

Оригинальная статья

УДК 629.45:536.24.08

DOI: <https://doi.org/10.21780/2223-9731-2023-82-3-189-197>EDN: <https://elibrary.ru/ryhcqe>

Прибор для оценки качества теплоизоляции пассажирских вагонов

А. Н. Балалаев✉, М. А. Паренюк

Самарский государственный университет путей сообщения (СамГУПС),
Самара, Российская Федерация

АННОТАЦИЯ

Введение. Представлена технология оценки качества теплоизоляции кузовов пассажирских вагонов с помощью разработанного переносного прибора. Объектом исследования являются теплоизоляционные характеристики стен кузовов пассажирских вагонов. Качество теплоизоляции оценивается по величине приведенного коэффициента теплопередачи, которая с течением времени эксплуатации повышается, что приводит к увеличению затрат энергии на отопление и кондиционирование внутреннего помещения вагонов. С помощью тепловизора можно составить теплотехнический паспорт вагона с фотофиксацией мест кузова с теплоизоляцией низкого качества. Однако во время капитального ремонта вагона требуется уточнить эти места, измерив локально величину удельного теплового сопротивления стен кузова. Цель исследования заключается в разработке способа определения удельного теплового сопротивления стен кузовов пассажирских вагонов за минимальное время с помощью переносного прибора.

Материалы и методы. Методы исследования сочетают физический эксперимент над участком стены кузова пассажирского вагона и над макетом такой стены с помощью разработанного прибора, а также численный эксперимент над 3D-моделями этих объектов. В частности, для тарировки прибора проводилось исследование по методу конечных элементов нестационарного теплового процесса в цифровой модели прибора и 3D-модели кузова пассажирского вагона с помощью программного комплекса SolidWorks Simulation.

Результаты. Доказано, что с помощью переносного прибора возможно определить удельное тепловое сопротивление в локальном месте стены кузова пассажирского вагона за минимальное время – 40 мин.

Обсуждение и заключение. Переносной прибор для оценки качества теплоизоляции пассажирского вагона может использоваться при входном и выходном контроле теплоизоляции пассажирского вагона во время капитального ремонта.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: кузов пассажирского вагона, теплоизоляционные характеристики стен, коэффициент теплопередачи, удельное тепловое сопротивление, переносной прибор, виртуальный прибор, нестационарный тепловой процесс

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: Балалаев А. Н., Паренюк М. А. Прибор для оценки качества теплоизоляции пассажирских вагонов // Вестник Научно-исследовательского института железнодорожного транспорта (Вестник ВНИИЖТ). 2023. Т. 82, № 3. С. 189–197. <https://doi.org/10.21780/2223-9731-2023-82-3-189-197>.



TECHNICAL MEANS OF RAILWAY TRANSPORT

Original article

UDK 629.45:536.24.08

DOI: <https://doi.org/10.21780/2223-9731-2023-82-3-189-197>

EDN: <https://elibrary.ru/ryhcqe>



Passenger carriages heat insulation tool

Anatoly N. Balalaev✉, Maria A. Parenjuk

Samara State Transport University,
Samara, Russian Federation

ABSTRACT

Introduction. This is a description of a technology for assessing the quality of thermal insulation of passenger carriages bodies using the portable tool developed. The research focuses on the thermal insulation characteristics of the walls of passenger carriages bodies. Heat insulation is assessed by the reduced heat transfer coefficient which increases during the service life driving up the costs of heating and air-conditioning the car interior. The thermal camera helps create a heat engineering data sheet of the car with photos of the body parts with poor thermal insulation. However, the overhaul of the car requires pinpointing these places by measuring locally the specific thermal resistance of the body walls. The research is intended to develop a method for determining the specific thermal resistance of the walls of passenger carriages bodies in minimal time using a portable tool.

Materials and methods. The research methods are a combination of a physical experiment on a section of the wall of a passenger carriage body and on a model of such wall using the developed tool, as well as a digital experiment on their 3D-models. In particular, the tool calibration involved a finite element analysis of an unsteady thermal process in a digital model of the tool and a 3D-model of the passenger carriage body using SolidWorks Simulation software.

Results. The authors prove that the portable tool can determine the local specific heat resistance in a passenger carriage body wall in minimal time of 40 minutes.

Discussion and conclusion. The portable passenger carriage heat insulation tool can be used for input and output control of thermal insulation of a passenger carriage during a major overhaul.

KEYWORDS: passenger carriage body, wall heat insulation characteristics, heat transfer coefficient, specific thermal resistance, portable tool, virtual tool, unsteady thermal process

FOR CITATION: Balalaev A. N., Parenjuk M. A. Passenger carriages heat insulation tool. *Russian Railway Science Journal*. 2023;82(3):189-197. (In Russ.). <https://doi.org/10.21780/2223-9731-2023-82-3-189-197>.

Введение. Пассажирские вагоны российских железных дорог должны обладать теплоизоляционными характеристиками стен кузовов, обеспечивающими величину коэффициента теплопередачи не более $1 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})^1$. С увеличением эксплуатационной наработки вагонов происходит ухудшение теплоизоляционных характеристик из-за диффузии водяных паров из внутреннего помещения вагона через дефекты пароизоляционного материала в теплоизоляционный материал и впитывания им влаги [1, с. 81]. При этом величина коэффициента теплопередачи стен кузова вагона может за 10 лет эксплуатации повышаться до 10% [1, с. 88]. Увеличение коэффициента теплопередачи приводит к повышению затрат энергии на обогрев внутреннего помещения пассажирского вагона зимой и на кондиционирование летом.

В настоящее время имеются автоматизированные диагностические системы [2, 3], которые позволяют определять дефектные места теплоизоляции стен кузова пассажирского вагона с помощью тепловизора, а затем указывать их в теплотехническом паспорте вагона. При проведении капитального ремонта это дает возможность заменять не всю теплоизоляцию, а только ее дефектные места. Вместе с тем диагностирование стен кузова пассажирского вагона с помощью тепловизора сопряжено с погрешностями, связанными с наличием тепловыделяющих устройств, например водогрейного котла, привода подвагонного электрогенератора и т. п., поэтому перед капитальным ремонтом необходимо уточнить дефектные места теплоизоляции, измерив локально величину удельного теплового сопротивления стен кузова. Зная эту величину, можно рассчитать локальный коэффициент теплопередачи стены и сравнить его значение с нормативной величиной приведенного коэффициента теплопередачи стен кузова, осредненно по площади поверхности кузова.

Нормативный метод измерения приведенного коэффициента теплопередачи стен кузова пассажирского вагона² заключается в установлении стационарного теплового режима, при котором внутри кузова выделяется тепло постоянной мощности и замеряются значения температуры воздушной среды внутри и снаружи вагона. Этот метод отличается большой продолжительностью (до четырех суток) [4, 5] и значительной погрешностью [6, 7], которую учитывают путем включения в итоговое значение приведенного коэффициента теплопередачи расширенной неопределенности его измерения [8].

Проблеме разработки ускоренных методов измерения удельного теплового сопротивления стен кузова транспортного средства посвящено большое количество научных работ, в том числе по пассажирским и изотермическим вагонам, вагонам-рефрижераторам [9–11]. Однако наличие этих методов не привело к созданию удобного прибора для выполнения таких измерений в короткое время. Целью данной работы является разработка способа определения удельного теплового сопротивления стен кузовов пассажирских вагонов за минимальное время с помощью переносного прибора.

Материалы и методы. Предлагаемый переносной прибор, схема установки которого на внутренней стене пассажирского вагона показана на рис. 1, основан на способе определения удельного теплового сопротивления [12]. Согласно данному способу источник тепла с постоянной тепловой нагрузкой подводит тепло к двум эталонным объектам с известной теплопроводностью, один из которых защищен от атмосферного воздуха теплоизоляционной стеной, а другой находится в атмосферном воздухе. По разности темпов нагрева двух эталонных объектов определяется величина удельного теплового сопротивления теплоизоляционной стены исходя из зависимости между величинами тепловых сопротивлений, полученными при замене теплоизоляционной стены на эталонные образцы теплоизоляции с известными величинами коэффициента теплопроводности.

Переносной прибор для измерения удельного теплового сопротивления содержит источник тепловой энергии 3, выполненный в виде двух плоских керамических пластин со спиральным электрическим нагревателем между ними, первый эталонный объект 2, второй эталонный объект 4, первый измеритель температуры 5, второй измеритель температуры 6, третий измеритель температуры 7, электронный блок обработки измерения температуры 8; первый 5, второй 6 и третий 7 измерители температуры соединены с электронным блоком обработки 8, первый 2 и второй 4 эталонные объекты, имеющие большую величину коэффициента теплопроводности, размещены с двух противоположных сторон источника тепловой энергии 3, при этом обеспечивается прохождение одной части теплового потока последовательно через первый эталонный объект 2 и теплоизоляционную стену в окружающую среду, а другой

¹ ГОСТ 34681—2020. Вагоны пассажирские локомотивной тяги. Общие технические требования: дата введения 2021-03-01. М.: Стандартинформ, 2020. 36 с.

² ГОСТ 33661—2015. Ограждающие конструкции помещений железнодорожного подвижного состава. Методы испытаний по определению теплотехнических показателей: дата введения 2016-10-01. М.: Стандартинформ, 2016. 32 с.

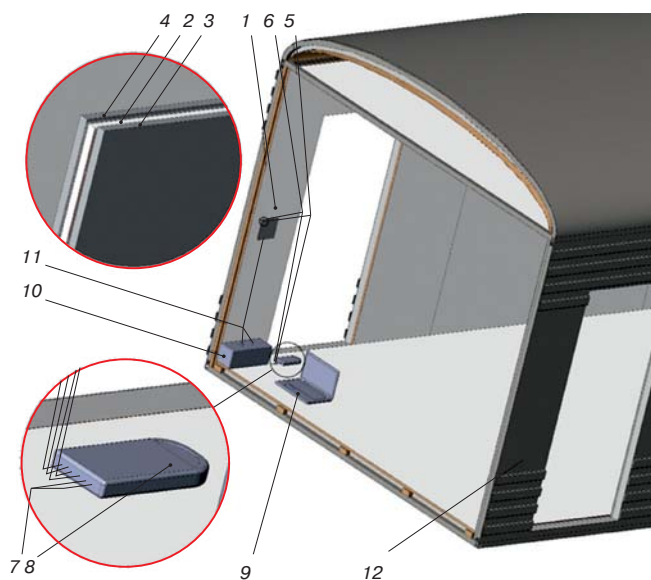


Рис. 1. Схема размещения прибора

для измерения удельного теплового сопротивления на внутренней стене пассажирского вагона:

- 1 — внутренняя стена кузова пассажирского вагона;
- 2 — первый эталонный объект; 3 — источник тепловой энергии;
- 4 — второй эталонный объект; 5 — первый измеритель температуры; 6 — второй измеритель температуры; 7 — третий измеритель температуры; 8 — электронный блок обработки измерения температуры; 9 — вычислительное устройство;
- 10 — автономный источник электрической энергии;
- 11 — проводники электрического тока; 12 — внешняя стена кузова пассажирского вагона

Fig. 1. Arrangement diagram of the specific thermal resistivity meter on the inner wall of a passenger carriage:

- 1 — inner wall of a passenger carriage body; 2 — first benchmark;
- 3 — heat source; 4 — second benchmark; 5 — first thermometer;
- 6 — second thermometer; 7 — third thermometer;
- 8 — electronic temperature processing unit; 9 — computer;
- 10 — independent electric power source; 11 — electric wires;
- 12 — outer wall of a passenger carriage body

части теплового потока через второй эталонный объект 4 в окружающую среду.

Переносной прибор для измерения удельного теплового сопротивления работает следующим образом. Первый эталонный объект 2 прибора своей свободной поверхностью с нанесенной на нее термопастой плотно прислоняется к внутренней стене кузова пассажирского вагона 1 в заданном геометрическом месте кузова. В экспериментах использовалась термопаста КПТ-8 (ГОСТ 19783–74 «Паста кремнийорганическая теплопроводная. Технические условия»), так как она имеет большую теплопроводность и не является клеем, поэтому может использоваться многократно, не загрязняя контактирующие поверхности. Источник электрической энергии 10 имеет на выходе постоянную электрическую мощность, которая передается по электрическим проводникам 11 источнику тепловой

энергии 3, в котором преобразуется в тепловой поток и разделяется на два тепловых потока: первый поток входит в первый эталонный объект 2, а второй — во второй эталонный объект 4. Первый тепловой поток расходуется на нагрев первого эталонного объекта 2 исследуемой стены кузова пассажирского вагона и выходит в окружающую среду через наружную поверхность стены кузова 12. Второй тепловой поток расходуется на нагрев второго эталонного объекта 4 и выходит в окружающую среду через свободную поверхность второго эталонного объекта. Сигналы от измерителей температуры 5, 6, 7 обрабатываются электронным блоком обработки измерения температуры 8 в виде численных значений температур T_{1i} , T_{2i} и T_{hi} на фиксируемые моменты времени τ_i с некоторым постоянным шагом $\Delta\tau$. С помощью вычислительного устройства 9 определяется разность средних скоростей повышения температуры первого и второго эталонных объектов по формуле

$$\frac{\Delta T_1}{\Delta\tau} - \frac{\Delta T_2}{\Delta\tau} = \frac{1}{(k-1)\Delta\tau} \left[\sum_{i=1}^{k-1} (T_{1i+1} - T_{hi+1}) - \sum_{i=1}^{k-1} (T_{1i} - T_{hi}) - \sum_{i=1}^{k-1} (T_{2i+1} - T_{hi+1}) + \sum_{i=1}^{k-1} (T_{2i} - T_{hi}) \right], \quad (1)$$

где k — число измерений температуры первого и второго эталонных объектов.

Чтобы величину, найденную из выражения (1), перевести в безразмерный вид, аналогичные измерения и вычисления выполняются, когда вместо исследуемой стены кузова пассажирского вагона первый эталонный объект 2 своей свободной поверхностью с нанесенной на нее термопастой плотно прислоняется к небольшому по габаритам макету стены кузова пассажирского вагона, составляющие компоненты которого имеют такие же толщины, как и исследуемая стена, но в отличие от нее имеют известные теплотехнические параметры (плотность, удельную теплоемкость и коэффициент теплопроводности). Как и ранее, сигналы от измерителей температуры 5, 6, 7 обрабатываются электронным блоком обработки измерения температуры 8 в виде численных значений температур T_{10i} , T_{20i} и T_{hi} на фиксируемые моменты времени τ_i с таким же постоянным шагом $\Delta\tau$. С помощью вычислительного устройства 9 определяется разность средних скоростей повышения температуры первого и второго эталонных объектов по формуле

$$\frac{\Delta T_{10}}{\Delta\tau} - \frac{\Delta T_{20}}{\Delta\tau} = \frac{1}{(k-1)\Delta\tau} \left[\sum_{i=1}^{k-1} (T_{10i+1} - T_{hi+1}) - \sum_{i=1}^{k-1} (T_{10i} - T_{hi}) - \sum_{i=1}^{k-1} (T_{20i+1} - T_{hi+1}) + \sum_{i=1}^{k-1} (T_{20i} - T_{hi}) \right], \quad (2)$$

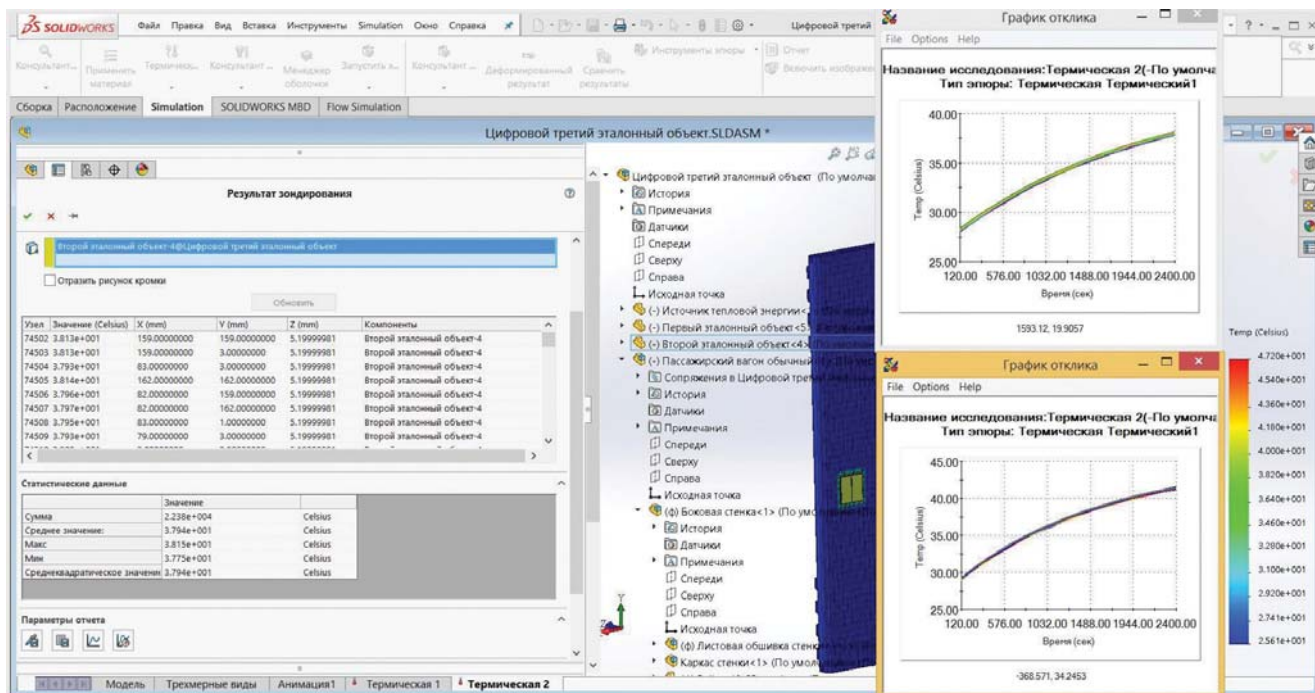


Рис. 2. Результаты исследования в программном комплексе SolidWorks Simulation цифровой модели прибора и 3D-модели кузова пассажирского вагона

Fig. 2. Research results of the digital tool model and the 3D-model of the passenger carriage body in SolidWorks Simulation

где подындекс «0» показывает отношение величин к макету стены кузова пассажирского вагона с известными свойствами.

Как показано в работе [11], удобнее пользоваться безразмерной величиной разности средних скоростей повышения температуры первого и второго эталонных объектов, которая получается делением величины, найденной с помощью выражения (1), на величину, определенную из выражения (2). При этом получается безразмерный комплекс, позволяющий найти удельное тепловое сопротивление стены пассажирского вагона из тарировочной характеристики прибора. Так как объем термопасты, используемой в каждом эксперименте, примерно одинаков, наличие ее теплового сопротивления не приводит к систематической ошибке при получении безразмерного комплекса. Как и в [11], тарировочную характеристику предлагается получить, исследуя виртуальные копии прибора и кузова пассажирского вагона.

Для получения тарировочной характеристики прибора с помощью вычислительного устройства 9 с необходимым программным обеспечением, например ноутбука с программным комплексом SolidWorks Simulation, были выполнены исследования цифровой модели, в которой с одним из нескольких вариантов 3D-модели кузова пассажирского вагона сопряжен

первый цифровой эталонный объект в таком же геометрическом месте, в каком проводилось измерение удельного теплового сопротивления у исследуемой стены. С первым цифровым эталонным объектом сопряжен одной стороной цифровой источник тепловой энергии, с противоположной стороной которого сопряжен второй цифровой эталонный объект. Для цифрового источника тепловой энергии в программном комплексе SolidWorks Simulation задается численное значение мощности теплового выделения. Для свободных поверхностей 3D-модели кузова пассажирского вагона и второго цифрового эталонного объекта, а также торцевых поверхностей первого и второго цифровых эталонных объектов в программном комплексе SolidWorks Simulation задаются коэффициент теплоотдачи и температура окружающей среды. С использованием метода конечных элементов в программном комплексе SolidWorks Simulation проведено нестационарное тепловое исследование, в результате которого получены расчетные зависимости T_1 и T_2 от τ , показанные на рис. 2.

На рисунке представлены результаты исследования варианта 3D-модели кузова пассажирского вагона, у которого значения плотности, удельной теплоемкости и коэффициента теплопроводности заданы такими же, как у одноименных параметров макета стены кузова пассажирского вагона. Для этого варианта

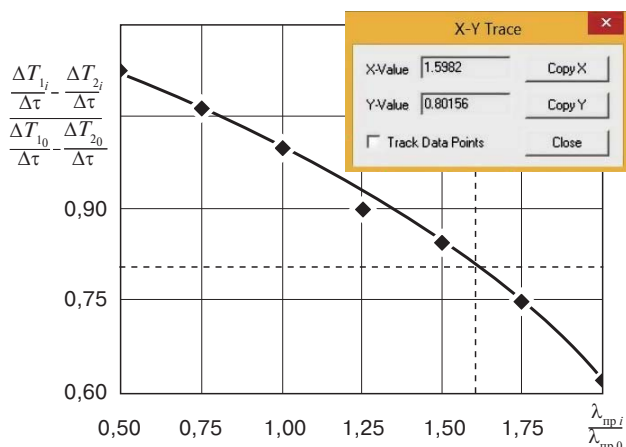


Рис. 3. Тарировочная характеристика прибора
Fig. 3. Tool calibration data

получены значения температуры первого цифрового эталонного объекта T_{1oi} и второго цифрового эталонного объекта T_{2oi} . Значения коэффициентов теплоотдачи и мощности теплового выделения в программном комплексе SolidWorks Simulation подбираются таким образом, чтобы конечные расчетные значения температур T_{1ok} и T_{2ok} совпадали с экспериментальными значениями температур T_{1ok} и T_{2ok} в конечный момент времени τ_k .

В проведенных исследованиях других вариантов 3D-модели кузова пассажирского вагона для теплоизоляционного материала стены задавались другие значения коэффициента теплопроводности и находились значения T_{1i} и T_{2i} .

По расчетным значениям T_{1i} , T_{2i} , T_{1oi} и T_{2oi} с помощью вычислительного устройства 9 определяют разность средних скоростей повышения температуры первого цифрового эталонного объекта и второго цифрового эталонного объекта по формулам (1) и (2). В относительных координатах строится расчетная зависимость между разностью средних скоростей повышения температуры первого цифрового и второго цифрового эталонных объектов и удельным тепловым сопротивлением стены 3D-модели кузова пассажирского вагона.

При построении тарировочной характеристики прибора в относительных координатах в качестве делителя ординаты используется разность средних скоростей повышения температуры первого и второго цифровых эталонных объектов, полученная при исследовании варианта 3D-модели кузова пассажирского вагона, у которого коэффициенты теплопроводности слоев стены совпадают с аналогичными величинами макета стены кузова пассажирского вагона (эталонного варианта). По оси абсцисс тарировочной характеристики откладываем относительную

величину, числителем которой является приведенный коэффициент теплопроводности, рассчитываемый по значениям коэффициента теплопроводности слоев стены 3D-модели кузова пассажирского вагона по формуле

$$\lambda_{np} = \frac{\sum_{j=1}^n \delta_j}{\sum_{j=1}^n \left(\frac{\delta_j}{\lambda_j} \right)}, \quad (3)$$

где j — текущий номер слоя многослойной стены пассажирского вагона; n — количество слоев стены; δ — толщина слоя, м; λ — коэффициент теплопроводности, Вт/(м·К). Знаменатель выражения (3) представляет собой удельное тепловое сопротивление стены, называемое также термическим сопротивлением теплопроводности [1, с. 81].

В качестве делителя (знаменателя) относительной величины, откладываемой по оси абсцисс тарировочной характеристики, используем величину приведенного коэффициента теплопроводности эталонного варианта 3D-модели кузова пассажирского вагона. Вид тарировочной характеристики прибора показан на рис. 3.

Использование тарировочной характеристики прибора, показанной на рисунке, заключается в следующем. Величину безразмерного комплекса, определенную путем деления выражения (1) на выражение (2), откладываем на ординате графика расчетной зависимости (рис. 3), через нее проводим прямую линию, параллельную оси абсцисс, при пересечении этой прямой с кривой тарировочной характеристики на оси абсцисс определяется безразмерная искомая величина. При умножении последней величины на это частное получается величина приведенного коэффициента теплопроводности исследуемого участка стены пассажирского вагона. Если разделить общую толщину стены на найденную величину приведенного коэффициента теплопроводности, то получаем величину удельного теплового сопротивления исследуемого участка стены пассажирского вагона.

Наличие тепловых потерь через торцевые поверхности первого и второго эталонных объектов в физических экспериментах, а также через аналогичные поверхности первого и второго цифровых эталонных объектов в виртуальном эксперименте программного комплекса SolidWorks Simulation не приводит к систематической погрешности, если во всех экспериментах сохраняется одинаковая температура воздушной среды и отсутствует вынужденная конвекция.

Результаты исследования. Для проведения экспериментальных исследований участка стены пассажирского вагона с помощью разработанного

переносного прибора использовался пассажирский вагон № 06316384, находящийся с 2002 г. на полигоне СамГУПС в качестве учебного вагона-лаборатории. Используемый в экспериментах макет стены пассажирского вагона имел размеры 500×500 мм, толщины слоев и материалы, соответствующие параметрам исследуемого пассажирского вагона. Выбор размеров макета стены был обусловлен анализом распределения температуры стены в исследовании цифровой модели прибора и 3D-модели кузова пассажирского вагона с помощью программного комплекса SolidWorks Simulation. В этих исследованиях на расстоянии 150 мм от краев цифровых эталонных объектов температура стены модели кузова практически не изменяла своего значения с течением времени, т. е. на этом расстоянии была граница распространения тепла вдоль стен модели кузова. Так как первый и второй эталонные объекты прибора, а также их цифровые копии представляли собой квадрат со стороной 160 мм, макет стены должен был представлять собой квадрат со стороной не менее 460 мм.

Исследования стены пассажирского вагона рядом с дверью со стороны отапливаемого тамбура и макета стены позволили получить значение безразмерного комплекса, равное 0,8. Этому значению на тарифовочной характеристике (рис. 3) соответствует значение относительной величины приведенного коэффициента теплопроводности, равное 1,6. Так как в качестве теплоизоляционного материала макета стены пассажирского вагона использовался материал пенополистирол марки ПСБ-С с коэффициентом теплопроводности 0,038 Вт/(м·К), а приведенный коэффициент теплопроводности макета стены составлял 0,05 Вт/(м·К), то приведенный коэффициент теплопроводности исследуемого участка стены пассажирского вагона составил 0,08 Вт/(м·К). При общей толщине стены пассажирского вагона 0,09 м удельное тепловое сопротивление исследуемого участка стены пассажирского вагона составило 1,125 (м²·К)/Вт.

Обсуждение. Использование тарифовочной характеристики прибора для оценки качества теплоизоляции кузова пассажирского вагона, полученной с помощью виртуальных копий прибора и кузова пассажирского вагона, позволило провести измерения каждого исследуемого участка стены кузова пассажирского вагона за время не более 40 мин, как и в исследованиях с помощью стационарного стенда [11], основанного на таком же принципе. Кроме того, для каждой модели пассажирского вагона с теплоизоляцией, которая ранее не исследовалась, необходимо

изготавливать и исследовать макет кузова (боковая стена, торцевая стена, пол, крыша). Следует отметить, что предлагаемый прибор предназначен для измерения локальных теплоизоляционных характеристик стен пассажирского вагона в местах, расположенных на удалении от элементов каркаса кузова (так называемых тепловых мостиков).

Точность прибора зависит от погрешности измерений температур и от систематической погрешности самого метода, лежащего в основе прибора. Оценка погрешности метода измерения удельного теплового сопротивления по способу [12] приведена в работе авторов [11], она составляет менее 5%. Таким образом, суммарная погрешность предлагаемого прибора больше, чем погрешность нормативного метода³, но назначение прибора заключается не в определении общего коэффициента теплопередачи кузова, а в нахождении приведенного коэффициента теплопроводности в локальном месте стены кузова, где будет производиться или произведен капитальный ремонт с заменой теплоизоляции. Для указанной цели важна скорость измерений, поэтому погрешность прибора 5% можно считать приемлемой.

Наличие в составе прибора в качестве источника электроэнергии аккумулятора делает возможным проведение оценки качества теплоизоляции при входном и выходном контроле во время капитального ремонта пассажирского вагона. Экономический эффект от использования такого прибора возможен за счет уменьшения объема ремонтных работ по замене теплоизоляции пассажирского вагона, если оценка качества теплоизоляции кузова пассажирского вагона прибором не подтвердила дефектов, выявленных тепловизором, а также от повышения качества ремонта за счет измерения приведенного коэффициента теплопроводности стены кузова после замены теплоизоляции.

Заключение. В работе представлена конструкция и принцип действия переносного прибора для оценки качества теплоизоляции кузова пассажирского вагона. С помощью этого прибора возможно определить удельное тепловое сопротивление в локальном месте стены кузова пассажирского вагона за минимальное время, так как измерения производятся при нестационарном режиме нагрева двух эталонных объектов, один из которых сопряжен с исследуемой стеной. Для тарировки прибора использовались данные испытаний макета стены пассажирского вагона, у которого толщины слоев и материалы соответствуют аналогичным параметрам стены исследуемого пассажирского вагона, а также результаты исследования

³ ГОСТ 33661–2015.

по методу конечных элементов нестационарного теплового процесса в цифровой модели прибора и 3D-модели кузова пассажирского вагона с помощью программного комплекса SolidWorks Simulation.

Переносной прибор для оценки качества теплоизоляции пассажирского вагона может использоваться при входном и выходном контроле теплоизоляции пассажирского вагона во время капитального ремонта.

Финансирование: авторы заявляют об отсутствии внешнего финансирования при проведении исследования.

Funding: the authors received no financial support for the research, authorship, and publication of this article.

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов и не имеют финансовой заинтересованности в представленных материалах и методах.

Conflict of interest: the authors declare no conflict of interest and no financial interests in any material discussed in this article.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

- Левенталь Л. Я., Костин А. В. Энергетика рефрижераторных и пассажирских вагонов: учеб. пособие. М.: МИИТ, 1998. 90 с. [Leventhal L. Ya., Kostin A. V. *Energy of refrigerated and passenger cars: Training manual*. Moscow, MIIT [Russian university of transport (MIIT)]; 1998. 90 p. (In Russ.).]
- Колесников В. И., Алексенко М. В. Мониторинг технического состояния ограждающих конструкций изотермического подвижного состава // Вестник Ростовского государственного университета путей сообщения. 2007. № 1 (25). С. 27–33 [Kolesnikov V. I., Aleksenko M. V. Monitoring of technical condition of isothermal rolling stock enclosing structures. *Vestnik Rostovskogo gosudarstvennogo universiteta putey soobshcheniya*. 2007;(1):27-33. (In Russ.).] EDN: https://elibrary.ru/nxqsbd.
- Селезнев А. В., Ворон О. А. Применение тепловизионного контроля ограждающих конструкций вагонов // Труды Ростовского государственного университета путей сообщения. 2013. № 2. С. 113–116 [Seleznev A. V., Voron O. A. Application of thermal imaging control of railcar enclosing structures. *Trudy Rostovskogo gosudarstvennogo universiteta putey soobshcheniya*. 2013;(2):113-116 (In Russ.).] EDN: https://elibrary.ru/rvqihz.
- Самошкин С. Л., Мейстер А. О., Юхневский М. А. Методические вопросы определения среднего коэффициента теплопередачи кузовов пассажирских вагонов // Вестник Научно-исследовательского института железнодорожного транспорта (Вестник ВНИИЖТ). 2019. Т. 78, № 6. С. 344–350 [Samoshkin S. L., Meyster A. O., Yukhnevskiy M. A. Methodical issues of determination of the average heat transfer coefficient of the passenger car body. *Russian Railway Science Journal*. 2019;78(6):344-350. (In Russ.).] http://doi.org/10.21780/2223-9731-2019-78-6-344-350.
- Бороненко Ю. П., Абдуллаев Б. А. Экспериментальные исследования новых конструктивных решений ограждения кузовов рефрижераторных вагонов и контейнеров // Известия Петербургского государственного университета путей сообщения. 2020. Т. 17, вып. 4. С. 498–513 [Boronenko Yu. P., Abdullaev B. A. Experimental studies of new structural solutions for fencing refrigerated car bodies and containers. *Proceedings of Petersburg Transport University*. 2020;17(4):498-513. (In Russ.).] https://doi.org/10.20295/1815-588x-2020-4-498-513.
- Науменко С. Н., Теймуразов Н. С., Голубин А. А. Точность определения коэффициента теплопередачи // Железнодорожный

транспорт на современном этапе: задачи и пути их решения: сб. ст. молодых ученых и аспирантов / под ред. А. Е. Семечкина. М.: Интекст, 2008. С. 76–79 [Naumenko S. N., Teymurazov N. S., Golubin A. A. Accuracy of determining the heat transfer coefficient. In: Semechkin A. E., ed. *Railway transport at the current stage: problems and ways to solve them: a collection of articles by young scientists and graduate students*. Moscow: Intext; 2008. p. 76–79 (In Russ.).] EDN: https://elibrary.ru/tawhndn.

7. Голубин А. А., Белова Н. В., Науменко С. Н. Влияние погрешностей измерения при определении коэффициента теплопередачи ограждающих конструкций изотермического вагона // Вестник Научно-исследовательского института железнодорожного транспорта (Вестник ВНИИЖТ). 2019. Т. 78, № 2. С. 100–104 [Golubin A. A., Belova N. V., Naumenko S. N. Effect of measurement errors in determining the heat transfer coefficient of the enclosing structures of an isothermal car. *Russian Railway Science Journal*. 2019;78(2):100-104. (In Russ.).] https://doi.org/10.21780/2223-9731-2019-78-2-100-104.

8. Давыдов Д. О. Методика расчета общего коэффициента теплопередачи кузова специального транспортного средства для перевозки скоропортящихся грузов // Вестник Научно-исследовательского института железнодорожного транспорта (Вестник ВНИИЖТ). 2019. Т. 78, № 4. С. 249–256 [Davydov D. O. Calculation method for the overall heat-transfer coefficient of a technical transport superstructure for perishables in traffic. *Russian Railway Science Journal*. 2019;78(4):249-256. (In Russ.).] https://doi.org/10.21780/2223-9731-2019-78-4-249-256.

9. Теймуразов Н. С., Науменко С. Н. Ускоренные методы оценки коэффициента теплопередачи кузовов изотермических транспортных средств // Вестник Научно-исследовательского института железнодорожного транспорта (Вестник ВНИИЖТ). 2009. № 5. С. 18–21 [Teymurazov N. S., Naumenko S. N. Accelerated methods of evaluating heat transfer coefficient of isothermal rolling stock carbody. *Russian Railway Science Journal*. 2009;(5):18-21. (In Russ.).] EDN: https://elibrary.ru/kwpryl.

10. Науменко С. Н. Энергосбережение при проведении теплотехнических испытаний специализированных транспортных средств // Энергосбережение и водоподготовка. 2008. № 4 (54). С. 45–47 [Naumenko S. N. Energy saving during heat engineering tests of specialized vehicles. *Energy saving and water treatment*. 2008;(4):45-47. (In Russ.).] EDN: https://elibrary.ru/kbdofl.

11. Балалаев А. Н., Паренюк М. А. Виртуальный стенд для определения тепловых характеристик вакуумных теплоизоляционных панелей // Вестник Научно-исследовательского института железнодорожного транспорта (Вестник ВНИИЖТ). 2023. Т. 82, № 2. С. 99–108 [Balalaev A. N., Parenuk M. A. Virtual test bench for the determination of the thermal properties of vacuum insulation panels. *Russian Railway Science Journal*. 2023;82(2):99-108. (In Russ.).] https://doi.org/10.21780/2223-9731-2023-82-2-99-108.

12. Патент № 2771997 Российская Федерация, МПК G01N 25/18. Способ измерения удельного теплового сопротивления и устройство для его осуществления: № 2021137171: заявл. 15.12.2021; опубл. 16.05.2022 / Балалаев А. Н., Паренюк М. А. 16 с. [Balalaev A. N., Parenuk M. A. *Patent No. 2771997 Russian Federation, MPK G01N 25/18. Method for measuring specific thermal resistance and device for its implementation: No. 2021137171: appl. 15.12.2021, publ. 16.05.2022*. 16 p. (In Russ.).]

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Анатолий Николаевич БАЛАЛАЕВ,

д-р техн. наук, профессор, кафедра вагонов, Самарский государственный университет путей сообщения (СамГУПС, 443066, г. Самара, ул. Свободы, д. 2В), Author ID: 267860, https://orcid.org/0000-0003-0839-6858

Мария Анатольевна ПАРЕНЮК,

канд. техн. наук, доцент, кафедра вагонов, Самарский государственный университет путей сообщения (СамГУПС, 443066, г. Самара, ул. Свободы, д. 2В), Author ID: 404616, <https://orcid.org/0000-0001-9965-1310>

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Anatoly N. BALALAEV,

Dr. Sci. (Eng.), Professor, Department of Wagons, Samara State Transport University (443066, Samara, 2v, Freedom St.), Author ID: 267860, <https://orcid.org/0000-0003-0839-6858>

Maria A. PARENJUK,

Cand. Sci. (Eng.), Associate Professor, Department of Wagons, Samara State Transport University (443066, Samara, 2v, Freedom St.), Author ID: 404616, <https://orcid.org/0000-0001-9965-1310>

ВКЛАД АВТОРОВ

Анатолий Николаевич БАЛАЛАЕВ. Методика проведения измерений теплоизоляции вагона, заключающаяся в подаче электроэнергии постоянной мощности на тепловыделяющий элемент, примыкающий одной стороной к исследуемому участку стены кузова пассажирского вагона, и измерении температуры с двух сторон тепловыделяющего элемента каждые две минуты в течение сорока минут, редактирование и подготовка текста рукописи (50%).

Мария Анатольевна ПАРЕНЮК. Методика обработки данных реального и виртуального экспериментов (формулы (1) и (2)), а также методика исследования цифровой модели прибора и 3D-модели кузова пассажирского вагона (50%).

CONTRIBUTION OF THE AUTHORS

Anatoly N. BALALAEV. Method for measuring the thermal insulation of a car by supplying constant electric power to a heating element adjacent to the investigated section of the passenger carriage body wall on one side, and measuring the temperature on both sides of the heating element every two minutes for forty minutes; editing and preparing the text of the manuscript (50%).

Maria A. PARENJUK. Method of processing data from real and virtual experiments (formulas (1) and (2)), and the method for studying the digital model of the tool and a 3D-model of the passenger carriage body (50%).

Авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

The authors have read and approved the final manuscript.

Статья поступила в редакцию 29.06.2023, рецензия от первого рецензента получена 05.07.2023, рецензия от второго рецензента получена 07.07.2023, принята к публикации 19.07.2023.

The article was submitted 29.06.2023, first review received 05.07.2023, second review received 07.07.2023, accepted for publication 19.07.2023.

ПОДПИСКА

.....

«Вестник ВНИИЖТ» ГДЕ подписаться?

Подписку на научно-технический журнал «Вестник Научно-исследовательского института железнодорожного транспорта» («Вестник ВНИИЖТ») можно оформить в любом почтовом отделении связи по Объединенному каталогу «Пресса России», том 1 или агентствах по распространению печатных изданий «Урал-Пресс», АРЗИ и др.

Подписной индекс журнала — 70116.

Также можно оформить подписку (годовую и полугодовую) на договорных условиях в редакции. Адрес редакции журнала: 129626, Москва, 3-я Мытищинская ул., д. 10, тел.: +7 (495) 602-84-56, e-mail: journal@vniizht.ru. Информация о подписке размещена на сайте журнала www.journal-vniizht.ru.

Подписчики стран ближнего и дальнего зарубежья могут оформить подписку на журнал «Вестник ВНИИЖТ» в агентстве «Урал-Пресс» (Ural-Press, export@ural-press.ru).