

УДК 629.463.12

**ТЕПЛОТЕХНІЧНА МОДЕЛЬ КОНСТРУКЦІЇ ОГОРОДЖЕННЯ КУЗОВА КРИТОГО ВАГОНА З ТЕПЛОІЗОЛЯЦІЄЮ**

Кандидати техн. наук В.М. Іщенко, О.В. Фомін, старш. викл. В.Є. Осьмак

**ТЕПЛОТЕХНИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ КОНСТРУКЦИИ ОГРАЖДЕНИЯ КУЗОВА КРЫТОГО ВАГОНА С ТЕПЛОИЗОЛЯЦИЕЙ**

Кандидаты техн. наук В.Н. Ищенко, А.В. Фомин, старш. преп. В.Е. Осьмак

**THERMO MODEL CONSTRUCTION BODY FENCES COVERED WAGONS WITH INSULATION**

Cand. of techn. sciences V. Ichsenko, O. Fomin, V. Osmak

*При проектуванні та освоєнні виробництва ізотермічних вагонів, до яких належать криті вагони з теплоізоляцією, використовуються сучасні технології виготовлення кузова і створення теплоізоляційного шару. Корисність дії новітніх впроваджень на теплозахисні властивості кузова розглядається на основі створення і дослідження теплотехнічної моделі конструкції огородження критого вагона з теплоізоляцією. Розроблений формалізований опис моделі конструкції огородження кузова дозволяє встановити розташування теплових груп суцільної ізоляції, теплових містків та ущільнення в багатошаровій конструкції вагона і дослідити їх теплозахисні властивості.*

**Ключові слова:** ізотермічні вагони, критий вагони з теплоізоляцією, формалізований опис, блочна ієрархічна схема, теплоізоляція, теплові місткі, ущільнення.

*При проектировании и освоении производства изотермических вагонов, к которым относятся крытые вагоны с теплоизоляцией, используются современные технологии изготовления кузова и создания теплоизоляционного слоя. Полезность действия новейших внедрений на теплозащитные свойства кузова рассматривается на основе создания и исследования теплотехнической модели конструкции ограждения крытого вагона с теплоизоляцией. Разработанное формализованное описание модели конструкции ограждения кузова позволяет установить расположение тепловых групп сплошной изоляции, тепловых мостиков и уплотнения в многослойной конструкции вагона и исследовать их теплозащитные свойства.*

**Ключевые слова:** изотермические вагоны, крытый вагон с теплоизоляцией, формализованное описание, блочная иерархическая схема, теплоизоляция, тепловые мостики, уплотнения.

*Currently, the design and construction of insulated wagons, which are covered wagons with insulation, use of modern technology in the production of the body and create a thermal insulation layer. Efficiency of the latest deployments by the heat-shielding properties is considered on the basis of the creation and study of structural models of heat engineering construction fence covered wagon with thermal insulation. Formalized description of the model construction fence body heat allows you to set the location of groups of solid insulation, thermal bridges and seals in the multilayer structure of the car and explore their thermal insulation properties. Formalized description of heat protective body structure of the car covered with insulation, developed on the basis of the principles of hierarchy and decomposition (blocking)*

**Keywords:** isothermal wagons, covered wagons with insulation, formalized description, block diagram of a hierarchical, thermal insulation, thermal bridges, seals.

**Вступ.** Складовою частиною залізничного транспорту є ізотермічний рухомий склад, який забезпечує перевезення продовольчих швидкопсувних і нешвидкопсувних вантажів, що потребують захист від різких перепадів температур повітря та атмосферного впливу. Значну частину цих вантажів перевозять

переобладнані вагони з вантажних вагонів рефрижераторних секцій, криті вагони з теплоізоляцією та вагони-термоси. У сучасних умовах змінюються напрямки та обсяги перевезення вантажів, зростає конкуренція з боку інших видів транспорту. Всі ці обставини і стан існуючого парку ізотермічних вагонів

потребує необхідності вирішення економічних, технологічних, екологічних та управлінських завдань щодо його оновлення, утримання, ремонту та ефективного використання при перевезенні вантажів.

Раціональні витрати при збільшенні обсягів перевезення вантажів, що не потребують встановленого температурного режиму, а вимагають захисту від атмосферного впливу та різких перепадів температури, здатне забезпечити подальше функціонування та оновлення парку критих вагонів з теплоізоляцією [1].

**Постановка проблеми.** Існуючий парк критих вагонів з теплоізоляцією і вагонів-термосів на просторі залізниць країн СНД і Балтії не оновлювалися вже більше 20 років. Враховуючи, що строк служби парку цих вагонів наближається до критичного, виникає необхідність в оновленні.

За цей проміжок часу залізничники майже втратили ринок перевезення швидкопсувних вантажів і вантажів, що потребують захисту від різкого перепаду температур і атмосферного впливу і зараз не можуть конкурувати з автомобільними перевізниками.

Вантажоперевізники використовують такий фактор, що парк критих вагонів з теплоізоляцією та вагонів-термосів потребує оновлення, а тарифи на перевезення вантажів більші від тарифів перевезення в автомобільному транспорті, тому змінити ситуацію на краще може новий парк сучасних вагонів зі збільшеною вантажопідйомністю.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Перспективам розвитку парку ізотермічних вагонів присвячено роботи Е.Т. Бартоша, О.А. Ворона, В.М. Анісімова, І.П. Єкімовського, І.С. Теймуразова, С.М. Науменка та інших вчених і спеціалістів.

Аналіз показав, що основну увагу в роботах приділено стану умов транспортування продовольчих швидкопсувних і нешвидкопсувних вантажів, теоретичним основам процесів тепло-масообміну, що відбуваються при перевезенні вантажів, загальним принципам аналізу теплопередачі крізь огороження кузова та герметичності вагона, методам теплотехнічних випробувань з визначення коефіцієнта теплопередачі та показників герметичності, розробленню і виробництву ізотермічних вагонів нового покоління. Проте подальший розвиток цього виду рухомого складу вимагає відповідного

наукового дослідження та аналізу нових конструкцій і їх теплозахисних властивостей.

**Визначення мети та завдання статті.** Новітні технології, що використовуються у вагонобудуванні ізотермічного рухомого складу, спрямовані на вдосконалення конструкції вагона та способів створення теплоізоляційного шару в огороженні кузова. Корисність дії конструкції та технології створення теплоізоляції в огороженні кузова вагона доцільно дослідити та проаналізувати з боку теплозахисних властивостей.

Вирішення цього науково-технічного завдання на сучасному рівні пропонується дослідити та проаналізувати на основі створення теплотехнічної моделі конструкції огороження кузова вагона. Величина, що прогнозується теплозахисною якістю огороження кузова, впливає на вибір раціонального методу контролю теплотехнічного стану ізотермічного вагона в експлуатації. Тому визначення теплотехнічної моделі конструкції огороження кузова є важливим завданням, що дозволяє оцінити теплотехнічні властивості кузова вагона та визначає вибір і ефективність використання методу контролю його теплозахисних якостей.

**Основна частина.** Формалізоване описання теплозахисної конструкції кузова критого вагона з теплоізоляцією розроблено на основі використання принципів ієрархічності та декомпозиції (блочності) [2, 3].

Використання принципу ієрархічності передбачає структурування опису теплозахисної конструкції кузова критого вагона з теплоізоляцією за ступенем детальності з виділенням окремих ієрархічних рівнів. Застосування принципу декомпозиції забезпечує розподіл описів конструкції вагона на кожному ієрархічному рівні на ряд відповідних блоків (конструкційних модулів) з можливостями їхнього роздільного дослідження. Вищезазначені принципи повною мірою відображуються у блочно-ієрархічній моделі критого вагона з теплоізоляцією, яка найчастіше подається у вигляді відповідної схеми, яка є основою формалізованого описання його теплозахисної конструкції.

На основі запропонованого підходу була розроблена блочно-ієрархічна схема для класичної конструкції кузова критого вагона з теплоізоляцією, яка наведена на рис. 1.

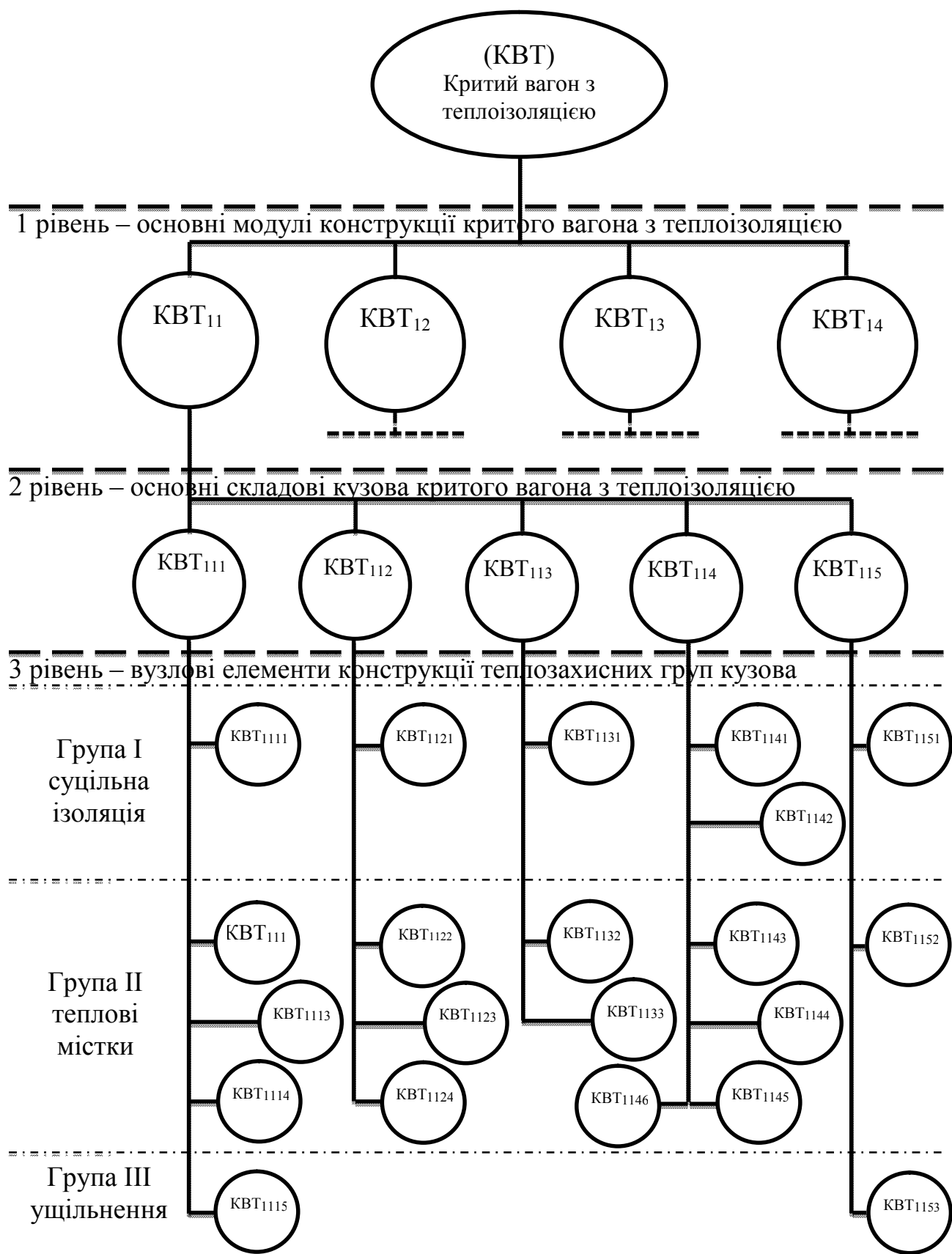


Рис. 1. Блочно-ієрархічна схема кузова критого вагона з теплоізоляцією з виділенням теплозахисних груп

З метою скорочення ілюстрованого матеріалу при розгляді описань на окремих ієрархічних рівнях вищевказаної схеми будуть наведені особливості таких описань.

Як видно з рис. 1, формалізоване описання конструкції критого вагона з теплоізоляцією передбачає виділення трьох ієрархічних рівнів.

Рівень 1 містить основні модулі конструкції вагона, які позначені рівнево-позиційним індексом  $KBT_{1x}$ . До цих модулів належать модуль кузова  $KBT_{11}$ , модуль ходової частини  $KBT_{12}$ , модуль автозчипного обладнання  $KBT_{13}$ , модуль гальмівного обладнання  $KBT_{14}$ . На даному ієрархічному рівні нас більше цікавить модуль кузова  $KBT_{11}$ , оскільки він здійснює теплозахисні функції, що суттєво відрізняє критий вагон з теплоізоляцією від інших типів вантажних вагонів. Тому розглянемо більш детально цей модуль на другому рівні.

Рівень 2 містить декомпозиційні елементи складових модулів першого рівня, які позначені рівнево-позиційним індексами  $KBT_{1xk}$  (де  $k$  змінюється залежно від кількості вузлів, які входять до складу відповідного модуля). Розглянутий модуль кузова включає п'ять декомпозиційних елементів. Перший елемент позначається індексом  $KBT_{111}$  – підлога з рамою, далі бічна стіна  $KBT_{112}$ , торцева стіна  $KBT_{113}$ , дах  $KBT_{114}$  і двері  $KBT_{115}$ . Ці всі елементи формують кузов і забезпечують теплозахисні властивості вагона.

Рівень 3 містить декомпозиційні складові другого ієрархічного рівня, які розглядаються як вузлові елементи конструкції теплозахисних груп кузова вагона і позначаються рівнево  $KBT_{1xkm}$  (де  $m$  змінюється залежно від кількості вузлів, які входять до складу відповідної декомпозиційної складової другого ієрархічного рівня).

Детально розглянемо групи теплозахисного шару, які входять до декомпозиційного блока  $KBT_{111}$  – підлога з рамою. Група суцільної ізоляції  $KBT_{1111}$  підлоги складаються з зовнішнього та внутрішнього металевих листа і прошарку ізоляційного матеріалу. Група теплових містків  $KBT_{1112}$ , що утворена повздовжніми балками, перетином повздовжніх і поперечних балок  $KBT_{1113}$ , у районі бокових балок  $KBT_{1114}$ , складається з внутрішнього та зовнішнього металевих листа,

прошарку повітря в металевих профілях балок і теплоізоляційного матеріалу.

Групу ущільнення підлоги  $KBT_{1115}$  створюють зливні отвори.

До блока  $KBT_{112}$  бічна стіна входять такі елементи: група суцільної ізоляції  $KBT_{1121}$ , що складається з зовнішнього і внутрішнього металевих листа та теплоізоляційного матеріалу; група теплових містків стійок бічних стін  $KBT_{1122}$ , кріплення дерев'яного бруса до стійки бічної стіни  $KBT_{1123}$ , дерев'яних брусів над дверною проїмою  $KBT_{1124}$ , що складається з зовнішнього та внутрішнього металевих листа, металевих стійок, заповнених теплоізоляційним матеріалом і деревиною.

До блока  $KBT_{113}$  торцева стіна входять такі елементи: група суцільної ізоляції  $KBT_{1131}$ , що складається з зовнішнього та внутрішнього металевих листа і теплоізоляційного матеріалу; група теплових містків торцевої стіни в районі дерев'яних брусів  $KBT_{1132}$  і їх кріплення  $KBT_{1133}$ , що складається з зовнішнього та внутрішнього металевих листа, теплоізоляційного матеріалу та деревини.

До блока  $KBT_{114}$  дах входять такі елементи: група суцільної ізоляції даху  $KBT_{1141}$  у районі торцевої частини  $KBT_{1142}$ , що складається з зовнішнього та внутрішнього металевих листа і теплоізоляційного матеріалу; група теплових містків даху в районі центрального швелера  $KBT_{1143}$ , бокового швелера  $KBT_{1144}$  в районі кріплення дерев'яних балок і швелера  $KBT_{1145}$  у районі стику зі стінами  $KBT_{1146}$ , що складається з зовнішнього та внутрішнього металевих листа, теплоізоляційного матеріалу, металевих швелера, кутника та деревини.

До блока  $KBT_{115}$  двері входять такі елементи: група суцільної ізоляції  $KBT_{1151}$ , що складається з зовнішнього та внутрішнього металевих листа та теплоізоляційного матеріалу; група теплових містків дверного обрамлення  $KBT_{1152}$ , що складається з дерева, що перетинає метал; група ущільнення дверного отвору  $KBT_{1153}$ , що складається з гумової полоси [4].

У результаті дослідження теплотехнічної моделі класичної конструкції огороження кузова критих вагонів з теплоізоляцією встановлена площа поверхні теплових груп суцільної ізоляції, теплових містків та ущільнення і середнє значення їх локальних коефіцієнтів теплопередачі. Поверхня ділянок

суцільної ізоляції складає на рівні  $S_{CI} = 82\%$ , теплових містків  $S_{TM} = 17,8\%$ , ущільнення  $S_y = 0,2\%$  середньої поверхні кузова  $S$ . Середня поверхня кузова  $S$  є середньгеометричною величиною внутрішньої  $S_i$  та зовнішньої  $S_e$  поверхні кузова.

$$S = \sqrt{S_i \cdot S_e}, \quad (1)$$

де  $S$  - середня поверхня кузова, м<sup>2</sup>;  
 $S_i$  - внутрішня поверхня кузова, м<sup>2</sup>;  
 $S_e$  - зовнішня поверхня кузова, м<sup>2</sup>.

Розподіл площі за теплозахисними групами подано на рис. 2.

Значення поверхні ділянок теплових містків в елементах огороження кузова критого вагона з теплоізоляцією подано на рис. 3.

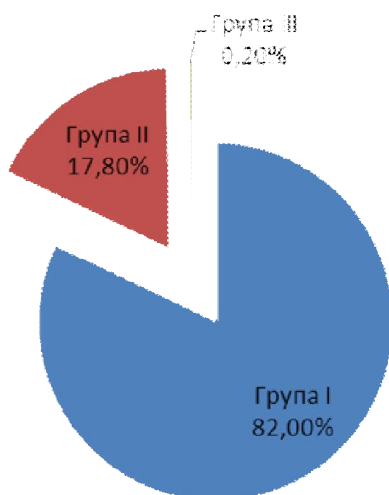


Рис. 2. Діаграма розподілу площі за теплозахисними групами критого вагона з теплоізоляцією

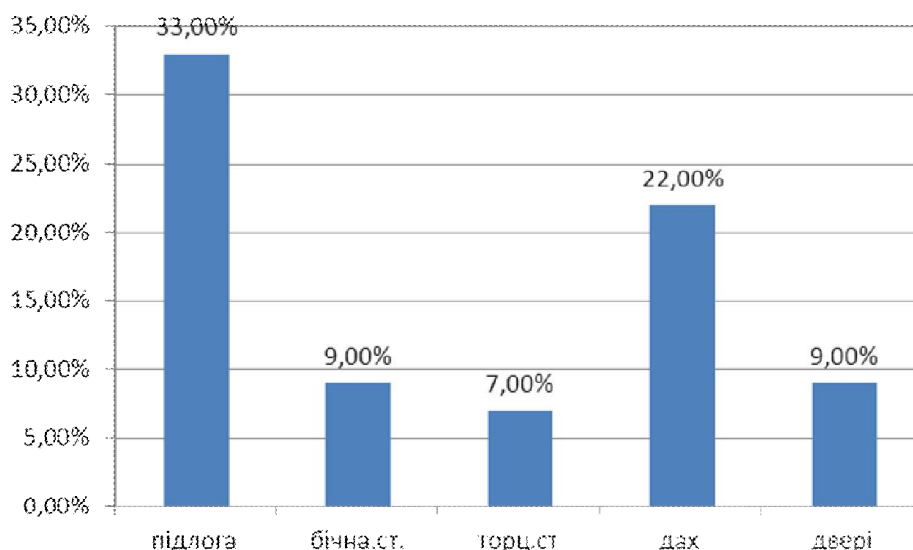


Рис. 3. Значення поверхні ділянок теплових містків, % середньої поверхні елементів огороження кузова вагона

Група I – суцільна ізоляція, складається з КВТ<sub>1111</sub>, КВТ<sub>1121</sub>, КВТ<sub>1131</sub>, КВТ<sub>1141</sub>, КВТ<sub>1142</sub>, КВТ<sub>1151</sub>, займає найбільшу площу, що становить 82,0 % загальної середньої площі кузова вагона. Ця група має багат шарову однорідну структуру та схожу конструкцію. Група II – теплові містки, складається з КВТ<sub>1112</sub>, КВТ<sub>1113</sub>, КВТ<sub>1114</sub>, КВТ<sub>1122</sub>, КВТ<sub>1123</sub>, КВТ<sub>1124</sub>, КВТ<sub>1132</sub>, КВТ<sub>1133</sub>, КВТ<sub>1143</sub>, КВТ<sub>1144</sub>, КВТ<sub>1145</sub>, КВТ<sub>1146</sub>, КВТ<sub>1152</sub>, займає значно меншу площу, що становить 17,8 % загальної середньої площі кузова вагона. Ця група має багат шарову різноманітну конструкцію, у якій теплоізоляційний матеріал перетинається елементами кузова.

Ці дві групи можливо об'єднати за схожим способом передачі теплоти – переважно кондукцією.

Група III – ущільнення, складається з блоків КВТ<sub>1115</sub>, КВТ<sub>1153</sub> та займає найменшу площину, яка складає 0,2 % загальної площі кузова вагона. Ця група складається з місць, де потенційно можливий повітрообмін з навколишнім середовищем, тобто надходження або втрата теплоти разом з фільтрацією повітря.

Середня відносна величина локальних коефіцієнтів теплопередачі теплових містків елементів огороження кузова складає: для підлоги  $0,4 < \bar{K}_n < 12,0$ , для бічних стін  $1,8 < \bar{K}_{bc} < 5,0$ , для торцевих стін  $0,6 < \bar{K}_{mc} < 2,5$ , для даху  $0,6 < \bar{K}_{dx} < 3,5$ , для дверей  $2,0 < \bar{K}_{dv} < 6,0$ , для структур суцільної ізоляції поверхні кузова  $0,3 < \bar{K}_{ci} < 0,5$ .

Середня відносна величина локального коефіцієнта теплопередачі визначається за рівнянням [5]

$$\bar{K}_i = \frac{K_i}{K_{np}}, \quad (2)$$

де  $\bar{K}_i$  - середня відносна величина локального коефіцієнта теплопередачі *i*-го елемента огороження кузова вагона;

$K_i$  - локальний коефіцієнт теплопередачі *i*-ї групи огороження кузова, Вт/м<sup>2</sup>К;

$K_{np}$  - приведений коефіцієнт теплопередачі кузова вагона, Вт/м<sup>2</sup>К.

При визначенні коефіцієнтів теплопередачі огороження кузова вагона використано основне рівняння теплопередачі для стаціонарних умов теплообміну у вигляді теплового балансу [5]:

$$Q = K \cdot S(\theta_H - \theta_B), \quad (3)$$

де  $Q$  - тепловий потік крізь огороження кузова вагона, Вт;

$K$  - коефіцієнт теплопередачі, Вт/м<sup>2</sup>К;

$S$  - середня поверхня кузова, м<sup>2</sup>;

$\theta_H$  - температура зовнішнього повітря, К;

$\theta_B$  - температура повітря всередині вагона, К.

Середня відносна величина локальних коефіцієнтів теплопередачі окремих теплових містків в елементах огороження кузова в 1,3...24 рази перевищує середню відносну величину локальних коефіцієнтів теплопередачі груп суцільної ізоляції. Значне збільшення значення середніх відносних величин локальних коефіцієнтів теплопередачі мають конструкції окремих теплових містків в елементах підлоги з рамою, бічної стіни та дверей кузова вагона.

**Висновок.** Формалізоване описання конструкції кузова критого вагона з теплоізоляцією забезпечує структуруваний опис конструкції з виділенням основних модулів критого вагона з теплоізоляцією, основних складових вузлів та елементів конструкції теплозахисних груп огороження кузова вагона.

Виділення теплозахисних груп у 3 рівні дає можливість оцінити вплив кожної з групи на загальні теплотехнічні характеристики конструкції з подальшим зменшенням їх негативних якостей на основні процеси тепло-масообміну крізь огороження кузова.

### Список використаних джерел

1. Колупаев, В. В Мариуполе изобрели термос [Текст] / В. Колупаев // Гудок. – Мариуполь. – 2010. – 27 июля. – С. 2-3.

2 Фомін, О.В. Теоретичні основи програмного комплексу визначення та використання математичних моделей складових вантажних вагонів [Текст] / О.В. Фомін // Вісник Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського. – Кременчук: КДПУ, 2013. – Вип. 6(83). – С. 87-91.

3. Фомін, О.В. Розробка методики впровадження різних профілів в якості складових елементів несучих систем вантажних вагонів [Текст] / О.В. Фомін // Вісник Національного технічного університету «ХПІ»: зб. наук. праць. Сер.: «Нові рішення в сучасних технологіях». – Харків: НТУ «ХПІ», 2012. – № 26. – С. 29-33.

4. Энергетика и технология хладотранспорта [Текст]: учеб. пособие для вузов ж.-д. трансп. / Л.Я. Левенталь, Н.Е. Лысенко, Д.И. Сучков, А. Хенаг; под ред. Л.Я. Левенталя. – М.: Транспорт, 1993. – 228 с.

5. Бартош, Е.Т. Энергетика изотермического подвижного состава / Е.Т. Бартош.– М.: Транспорт, 1976. – 304 с.

Рецензент д-р техн. наук, професор І.Е. Мартинов

---

Іщенко Вадим Миколайович, кандидат технічних наук, доцент кафедри вагонів та вагонного господарства, Державний економіко-технологічний університет транспорту. Тел. (044)591-51-26.

Фомін Олексій Вікторович, кандидат технічних наук, доцент кафедри вагонів та вагонного господарства, Державний економіко-технологічний університет транспорту. Тел. (044)591-51-26.

Осьмак Віктор Євгенович, старш. викладач кафедри вагонів та вагонного господарства, Державний економіко-технологічний університет транспорту. Тел. (044)591-51-26 E-mail: vic5@ukr.net.

Vadim Ishchenko, candidate of technical sciences, associate Professor of 'Cars and carriage facilities "State Economic and Technological University of Transport. Tel. (044) 591-51-26.

Alexey Fomin, Ph.D., candidate of technical sciences, associate Professor of 'Cars and carriage facilities "State Economic and Technological University of Transport. Tel. (044) 591-51-26.

Osmak Victor E., century. lecturer in "Cars and carriage facilities" State Economic and Technological University of Transport. Tel. (044) 591-51-26 E-mail: vic5@ukr.net.

Стаття прийнята 26.10.2015 р.