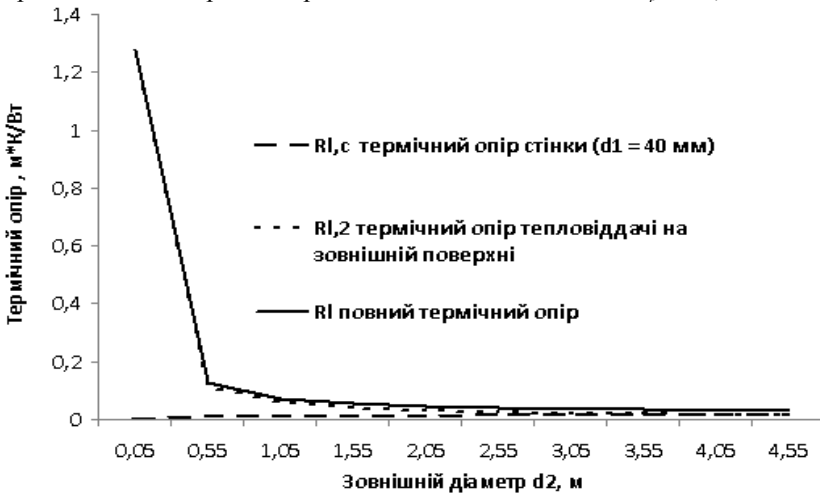


Рис. 5 – Графіки функцій $R_{1,c}=f(d_2)$, $R_{1,2}=f(d_2)$, $R_1=f(d_2)$.

Таким чином, використання теплоізолюючих матеріалів являється єдиною можливістю зменшити теплові втрати у системах теплопроводів деревообробного устаткування.

Далі було досліджено ефективність використання сучасних теплоізолюючих матеріалів за термічним опором та вартістю. Результати досліджень зведені до таблиці 4, а три найкращі варіанти (виділено жирним шрифтом) вибрано для побудови гістограм (рис. 6).

Таблиця 4 - Результати дослідження сучасних теплоізолюючих матеріалів

Матеріал	Товщина шару, мм	Повний термічний опір, м·К/Вт	Питома вартість ізоляції, грн/м	Узагальнений показник, грн/(м·К/Вт)
Сталь	4	1,33	-	-
Керамічне покриття “Термосилат”	0,5	25,64	7,07	0,2756
	1	30,49	14,4	0,4723
	1,5	33,37	21,74	0,6514
Полотно “Теплоізол”	5	23,22	14,6	0,6287
	10	26,12	29,76	1,1393
	15	27,82	45,57	1,6383
Циліндр базальтовий “Техноніколь”	10	21,72	17	0,7826
	15	23,12	24	1,0379
	20	24,12	29	1,2024

Висновки. Аналіз результатів дослідження вказує на те, що використання в якості теплоізоляційного матеріалу термосилату з шаром 1 мм є найбільш ефективним засобом термоізоляції. Деяко нижчий показник термічного опору зафіксовано для термосилату з шаром 0,5 мм. Третій за рівнем показник відноситься до теплоізолу з шаром 5 мм. Однак, з огляду на вартість зазначених матеріалів, доцільніше використовувати все ж термосилат з шаром 0,5 мм, оскільки це дозволяє термоізувати вдвічі більше за площею поверхню за близьких показників термічного опору.

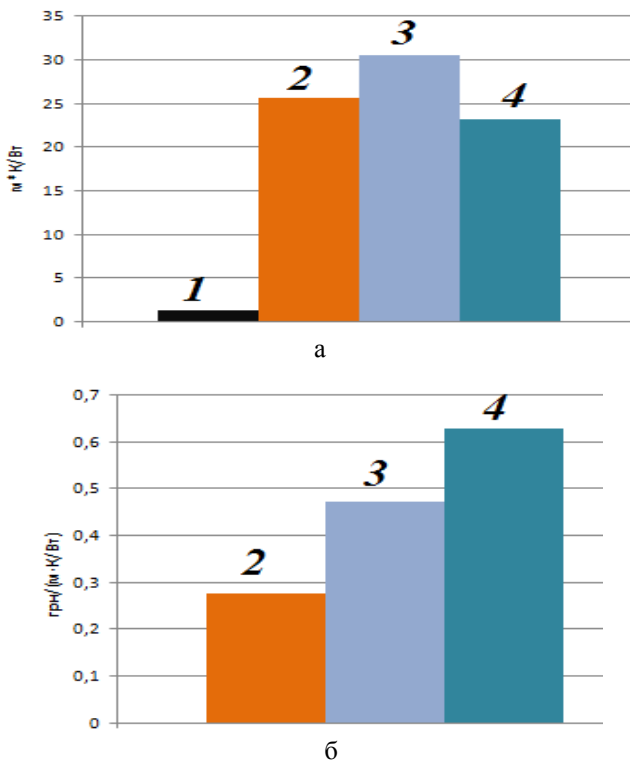


Рис. 6 - Графічна інтерпретація результатів дослідження: а – розподіл термічних опорів; б – розподіл питомих вартостей; 1 – сталь; 2 – термосилат, шар 0,5 мм; 3 – термосилат, шар 1 мм; 4 – теплоізол, шар 5 мм

Література

1. Чечеткин А.В., Занемонец Н.А. Теплотехника: Учеб. для хим.-технол. спец. вузов. – М.: Высш. шк.; 1986. – 344 с.
2. В.Х. Драганов, О.С. Бессараб, А.А. Долінський та ін. Теплотехніка: Підручник – 2-е вид., перероб. І доп. – Київ: Фірма “ІНКОС”, 2005. – 400с.
3. Хижняков С.В. Практичні розрахунки теплової ізоляції. – М: Енергія, 1976.

Рецензент д.т.н., проф. М.П. Ярошевич