

2 БЕЗОПАСНОСТЬ И НАДЕЖНОСТЬ ПОДВИЖНОГО СОСТАВА И СИСТЕМ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ

УДК 621.869

МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ КОЭФФИЦИЕНТОВ ТЕПЛОПЕРЕДАЧИ ОГРАЖДЕНИЯ КУЗОВОВ РЕФРИЖЕРАТОРНЫХ ВАГОНОВ И КОНТЕЙНЕРОВ

Б. А. АБДУЛЛАЕВ, К. Х. ИНОЯТОВ, О. У. ХАЙДАРОВ

Ташкентский государственный транспортный университет, Республика Узбекистан

Для теплоизоляции вагонов и контейнеров используются различные материалы: минеральная вата, пенопласты, полиуретаны, характеризующиеся низкими значениями коэффициентов теплопроводности. Однако из-за наличия тепловых мостиков, влаги, ухудшения теплоизоляционных свойств в процессе эксплуатации толщина ограждений кузовов обычно превышает 160 мм. Это приводит к уменьшению внутреннего полезного объема кузова и увеличению массы тары. В то же время в смежных отраслях техники находят применение новые материалы [1–3], имеющие наименьший коэффициент теплопроводности и большую прочность, позволяющую создавать цельно несущие конструкции меньших размера и веса.

В основу методов измерения коэффициентов теплопроводности и теплопередачи материала положено уравнение Фурье [4]

$$\frac{Q}{F} = \frac{\lambda}{\delta} (T_1 - T_2), \quad (1)$$

где Q – заданный поток тепла, Вт·с; F – площадь сечения, через которое передается тепло, м²; λ – коэффициент теплопроводности, Вт/м·К; δ – толщина материала, м; T_1, T_2 – температуры окружающей среды и внутри тела соответственно.

Определение коэффициентов теплопередачи проводилось в работах [5, 6]. Основная проблема заключается в том, что часть теплового потока, создаваемого нагревом, рассеивается в окружающую среду и измерение теплового потока через изучаемую конструкцию представляет известную трудность. Поэтому было предложено использовать замкнутую камеру в виде параллелепипеда со сменной верхней гранью (крышкой). Известно, что средний коэффициент теплопередачи замкнутой камеры можно рассчитать по выражению

$$K_{\text{ср}} = \frac{4K_{\text{бс}}F_{\text{бс}} + K_{\text{дн}}F_{\text{дн}} + K_{\text{кр}}F_{\text{кр}}}{4F_{\text{бс}} + F_{\text{дн}} + F_{\text{кр}}}, \quad (2)$$

где $K_{\text{бс}}, K_{\text{дн}}, K_{\text{кр}}$ – коэффициенты теплопередачи соответственно боковой стены, днища и крышки испытательной камеры, Вт/м²·К; $F_{\text{бс}}, F_{\text{кр}}, F_{\text{дн}}$ – площади соответственно боковой стены, днища и крышки испытательной камеры, м².

Для определения коэффициента теплопередачи испытываемых конструкции необходимо знать коэффициент теплопередачи вспомогательных элементов камеры.

С учетом того, что днище и боковая стена испытательной камеры изготовлены из одного материала и их коэффициенты теплопередачи равны ($K_{\text{дн}} = K_{\text{бс}} = K_0$), формула (2) приводится к виду

$$K_{\text{ср}} = K_0 \frac{F_0}{F_0 + F_{\text{кр}}} + K_{\text{кр}} \frac{F_{\text{кр}}}{F_0 + F_{\text{кр}}}, \quad (3)$$

где K_0 – средний коэффициент теплопередачи испытательной камеры без крышки; F_0 – суммарная площадь боковых стен и днища камеры, $F_0 = 4F_{\text{бс}} + F_{\text{дн}}$.

При известном коэффициенте теплопроводности материала λ (см. выражение (3)) по экспериментально определенному среднему коэффициенту теплопередачи камеры можно найти коэффициент теплопередачи исследуемого технического решения

$$K_{кр} = \frac{K_{ср}(F_0 + F_{кр})}{F_{кр}} - \frac{K_0 F_0}{F_{кр}}. \quad (4)$$

Значения коэффициента теплопроводности λ материала в зависимости от поставки могут отличаться. Поэтому для повышения точности было предложено изготовить две градуированные крышки из одного материала с одной поставки, но разной толщины: 50 и 100 мм. При уменьшении толщины в 2 раза коэффициент теплопередачи крышки становится меньше в 1,87 раза.

Из данных градуировки камеры с использованием крышек разной толщины получаем систему из двух уравнений для уточненного определения коэффициента теплопередачи камеры:

$$\begin{cases} K_{ср}^{\delta=100} = \frac{K_0 F_0 + K_{кр100} F_{кр}}{F_0 + F_{кр}}, \\ K_{ср}^{\delta=50} = \frac{K_0 F_0 + 1,87 K_{кр100} F_{кр}}{F_0 + F_{кр}}. \end{cases} \quad (5)$$

Разрешив систему уравнений (5) относительно двух неизвестных, получаем уточненные значения коэффициента теплопередачи K_0 стен и дна камеры:

$$K_0 = \frac{(F_0 + F_{кр})(1,87 F_{кр} K_{ср}^{\delta=100} - K_{ср}^{\delta=50} F_{кр})}{F_0 - F_0 F_{кр}}. \quad (6)$$

Таким образом, методика экспериментального определения коэффициента теплопередачи испытуемого технического решения, изготовленного в виде крышки к теплоизолированной камере, заключается в следующем:

- вычисляется площадь ограждающих поверхностей камеры и крышки;
- устанавливается камера в теплоизолированное помещение или холодильную камеру;
- измеряется разность температур снаружи и внутри камеры;
- воздух внутри камеры нагревается электрическим прибором, подключенным через счетчик электроэнергии;
- при достижении условно стационарного режима с постоянной разностью температур снаружи и внутри камеры рассчитывается средний коэффициент теплопередачи;
- используя полученный средний коэффициент теплопередачи, вычисляется коэффициент теплопередачи нижних ограждений камеры K_0 по формуле (6) (выполняется только при градуировке камеры);
- по значению коэффициента $K_{ср}$ находится коэффициент теплопередачи исследуемого технического решения теплоизоляции по (4).

Среднегеометрические площади элементов ограждения испытательной камеры определялись по формуле

$$F_{ср} = \sqrt{F_{н} F_{вн}},$$

где $F_{н}$ и $F_{вн}$ – площадь элементов камеры соответственно снаружи и внутри, m^2 .

Таким образом, разработанная методика позволяет с достаточной точностью (погрешность менее 3 %) экспериментально определить коэффициент теплопередачи.

Список литературы

- 1 **Бороненко, Ю. П.** Стратегические задачи вагоностроителей в развитии тяжеловесного движения / Ю. П. Бороненко // Транспорт Российской Федерации. – 2013. – № 5 (48). – С. 68–73.
- 2 **Абдуллаев, Б. А.** Выбор теплоизоляционных материалов для рефрижераторных вагонов и контейнеров / Б. А. Абдуллаев // Подвижной состав XXI века: идеи, требования, проекты : материалы XIV Междунар. науч.-техн. конф., Санкт-Петербург, 9–13 июля 2019 г. – СПб. : ПГУПС, 2019. – С. 50–53.
- 3 Analysis and prospects for the development of performance cargo transportation in the Republic of Uzbekistan / R. Rahimov [et al.] // Proceedings of the 1st International Conference on Problems and Perspectives of Modern Science (ICPPMS-2021). – ТПАМЕ, 2021. – Р. 1–6.
- 4 **Китаев, Б. Н.** Тепловое воздействие солнечной радиации на вагоны / Б. Н. Китаев. – М. : Трансжелдориздат, 1962. – 32 с.
- 5 **Мейстер, А. О.** Определение среднего коэффициента теплопередачи кузовов пассажирских вагонов / А. О. Мейстер, М. А. Юхневский // Проблемы и перспективы развития вагоностроения : тезисы VI науч.-практ. конф. – Брянск : БГТУ, 2014. – С. 93–95.
- 6 РД 24.050.15-89. Методика определения среднего коэффициента теплопередачи ограждающих конструкций кузовов пассажирских вагонов : утв. М-вом тяжелого, энергетического и транспортного машиностроения СССР 24 июля 1989 г. – М., 1989. – 20 с.