

УДК 629.463.12

*Михайло Кельріх  
Вадим Іщенко  
Надія Брайковська  
Віктор Осьмак*

**ОЦІНКА ТЕПЛОЗАХИСНИХ ЯКОСТЕЙ ЛОКАЛЬНИХ ДІЛЯНОК  
В ОГОРОДЖЕННІ КУЗОВА КРИТИХ ВАГОНІВ З  
ТЕПЛОІЗОЛЯЦІЄЮ**

*У статті, на підставі розрахунку місцевого кондуктивного опору, надана оцінка теплозахисних якостей локальних ділянок в огороженні кузова критих вагонів з теплоізоляцією.*

*В статье, на основании расчета местного кондуктивного сопротивления, дана оценка теплозащитных качеств локальных участков в ограждении кузова крытых вагонов с теплоизоляцией.*

*In this paper, based on the calculation of the local conduction resistance, heat-shielding properties assessed local areas in the enclosure body covered wagons with insulation.*

**Ключові слова:** критий вагон з теплоізоляцією, огороження кузова вагона, ділянки суцільної ізоляції, теплові містки, середній коефіцієнт теплопередачі, локальний коефіцієнт теплопередачі, термічний опір кондукції.

Вступ. В умовах реформування економіки України змінюються напрями та обсяги перевезень вантажів, збільшуються перевезення нешвидкопсувних продовольчих штучних, тарно-штучних та пакетованих вантажів, що потребують захисту від атмосферних опадів і різких перепадів температур. Умови перевезення даних вантажів потребують формування парку критих вагонів з теплоізоляцією. Для створення і постачання на залізницю критих вагонів з теплоізоляцією відбувається їх розробка, виробництво і випробування, виконуються дослідження теплотехнічних характеристик з метою підвищення теплозахисних якостей огороження кузова. Проводяться теплотехнічні випробування з метою перевірки середнього коефіцієнта теплопередачі огороження кузова вагона і показника його герметичності на відповідність нормативної та конструкторської документації. Попередні випробування дослідних зразків вагонів дають підставу для подальшого дослідження та вдосконалення теплотехнічних якостей кузова вагона.

© Кельріх М. Б., Іщенко В. М., Брайковська Н. С., Осьмак В. Є., 2012

Постановка задачі. При створенні і ремонті вагонів теплотехнічні якості огороження оцінюються за теплотехнічними показниками, до яких належать середній коефіцієнт теплопередачі огороження, коефіцієнт теплопередачі огороження в локальних ділянках, відносна герметичність кузова [1].

Теплоізоляційні якості окремих огорожень кузова вагона оцінюють на підставі визначення коефіцієнтів теплопередачі в локальних ділянках. Герметичність кузова вагона оцінюють за найбільш характерними показниками – коефіцієнтом інфільтрації і площі еквівалентного отвору [1].

Показники герметичності кузова вагона можна визначити в дослідах із створенням надлишкового тиску та його підтримки на заданому рівні, або за швидкістю падіння надлишкового тиску. Для визначення величини показників герметичності необхідні експериментальні дослідження.

У зв'язку з цим, на теоретичному рівні можливо оцінити тільки теплоізоляційні якості огороження кузова вагона за середнім коефіцієнтом теплопередачі огороження і коефіцієнтами теплопередачі в локальних ділянках.

Аналіз досліджень і публікацій. Дослідженню та аналізу теплозахисних якостей кузова ізотермічних вагонів присвячені роботи Е. Т. Бартоша, Л. Я. Левенталя, Б. Н. Китаєва, Г. І. Вернікова, Н. С. Таймуразова, С. Н. Науменко та ін. Основна увага в роботах приділена розгляду теоретичних основ тепломасообміну через огороження кузова ізотермічних вагонів, розрахунковим методам визначення коефіцієнта теплопередачі, впливу повітрообміну на теплопередачу через огороження кузова вагона, методам і показникам експериментального контролю теплотехнічного стану рефрижераторного рухомого складу, оцінки теплозахисних якостей кузова вагона в експлуатації. При цьому недостатньо розглянуті питання оцінки теплозахисних якостей локальних ділянок в огороженні кузова вагонів з теплоізоляцією.

Мета статті. Оцінка теплоізоляційних якостей локальних ділянок в огороженні кузова критих вагонів з теплоізоляцією.

Основна частина. У теплотехнічному відношенні конструкція огороження кузова вагона представляє багат шарову структуру, що складається з різноманітних матеріалів різноманітної форми і різних теплопровідних властивостей [2].

Наявність чисельних металевих елементів досить складної геометричної форми в багат шарових огороженнях робить практично неможливим точне розрахункове визначення коефіцієнта теплопередачі вагона. Можна говорити лише про методи, що дають найбільш наближення розрахункових і дійсних середніх теплофізичних показників огороження. Якщо розглядати вагон, конструкція кузова якого складається з геометричних сполучених повітронепроникних огорожень, а поверхню кузова розділити на  $n$  ділянок щодо однорідної структури, то його теплоізоляційні якості можна оцінити середнім коефіцієнтом теплопередачі приведенного до поверхні огороження кузова за формулою [3]:

$$K = \frac{1}{H} \sum_{i=1}^n K_i H_i, \quad (1)$$

де  $K$  – середній коефіцієнт теплопередачі кузова вагона,  $Вт/м^2 \cdot К$  ;

$H$  – площа тепло-передавальної поверхні кузова вагона,  $м^2$  ;

$K_i$  – коефіцієнт теплопередачі  $i$ -ї ділянки кузова вагона,  $Вт/м^2 \cdot К$  ;

$H_i$  – площа теплопередавальної поверхні  $i$ -ї ділянки кузова вагона,  $м^2$  .

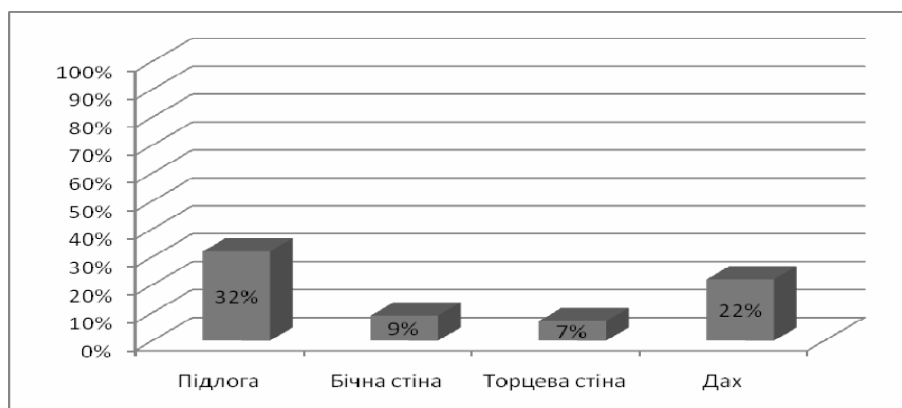
Для оцінки теплоізоляційних показників вагона багат шарову структуру огорожень кузова розділимо на локальні ділянки суцільної ізоляції і теплових містків. Через теплові містки проходить підвищена кількість теплоти і тому їх теплотехнічні якості поступаються ділянкам суцільної ізоляції. Кількість, структура і площа ділянок теплових містків підлоги, стін, дахи залежать від конструкції вагона. Основні елементи конструкції критого вагона з теплоізоляцією, які створюють теплові містки в огороженні кузова, наведені в табл. 1.

*Таблиця 1. Теплові містки в огороженні критих вагонів з теплоізоляцією*

Огороження вагона	Елементи конструкції вагона в структурі теплових містків
Підлога	– поздовжні балки; – поперечні балки; – місця перетину поздовжніх і поперечних балок; – бічні балки
Бічні і торцеві стіни	– стійки; – дерев'яні бруси
Дах	– центральний швелер; – бічні швелери; – стик даху із стінами; – дуга даху

Аналіз конструкції критих вагонів з теплоізоляцією дає підстави стверджувати, що в загальній площі теплопередавальних поверхонь огорожень кузова, площа ділянок теплових містків складає до  $H_{di} = 22\%$ , а площа ділянок суцільної ізоляції до  $H_{\zeta} = 78\%$ .

Значення площі ділянок теплових містків у елементах огороження кузова критого вагона з теплоізоляцією приведені на рис. 1.



*Рис. 1. Значення площі ділянок теплових містків у % від теплопередавальної поверхні огороження кузова вагона*

Істотний вплив на теплоізоляційні якості вагона надає теплопровідність матеріалів елементів огороження кузова. Вирішальна роль у цьому відношенні належить тепловій ізоляції. Володіючи великим термічним опором шар ізоляції різко зменшує тепловтрати і теплопритоки у вагон. Достатнього розвитку по товщині й об'єму ізоляція перешкоджає повітрообміну з навколишнім середовищем.

Матеріали основних елементів огорожень кузова вагона і їх теплопровідність приведені в табл. 2. [4]

**Таблиця 2. Теплопровідність матеріалів елементів огорожень кузова вагона**

Найменування матеріалів	Коефіцієнт теплопровідності $\lambda$ , $Bm/m \cdot K$
Сталь	58,18
Дерево	0,140
Пінополіуретан	0,029
Картон	0,040
Скловолокно	0,291

Локальний коефіцієнт теплопередачі характеризується кількістю теплоти, що проходить крізь окрему ділянку огороження кузова вагона. Для визначення локального коефіцієнта теплопередачі ділянки багат шарової плоскої стінки огороження кузова вагона застосовується вираз [1]:

$$K_i = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_\beta} + \sum_{j=1}^m \frac{\delta_j}{\lambda_j} + \frac{1}{\alpha_n}} = \frac{1}{R_a + R_\lambda}, \quad (2)$$

де  $\alpha_\beta$  – коефіцієнт тепловіддачі від внутрішньої обшиви до повітря в вагоні,  $Bm/m^2 \cdot K$  ;

$\delta_j$  – товщина  $i$ -го шару,  $m$  ;

$\lambda_j$  – коефіцієнт теплопровідності  $i$ -го шару,  $Bm/m \cdot K$  ;

$\alpha_n$  – коефіцієнт тепловіддачі від зовнішнього повітря до зовнішньої обшиви,  $Bm/m^2 \cdot K$  ;

$R_a$  – термічний опір конвекції,  $m^2 \cdot K/Bm$  ;

$R_\lambda$  – термічний опір кондукції,  $m^2 \cdot K/Bm$  .

$$R_a = \frac{1}{\alpha_\beta} + \frac{1}{\alpha_n}, \quad (3)$$

$$R_\lambda = \sum_{j=1}^m \frac{\delta_j}{\lambda_j}, \quad (4)$$

Припустимо, що різниця температур повітря зовнішнього  $T_3$  і у вагоні  $T_6$  зберігає незмінне значення по поверхні, тобто

$$(T_B - T_3)_i = T_3 - T_B = const, \quad (5)$$

Тоді в умовах рівності температурних напорів можна прийняти постійними по поверхні вагона величини  $a_\beta$  і  $a_n$ , тобто постійний конвективний термічний опір

$$R_a = \frac{1}{a_\beta} + \frac{1}{a_n} = const. \quad (6)$$

Це значить, що задача визначення локального коефіцієнта теплопередачі елемента поверхні  $K_i$  зводиться до розрахунку величини місцевого кондуктивного опору  $R_a$ , що визначається за формулою (4).

Розрахунки показують, що з урахуванням структури огорожень і теплопровідності матеріалів критих вагонів з теплоізоляцією середнє значення локального коефіцієнта теплопередачі ділянок суцільної ізоляції приведеного до поверхні огорожень кузова вагона складає до  $K_{iz} = 40\%$  від значення середнього коефіцієнта теплопередачі огороження кузова вагона, а для ділянок теплових містків до  $K_{mm} = 60\%$ .

Це дає підставу стверджувати, що на теплотехнічні показники огорожень кузова вагона істотний вплив робить кількість і площа, структура і матеріали конструкції теплових містків.

Не зачіпаючи суть фізичних властивостей перенесення теплоти через огороження, слід зазначити, що найбільший вплив на величину локального коефіцієнта теплопередачі  $K_i$ , а отже, на середній коефіцієнт теплопередачі огороження вагона  $K$ , надає коефіцієнт теплопровідності  $\lambda_{iz}$  і товщина шару ізоляції  $\delta_{iz}$ . Задавшись величиною локального коефіцієнта теплопередачі  $K_i$  і матеріалом теплоізоляційного шару, можна оцінити необхідну товщину теплоізоляційного матеріалу в локальній ділянці огороження за формулою [3]:

$$\delta_{iz} = \lambda_{iz} \cdot \left[ \frac{1}{K_i} - \left( \frac{1}{a_n} + \sum_{j=1}^{m-1} \frac{\delta_j}{\lambda_j} + \frac{1}{a_\beta} \right) \right], \quad (7)$$

де  $\delta_{iz}$  – товщина шару ізоляції, м ;

$\lambda_{iz}$  – коефіцієнт теплопровідності ізоляційного матеріалу, Вт/м · К ;

$K_i$  – локальний коефіцієнт теплопередачі, Вт/м<sup>2</sup> · К ;

$a_n$  – коефіцієнт тепловіддачі від навколишнього повітря до зовнішньої обшивки, Вт/м<sup>2</sup> · К ;

$\delta_j$  – товщина  $j$ -го шару огороження, м ;

$\lambda_j$  – коефіцієнт теплопровідності  $j$ -го шаруючи огороження, Вт/м<sup>2</sup> · К ;

$a_\beta$  – коефіцієнт тепловіддачі від внутрішньої обшивки до повітря у вагоні, Вт/м<sup>2</sup> · К .

### ВИСНОВКИ

1. У теплотехнічному відношенні конструкція огороження кузова критого вагона з теплоізоляцією представляє багат шарову структуру, що складається з різноманітних матеріалів різноманітної форми і різних теплопровідних властивостей та містить ділянки суцільної ізоляції і теплових містків.
2. В загальній площі теплопередаючих поверхонь кузова критих вагонів з теплоізоляцією площа ділянок суцільної ізоляції складає до 78 %, а площа ділянок теплових містків до 22 %.
3. Враховуючи структуру огороження і теплопровідність матеріалів середнє значення локального коефіцієнта теплопередачі ділянок суцільної ізоляції віднесеного до поверхні огороження кузова вагона становить  $\hat{E}_{\text{ic}} = 40\%$  від значення середнього коефіцієнта теплопередачі огороження кузова вагона  $\hat{E}$ , а для ділянок теплових містків  $\hat{E}_{\text{oi}} = 60\%$
4. Встановлене значення локального коефіцієнта теплопередачі  $\hat{E}_z$  і теплофізичні властивості матеріалу теплоізоляційного шару дають можливість визначити необхідну товщину теплоізоляційного матеріалу в локальній ділянці огороження кузова вагона.

### ЛІТЕРАТУРА

1. *Бартош Е. Т.* Энергетика изотермического подвижного состава. – М.: Транспорт, 1976. – 304 с.
2. *Недужий И. А.* Техническая термодинамика и теплопередача / И. А. Недужий, А. Н. Алабовский // – К. : Вища школа, 1987. – 224 с.
3. *Левенталь Л. Я.* Энергетика и технология хладотранспорта / Л. Я. Левенталь, Н. Е. Лысенко, Д. И. Сучков, А. Хенаг. Учебное пособие для вузов железнодорожного транспорта // Под редакцией Л. Я. Левенталья. – М.: Транспорт, 1993. – 228 с.
4. *Китаев Б. Н.* Теплообменные процессы при эксплуатации вагонов. – М.: Транспорт, 1984. – 184 с.