

ТЕХНИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА

Оригинальная научная статья  
УДК 629.457: 536.2  
EDN: <https://elibrary.ru/wzahwb>  
DOI: <https://doi.org/10.21780/2223-9731-2026-85-2-152-163>  
Научная специальность: 2.9.3. Подвижной состав железных дорог, тяга поездов и электрификация



## Использование метода неравновесных режимов при испытаниях кузовов пассажирских вагонов для оценки и мониторинга их теплотехнического состояния

П. О. Мусерский, С. Н. Науменко✉

Научно-исследовательский институт железнодорожного транспорта (ВНИИЖТ),  
Москва, Российская Федерация

### АННОТАЦИЯ

**Введение.** Теплотехнические показатели кузова пассажирского вагона строго нормируются, а их отклонение в сторону ухудшения от нормы приводит к существенному перерасходу потребляемой энергии, что отражается на увеличении себестоимости перевозки пассажиров. С течением времени, из-за отличающихся условий и полигонов эксплуатации, у каждого кузова серийного вагона величина коэффициента теплопередачи становится индивидуальной, как и тепловые потери через ограждения кузовов. Целью статьи является разработка нового методического подхода на основе коэффициента теплопередачи ограждающих конструкций, который позволит оценивать теплотехническое состояние кузова с меньшей трудоемкостью, более оперативно и не только при заводском выпуске вагона, но и после его ввода в эксплуатацию.

**Материалы и методы.** Расчеты величин среднего коэффициента теплопередачи ограждающих конструкций кузовов вагонов на стоянке выполнены по результатам проведенных теплотехнических испытаний кузовов пассажирских вагонов с применением стандартизированного метода равновесных режимов, а также с использованием метода неравновесных режимов.

**Результаты.** Сравнение расчетных величин среднего коэффициента теплопередачи кузовов четырех пассажирских вагонов, полученных в результате проведения серии теплотехнических испытаний по стандартизированной методике с аналогичными значениями, рассчитанными при использовании метода неравновесных режимов, не превысили 3 %.

**Обсуждение и заключение.** При проведении теплотехнических испытаний кузовов пассажирских вагонов на основе метода неравновесных режимов величина среднего коэффициента теплопередачи ограждающих конструкций вагона может быть определена в производственных условиях за 11 ч без ущерба для точности, что в 7–8 раз быстрее по сравнению с используемым в настоящее время стандартизированным методом. Применение метода неравновесных режимов позволяет организовать контроль нормативного теплотехнического показателя кузова и после ввода вагона в эксплуатацию на протяжении жизненного цикла, открывая возможности для планирования объемов энергопотребления вагонным парком.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** пассажирский вагон, средний коэффициент теплопередачи кузова, теплоограждающая конструкция вагона, метод неравновесных режимов, расход электроэнергии

**ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ:** Мусерский П. О., Науменко С. Н. Использование метода неравновесных режимов при испытаниях кузовов пассажирских вагонов для оценки и мониторинга их теплотехнического состояния // Вестник Научно-исследовательского института железнодорожного транспорта (Вестник ВНИИЖТ). 2026. Т. 85, № 2. С. 152–163. EDN: <https://elibrary.ru/wzahwb>.

Original article

UDK 629.457: 536.2

EDN: <https://elibrary.ru/wzahwb>DOI: <https://doi.org/10.21780/2223-9731-2026-85-2-152-163>

Scientific specialty: 2.9.3. Railway rolling stock, train traction and electrification



## Usage of nonequilibrium modes method in passenger car bodies test for their thermal condition estimation and monitoring

Prokopiyy O. Muserskiy, Sergey N. Naumenko✉

Railway Research Institute,  
Moscow, Russian Federation

### ABSTRACT

**Introduction.** The thermal performance of the passenger car body is strictly regulated, their deviation from the norm leads to a significant excess energy consumption, which is reflected in an increase in the cost of passenger transportation. Over time, due to different operating conditions and ranges, the value of the heat transfer coefficient becomes individual for each production carriage body and heat losses through carriage body guards. The purpose of the article is to develop a new methodological approach based on the heat transfer coefficient of enclosing structures, which would enable to assess the thermal condition of the carriage body with less labor intensity, more quickly and both during the factory production of the car and after its commissioning.

**Materials and methods.** Calculations of the values of the heat transfer average coefficient of the enclosing structures of the carriage bodies at train stand were performed based on the results of thermal engineering tests of passenger carriage bodies using the standardised method of equilibrium modes, as well as the method of nonequilibrium modes.

**Results.** Comparison of the calculated values of the heat transfer average coefficient bodies of four passenger carriage bodies, obtained as a result of a series of thermal engineering tests using a standardised method with similar values calculated according to the method of nonequilibrium modes, did not exceed 3 %.

**Discussion and conclusion.** When conducting thermal engineering tests of passenger carriage bodies based on the method of nonequilibrium modes, the value of the average heat transfer coefficient of the enclosing structures of the car could be determined in production conditions in 11 h without compromising accuracy, which is 7–8 times faster than the currently used standardised method. The use of nonequilibrium mode methods enables to organise control of the normative thermal technical indicator of the carriage body after car commissioning throughout the life cycle, which gives opportunities for planning the volume of car fleet energy consumption.

**KEYWORDS:** passenger carriage, average heat transfer coefficient, heat-insulating enclosing structures of a car, method of nonequilibrium modes, power consumption

**FOR CITATION:** Muserskiy P.O., Naumenko S.N. Usage of nonequilibrium modes method in passenger car bodies test for their thermal condition estimation and monitoring. *Russian Railway Science Journal*. 2026;85(2):152–163. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.21780/2223-9731-2026-85-2-152-163>.

**Введение.** При посадке пассажиров в вагон, а также во время его движения, внутри помещений происходит непрерывное изменение температурно-влажностного режима вследствие воздействия окружающей среды, тепло- и влаговыделения пассажиров. Количество теплотеплопоступлений в вагон летом или тепловых потерь через ограждение вагона в зимний период зависит от теплотехнических показателей кузова, определяющих необходимую мощность штатных энергетических устройств, и, в конечном итоге, влияющих не только на их массу и габариты, но и на тару вагона в целом<sup>1</sup>. Теплотехнические показатели кузова вагона строго нормируются, их отклонение от нормативных величин в сторону ухудшения приводит к существенному перерасходу потребляемой энергии, что отражается на увеличении себестоимости рейсов при перевозке пассажиров.

В соответствии с общими требованиями к конструкции вагона<sup>2</sup> основным теплотехническим показателем кузова является средний коэффициент теплопередачи ограждающих конструкций вагона на стоянке (далее —  $K_{СР}$ ), величина которого не должна превышать значения  $1,0 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$ . Данный параметр контролируется при вводе вагонов в эксплуатацию по результатам проведения заводских теплотехнических испытаний, причем  $K_{СР}$  определяется у одного из кузовов выпускаемой серии, а его величина распространяется на все вагоны серии.

С течением времени, из-за отличающихся условий и полигонов эксплуатации, у каждого кузова серийного вагона величина  $K_{СР}$  становится индивидуальной, соответственно индивидуальными становятся и тепловые потери через ограждения кузовов. Согласно техническим требованиям<sup>3</sup>, в период жизненного цикла пассажирских вагонов увеличение  $K_{СР}$  кузовов допускается не более чем на 10 % в течение 6 лет.

Однако контроль этого показателя, как правило, после ввода вагона в эксплуатацию не осуществляется, а состояние изоляции улучшают только однажды — при проведении капитального ремонта второго объема (далее — КР-2) с частичным вскрытием кузова

до металла и заменой теплоизоляции на вскрытых местах. Для вагонов со сроком службы 28 и 40 лет КР-2 проводится через 18 и 20 лет соответственно<sup>4</sup>, качество изоляции проверяют посредством использования тепловизора<sup>5</sup> после завершения ремонтных работ. Ряд специалистов предлагает снижать данные затраты, выполняя перед проведением ремонта экспресс-анализ качества изоляции и в последующем осуществляя ее замену выборочно [1–4]. Другие, наряду с этим, аргументируют и побуждают к необходимости организации контроля величины  $K_{СР}$  в течение жизненного срока вагона, в частности, что контролировать теплотехнические качества ограждающих конструкций следует сразу же после постройки, ремонта и во время технического обслуживания вагона [5].

Покажем значимость величины  $K_{СР}$  и ее влияние на расход потребляемой электроэнергии, идущей на отопление вагонов, на примере пассажирского поезда, следующего в январе 2025 г. по маршруту № 267И «Иркутск – Москва». Сравним потребление электроэнергии составом, состоящим из 20 купейных вагонов различного года выпуска: 6, 12, 18 и 20 лет (при условии увеличения значения  $K_{СР}$  в соответствии с допустимыми нормативными показателями<sup>6</sup>). Расстояние в 4206 км поезд преодолевает фактически за 75 ч, двигаясь с ходовой скоростью 70 км/ч, при этом средняя температура атмосферного воздуха за январь для каждого участка, согласно данным<sup>7</sup>, меняется на протяжении всего маршрута от  $-18,4$  до  $-7,8$  °С.

Расчет проведен в соответствии с изложенными в методике [6] данными, приведенными для купейных вагонов площадью  $274 \text{ м}^2$ , количеством пассажиров в каждом вагоне, равным 20, и поддерживаемой комфортной температурой воздуха в салоне  $+20$  °С.

Из полученных данных следует, что расход электроэнергии на отопление за один рейс составом, состоящим из новых вагонов, вырастет на 22 % при использовании в поезде вагонов, эксплуатируемых 18 лет, и на 25 % вагонов, эксплуатируемых 20 лет (рис. 1).

<sup>1</sup> Ворон О. А., Яицков И. А., Косаревский В. В., Петрушин А. Д., Булавин Ю. П. Устройство и расчет агрегатов и приводов для систем жизнеобеспечения пассажирских вагонов: учеб.-метод. пособие. Ростов-на-Дону: РГУПС, 2022. 40 с.

<sup>2</sup> ГОСТ 34681–2024. Вагоны пассажирские локомотивной тяги. Общие технические требования: принят Межгосударственным советом по стандартизации, метрологии и сертификации, протокол от 31 июля 2024 г. № 175-П. М.: Российский институт стандартизации, 2024. 45 с.

<sup>3</sup> Памятка ОСЖД О+Р 538/1. Технические требования к термоизоляции и теплотехническим показателям кузовов пассажирских и рефрижераторных вагонов: утв. на заседании Конференции Генеральных директоров (ответственных представителей) железных дорог ОСЖД 20–24 апреля 2009 г., II изд. 5 с.

<sup>4</sup> О введении новой системы технического обслуживания и ремонта пассажирских вагонов: приказ МПС России от 04 апреля 1997 г. № 9Ц.

<sup>5</sup> ЛВ1.0030РК. Вагоны пассажирские. Руководство по капитальному ремонту (КР-2): утв. расп. ОАО «РЖД» от 11 января 2019 г. № 26/р.

<sup>6</sup> Памятка ОСЖД О+Р 538/1. Технические требования к термоизоляции и теплотехническим показателям кузовов пассажирских и рефрижераторных вагонов.

<sup>7</sup> Методика планирования расходов топливно-энергетических ресурсов для отопления служебно-технических вагонов ОАО «РЖД»: утв. расп. ОАО «РЖД» от 06 декабря 2022 г. № 3202р.

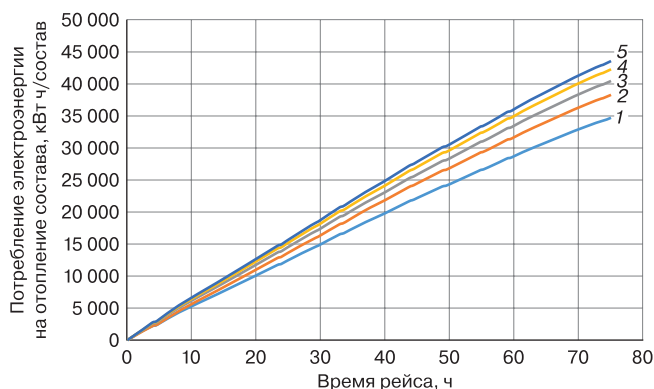


Рис. 1. Динамика расхода электроэнергии, потребляемой на отопление состава из 20 вагонов разного срока эксплуатации на маршруте № 267И «Иркутск – Москва»\*:

1 – новый вагон; 2 – с наработкой 6 лет; 3 – 12 лет;  
4 – 18 лет; 5 – 20 лет

\* Источник: данные авторов

Fig. 1. Dynamics of electricity consumption consumed for 20-car train heating of different service life on route No. 267I "Irkutsk – Moscow"\*:

1 – new wagon; 2 – with a service life of 6 years; 3 – 12 years;  
4 – 18 years; 5 – 20 years

\* Source: authors' data

С учетом информации АО «Федеральная пассажирская компания» (АО «ФПК»)»<sup>8</sup> о среднем возрасте парка пассажирских вагонов дальнего следования, который по состоянию на начало 2025 г. находился на отметке 18,0 лет, а также, что в инвентарном парке имеется 16,6 тыс. вагонов, можно предположить, что дополнительные расходы электроэнергии на их отопление, в частности, в отопительный период 2024–2025 гг. по отношению к парку, который мог бы быть сформирован из новых вагонов, составят около 2,0 млн кВт·ч/парк в сутки, а в год — 650,0 млн кВт·ч/парк соответственно. Разумеется, что не все вагоны отапливаются с помощью электроэнергии, тариф на которую сегодня составляет около 8 руб./кВт·ч, часть из них отапливается менее дорогим натуральным топливом — углем, пеллетами и пр., но с учетом электропотребления установками кондиционирования воздуха в летний период, в целом, дополнительные затраты по парку, зависящие от изменяющегося в процессе эксплуатации вагонов значения  $K_{СР}$ , могут быть достаточно ощутимы и достигать нескольких млрд руб.

В связи с этим, располагая информацией об индивидуальных величинах  $K_{СР}$  кузовов пассажирских вагонов, АО «ФПК» могло бы не только достаточно точно оценивать и планировать объемы потребления энерго-

ресурсов парка на обозримый период, но и управлять ими, перераспределяя вагоны по маршрутам в соответствии с критерием минимальных затрат.

Почему же такой важный показатель, как  $K_{СР}$ , определяют преимущественно только при вводе вагонов в эксплуатацию и не контролируют его величину в течение жизненного цикла? Вероятно, причина кроется в уровне трудоемкости, необходимом для его определения, и, что не менее важно, в возможности обеспечения основных условий, позволяющих добиться требуемой точности при расчете  $K_{СР}$ . В этой связи, в статье проведено исследование технологий, позволяющих уменьшить данную трудоемкость, сохранив при этом требуемую точность при расчете среднего коэффициента теплопередачи.

Как было отмечено ранее, величину  $K_{СР}$  определяют по результатам теплотехнических испытаний, процедура которых регламентирована, в частности, межгосударственным стандартом<sup>9</sup>. Согласно ему испытываемый вагон должен неподвижно находиться в закрытом помещении без воздействия на него солнечных лучей при температуре воздуха  $15 \pm 5$  °С. Кроме того, в течение всего периода испытаний (не менее 13 ч) эта температура не должна изменяться более чем на  $\pm 2$  °С, причем в последний час — не более чем на  $\pm 0,5$  °С. В производственных помещениях цехов заводов и/или депо добиться соблюдения приведенных выше температурных условий без остановки производственного процесса достаточно сложно. В связи с этим испытания планируют, прежде всего, в выходные дни, однако, они могут отличаться нестабильностью сетевого напряжения, что будет сказываться на точности расчета  $K_{СР}$ . В период проведения испытаний для обогрева помещения вагона включают электронагреватели, напряжение которых не должно отличаться от номинального значения более чем на 2%, а температура воздуха внутри вагона при этом в течение как минимум последних 3 ч проведения испытаний не должна изменяться более чем на  $\pm 0,5$  °С. Любой сбой температуры ведет к увеличению длительности эксперимента, что подтверждается на практике. Так, отмечается, что стандартизированный метод измерения среднего коэффициента теплопередачи стен кузова пассажирского вагона отличается большой продолжительностью (до четырех суток) и значительной погрешностью [7]. В международной практике для обеспечения условий проведения теплотехнических испытаний, как правило, используют специальные

<sup>8</sup> Отчетность компании. Годовые отчеты // РЖД. Федеральная пассажирская компания. URL: <https://fpc.ru/ru/7034?ysclid=mo9x3jpkt3810651699>.

<sup>9</sup> ГОСТ 33661–2015. Ограждающие конструкции помещений железнодорожного подвижного состава. Методы испытаний по определению теплотехнических показателей: введен в действие приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 15 января 2016 г. № 3-ст. М.: Стандартинформ, 2016. 25 с.

теплоизолированные станции, позволяющие поддерживать внутри стабильную температуру воздуха и неизменную мощность работы электронагревателей. Проведение испытаний также характеризуется высокой трудоемкостью, связанной с монтажом и демонтажом датчиков температуры, подключением электронагревателей, стабилизирующей и измерительной аппаратуры, потреблением значительных энергетических ресурсов, расходуемых на отопление производственного помещения и работу электроприборов в течение как минимум 100 ч.

Далее рассмотрим возможность определения величины  $K_{\text{СР}}$  в производственных условиях в течение не более 13 ч, рекомендованных ГОСТ 33661–2015<sup>10</sup>, а также перспективы организации контроля над нормативным теплотехническим показателем после ввода кузова в эксплуатацию.

**Материалы и методы.** Схожие вопросы достаточно давно ставились при оценке теплотехнического состояния изотермических вагонов. Так, еще в 1976 г. Е. Т. Бартош отмечал, что «современные рефрижераторные депо и ремонтные заводы не располагают специальными изотермическими помещениями, т. е. практически лишены возможности проверки общего состояния ремонтируемого кузова вагона» [8, с. 259]. В связи с этим предлагалось разработать такие методы контроля, которые с некоторым ущербом для точности позволяли бы оценивать характеристику ограждения путем непродолжительных опытов непосредственно в ремонтных цехах. Впервые такой метод, в котором для определения  $K_{\text{СР}}$  использованы неравновесные процессы нагрева и охлаждения воздуха в вагоне, был опубликован еще в 1965 г. [9]. Проведенные в ЦНИИ МПС (ныне — АО «ВНИИЖТ») исследования показали, что даже в самых благоприятных расчетных условиях погрешность метода достигала 14%. Дальнейшее его развитие в трудах В. Леви, Л. Путца, Ф. Фокенса, Н. Мефферта, Е. Т. Бартоша, К. В. Иванова, С. А. Сапожникова и др. позволило увеличить точность расчета  $K_{\text{СР}}$  до 2%. Однако из-за существенного влияния коэффициента теплоусвоения кузова вагона результаты такой точности достигались, например, с электронагревателями мощностью около 3 кВт ориентировочно за 30 ч [8].

Учесть влияние коэффициента теплоусвоения кузова вагона и сохранить точность расчета  $K_{\text{СР}}$  удалось

только в 1992 г. после разработки способа неравновесных режимов<sup>11</sup>. Суть способа и пример его использования подробно изложены в [10]. Для выполнения расчета была предложена зависимость изменения темпа перепада температур, полученная опытным путем:

$$\frac{d\Delta t}{d\tau} = B\Delta t^A, \quad (1)$$

где  $\Delta t$  — перепад температур воздуха внутри и снаружи кузова вагона, °С;

$\tau$  — время проведения эксперимента, ч;

$A$  и  $B$  — постоянные коэффициенты.

Формула (1) описывает начало процесса нагрева воздуха в вагоне, который затем в некоторой точке  $\tau_k$  переходит в равновесный режим, которому соответствует выражение:

$$\frac{d\Delta t}{d\tau} = \frac{Q}{W} - \frac{K_{\text{СР}}F}{W}\Delta t, \quad (2)$$

где  $Q$  — мощность электронагревателя, Вт;

$W$  — водяной эквивалент кузова;

$F$  — среднегеометрическая площадь кузова, м<sup>2</sup>.

Выражением (1) может быть описан и процесс остывания воздуха в вагоне после его первоначального нагрева и при последующем снижении мощности электронагревателя. Описанные уравнениями (1) и (2) последовательно рассматриваемые процессы нагрева и остывания кузова с последующим их решением относительно  $K_{\text{СР}}$  позволяют определить искомую величину коэффициента. Однако даже в этом случае общая продолжительность эксперимента составляла около суток. Тем не менее разработанная на основании этого способа методика нашла широкое применение в 1990-х — начале 2000-х гг. в цехах рефрижераторных вагоноремонтных заводов при проверке общего состояния ремонтируемых кузовов изотермических вагонов.

Дальнейший поиск методических подходов для ускорения испытаний привел к варианту, при котором длительность расчета  $K_{\text{СР}}$  была сокращена ориентировочно в два раза за счет исключения из последовательного анализа процесса остывания воздуха в кузове вагона<sup>12</sup>. Учет динамики снижения перепада температур в процессе остывания в этом способе достигнут за счет того, что была найдена возможность один

<sup>10</sup> Там же.

<sup>11</sup> Авторское свидетельство № 1730572 А1 СССР, МПК G01N 25/18. Способ определения среднего коэффициента теплопередачи кузова транспортного средства: № 4774819: заявл. 02.01.1990: опубл. 30.04.1992 / И. П. Екимовский, А. В. Коковихин, А. А. Крылов [и др.]; заявитель ВСЕСОЮЗНЫЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА. EDN: <https://elibrary.ru/timono>.

<sup>12</sup> Патент № 2269768 С1 Российская Федерация, МПК G01N 25/18, G01M 17/00. Способ определения среднего коэффициента теплопередачи кузова транспортного средства: № 2004129988/11: заявл. 12.10.2004: опубл. 10.02.2006 / С. Н. Науменко, Н. С. Теймуразов. EDN: <https://elibrary.ru/yxsgck>.

и тот же процесс начала нагрева воздуха в кузове вагона дважды аппроксимировать двумя разными уравнениями вида (1), которые с точки зрения конечного результата равнозначно заменяли начальные участки нагрева и остывания.

Параллельно разрабатывались и другие способы уменьшения времени проведения испытаний, среди которых для практического использования были рассмотрены методические подходы, описанные в стандарте<sup>13</sup> и в работе<sup>14</sup>. Они оказались не универсальными: первый, продолжительностью 3,5 ч, был разработан исключительно для определения  $K_{СР}$  в помещениях небольших объемов (кабины, салоны и др.) в составе локомотивов, моторвагонного и специального подвижного состава, а расчет по второму, длительностью от 5,5 до 11 ч, предусматривал получение значений  $K_{СР}$  лишь в пределах от 0 до 1,0 Вт/(м<sup>2</sup>·К), что явно недостаточно для оценки всего диапазона теплотехнических свойств кузовов пассажирских вагонов.

Поиск иных способов ускоренного определения  $K_{СР}$  для кузовов вагонов или автомобилей ожидаемых результатов не дал. Так, в стандартах Европы<sup>15</sup> и Китая (КНР)<sup>16</sup> для определения  $K_{СР}$  рекомендован к применению метод равновесных режимов, как и в стандартной методике<sup>17</sup>. В большей части зарубежных публикаций по данной тематике рассмотрены решения в области числового моделирования  $K_{СР}$  кузовов пассажирских вагонов [11–12] или механизмы определения параметров теплопередачи посредством разработки программных комплексов<sup>18</sup> [13]. В основе российских стандартов также лежат методы равновесных режимов. Среди других публикаций в отечественных научных изданиях отмечены труды<sup>19, 20</sup>, посвященные вопросам повышения безопасности

при проведении тепловых измерений, моделирования процессов нагрева<sup>21</sup> (без учета влияния величины коэффициента теплоусвоения кузова) и практически во всех — увеличения точности значений  $K_{СР}$  при проведении экспериментов.

В целом касательно оценки точности следует согласиться со многими исследователями, в том числе с авторами [3, 7], которые отмечают, что наличие многочисленных металлических элементов довольно сложной геометрической формы в многослойных стенках кузова вагона, зависящих, в свою очередь, от коэффициента теплопроводности его конструктивных элементов, делает точное расчетное определение  $K_{СР}$  практически невозможным. Можно говорить лишь о методах, дающих наибольшие приближения расчетных и истинных средних теплофизических характеристик ограждения. На основе большого практического опыта в проведении теплотехнических испытаний специалистами был сделан финальный вывод об оценке точности величины  $K_{СР}$  кузовов пассажирских вагонов методом равновесных режимов, а именно: «...на данный момент единственный стандартизованный метод определения  $K_{СР}$  дает возможность лишь подтвердить соответствие вагона нормативным требованиям, но не определить его точно» [7, с. 349].

Следовательно, исходя из условий обеспечения проведения оценки  $K_{СР}$  кузовов пассажирских вагонов в производственных цехах как по длительности, так и по точности ожидаемых результатов, для решения поставленной задачи более детально был изучен способ неравновесного определения коэффициента теплопередачи для изотермического транспортного средства<sup>22</sup>. Способ разработан преимущественно

<sup>13</sup> СТ ССФЖТ ЦТ-ЦП129-2002. Локомотивы, моторвагонный и специальный подвижной состав железных дорог. Кабины, салоны, служебные и бытовые помещения. Методики испытаний по показателям систем обеспечения микроклимата. М., 2002. 56 с.

<sup>14</sup> Голубин А. А. Экспресс-оценка величины коэффициента теплопередачи изотермического вагона: автореф. дисс. канд. техн. наук: 05.22.07. М., 2018. 24 с.

<sup>15</sup> EN13129:2016. Railway applications. Air conditioning for main line rolling stock. Comfort parameters and type tests. URL: <https://standards.iteh.ai/catalog/standards/cen/841975df-fef2-4a01-b1a1-21361a6784cd/en-13129-2016> (дата обращения: 20.03.2026).

<sup>16</sup> TB/T 1674-1993. Heat Insulation Test Method for Passenger Train. Railway & Train Industry Standard (Recommended). URL: <https://www.chinesestandard.net/PDF/English.aspx/TBT1674-1993> (дата обращения: 20.03.2026).

<sup>17</sup> ГОСТ 33661–2015. Ограждающие конструкции помещений железнодорожного подвижного состава. Методы испытаний по определению теплотехнических показателей.

<sup>18</sup> US3971246A. Method and apparatus for measuring the coefficient of thermal conductivity of a sample / Sadao Sumikama, Nobuyoshi Tanaka, Yoshiaki Arakawa, Katsushi Akama. 1973.

<sup>19</sup> Патент № 2512663 С2 Российская Федерация, МПК G01N 25/18, G01N 25/72. Устройство определения сопротивления теплопередачи многослойной конструкции в реальных условиях эксплуатации: № 2011143472/28: заявл. 28.10.2011; опубл. 10.04.2014 / Н. А. Быстрова, Д. И. Галкин, Е. В. Абрамова [и др.]. EDN: <https://elibrary.ru/uuzbfy>.

<sup>20</sup> Патент № 2518224 С1 Российская Федерация, МПК G01N 25/18. Способ исследования нестационарного теплового режима твердого тела: № 2012156990/28: заявл. 25.12.2012; опубл. 10.06.2014 / Д. Ф. Карпов, М. В. Павлов, А. А. Синицын [и др.]; заявитель ФГБОУ ВПО «Вологодский государственный университет» (ВоГУ). EDN: <https://elibrary.ru/unimid>.

<sup>21</sup> Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2013612487 Российская Федерация. Программа для определения установившейся температуры электрического аппарата по частично снятой кривой нагрева / Приходченко О. В., Просолович А. А.; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВПО «КНАГТУ». № 2013610083; заявл. 11.01.2013; опубл. 01.03.2013.

<sup>22</sup> Патент № 2269768 С1 Российская Федерация, МПК G01N 25/18, G01M 17/00. Способ определения среднего коэффициента теплопередачи кузова транспортного средства.

для условий проведения испытаний в специальной испытательной станции, требования к которой более жесткие<sup>23</sup>, чем в методе равновесных режимов по ГОСТ 33661–2015. Так, максимальные колебания средней температуры снаружи кузова в течение всей продолжительности проведения испытаний на станции не должны превышать  $\pm 0,5\text{ }^\circ\text{C}$  (в методе —  $\pm 2,0\text{ }^\circ\text{C}$ ), причем в последние 6 ч устойчивого равновесного состояния — не более  $\pm 0,3\text{ }^\circ\text{C}$  (в методе —  $\pm 0,5\text{ }^\circ\text{C}$ ), а, например, разница между показателями мощности электронагревателя в начале периода устойчивого равновесного состояния и через 6 ч после него не должна превышать 3%. Соответственно, были приняты во внимание предположения о низкой точности ожидаемых результатов расчета. Тем не менее, способ был взят за основу для решения поставленной задачи.

**Результаты исследования.** Первое, что предстояло определить, это минимальное время нагрева воздуха в кузове вагона —  $\tau$ , ч, которое необходимо для аппроксимации с заданной точностью изменения во времени величины  $\Delta t$  уравнениями степенной функции вида (1).

Изначально для этих целей были приняты данные натурных испытаний автономного рефрижераторного вагона общей продолжительностью  $\tau = 14\text{ ч}$  (7 ч нагрев и 7 ч остывание), приведенные в работе [10]. Исследования показали, что для расчета  $K_{\text{СР}}$  7-часового периода нагрева воздуха явно недостаточно, поскольку расчетные значения коэффициента не совпали с экспериментальными: 0,426 — по [10] и 0,769 Вт/(м<sup>2</sup>·К) — по способу<sup>24</sup>. Последующие расчеты  $K_{\text{СР}}$  с использованием экспериментальных данных, полученных при испытаниях грузовых рефрижераторных вагонов с различными вариациями мощностей электронагревателей и длительностью их проведения  $\tau$  от 5,5 до 24 ч, показали, что для определения  $K_{\text{СР}}$  по способу время нагрева воздуха в кузове вагона должно быть не менее 11 ч. Только в этом случае результаты расчета  $K_{\text{СР}}$  показывают близкие величины и практически не отличаются от значений, полученных при использовании метода равновесных режимов.

Было выявлено, что критерием, подтверждающим целесообразность применения указанного способа, является расчетное значение перепада температур воздуха внутри и снаружи кузова вагона —  $\Delta t_{ki}$ , величина которого должна находиться в диапазоне используемых для расчета  $K_{\text{СР}}$  экспериментальных данных  $\Delta t$ , полученных за время  $\tau$ .

Перепад температур рассчитывается по формуле:

$$\Delta t_{ki} = \frac{-Q_i(1 - B)}{K_{\text{СР}i}FB}. \quad (3)$$

Так, на графике (рис. 2), построенном в координатах  $(\Delta t; \frac{d\Delta t}{d\tau})$  по результатам проведения теплотехнических испытаний кузова пассажирского вагона модели 61-4447, находящаяся на границе неравновесного и равновесного режима точка  $\Delta t_k$ , имеющая значение  $+14,6\text{ }^\circ\text{C}$ , попадает в 11-часовой интервал расчетных данных  $\Delta t = +3,9...+15,7\text{ }^\circ\text{C}$ . Полученное в расчете значение  $K_{\text{СР}} = 0,669\text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$  лишь незначительно ( $\approx$  на 2,4%) отличается от значения  $K_{\text{СР}} = 0,653\text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$ , определенного по результатам теплотехнических испытаний [14], выполненных по равновесному методу.

При сопоставлении расчетных и экспериментальных данных следует учитывать погрешности величин, измеряемых в процессе проведения теплотехнических испытаний, и только после этого оценивать точность расчетной модели определяющих параметров.

Выполним такую оценку по итогам проведенных специалистами Тверского института вагоностроения

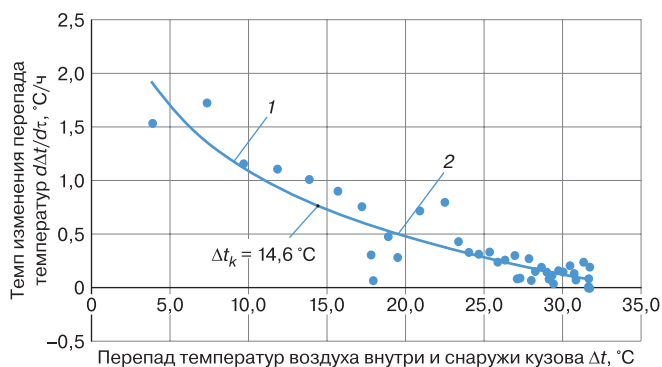


Рис. 2. Динамика перепада температур воздуха внутри и снаружи кузова пассажирского вагона модели 61-4447 в период проведения теплотехнических испытаний\*:

- 1 — неравновесный режим (от  $\Delta t = 3,9\text{ }^\circ\text{C}$  до точки  $\Delta t_k = 14,6\text{ }^\circ\text{C}$ );
- 2 — равновесный режим (от точки  $\Delta t_k = 14,6\text{ }^\circ\text{C}$  до окончания испытаний)

\* Источник: данные авторов

Fig. 2. Dynamics of air temperature difference inside and outside of model 61-4447 passenger carriage body during thermal engineering tests\*:

- 1 — nonequilibrium mode (from  $\Delta t = 3.9\text{ }^\circ\text{C}$  to the point  $\Delta t_k = 14.6\text{ }^\circ\text{C}$ );
- 2 — equilibrium mode (from the point  $\Delta t_k = 14.6\text{ }^\circ\text{C}$  to the end of the tests)

\* Source: authors' data

<sup>23</sup> Соглашение о международных перевозках скоропортящихся пищевых продуктов и о специальных транспортных средствах, предназначенных для этих перевозок (СПС). Организация Объединенных Наций, 2024. URL: [https://unece.org/sites/default/files/2025-01/ATP%202024\\_R\\_pdf\\_web\\_protected.pdf](https://unece.org/sites/default/files/2025-01/ATP%202024_R_pdf_web_protected.pdf) (дата обращения: 22.03.2026).

<sup>24</sup> Патент № 2269768 С1 Российская Федерация, МПК G01N 25/18, G01M 17/00. Способ определения среднего коэффициента теплопередачи кузова транспортного средства.

(АО НО «ТИВ») испытаний четырех пассажирских вагонов [14]. Следует отметить, что испытания проведены в соответствии со стандартизированной методикой, были соблюдены все условия их проведения. Продолжительность полных циклов испытаний составила от 76 до 86 ч. Вид вагона, находящегося на испытательной позиции, приведен на рис. 3.

Для корректного сопоставления расчетных величин  $K_{CP}$  в таблице 1 (столбцы 4–7) приведены промежуточные результаты средних значений определяющих параметров, полученных за первые 11 ч проведения испытаний и использованных в последующем для расчета  $K_{CP}$  по неравновесному способу<sup>25</sup>. В качестве критерия оценки выбран коэффициент детерминации  $R^2$  (столбец 8), показывающий, насколько точно экспериментальные данные  $\Delta t_{i(0-11)}$  соответствуют линии регрессии, описанной уравнением степенной функции (1).

В столбцах 10–15 даны экспериментальные значения определяющих параметров за последний час проведения испытаний (согласно требованиям методики), принятые для расчета  $K_{CP}$ . Результаты косвенного измерения значения  $K_{CP}$  с вероятностью 0,95, находящегося в пределах  $K_{CP.изм} - \varepsilon_k < K_{CP} < K_{CP.изм} + \varepsilon_k$  (столбец 16), где  $K_{CP.изм}$  — значение, полученное



Рис. 3. Пассажирский вагон на испытательной позиции, ОАО «Тверской вагоностроительный завод»  
\* Источник: данные авторов

Fig. 3. Passenger car at test site, JSC Railwaycar-Building Works Tver\*  
\* Source: authors' data

Таблица 1

Результаты сопоставления расчетных значений  $K_{CP}$  кузовов пассажирских вагонов\*

Table 1

Comparison results of  $K_{CP}$  calculated values of passenger carriage bodies\*

№ п/п	Тип вагона и состояние	Интервал времени $t$ , ч	Неравновесный метод						Равновесный метод						Расчетные значения $K_{CP}$ в пределах $K_{CP.изм} - \varepsilon_k < K_{CP} < K_{CP.изм} + \varepsilon_k$ Вт/(м <sup>2</sup> ·К)	Минимальные отклонения $\delta$ , %
			Средняя темп. воздуха в цехе $t_{Ц}$ , °С	Колебания темп. воздуха в цехе $\Delta t_{Ц}$ , °С	Мощность электронагревателя $Q$ , кВт	Колебания мощн. электронагревателя $\Delta Q$ , %	Коэфф. детерминации $R^2$	Средний коэффициент теплоперед. огражд. конструкций вагона $K_{CP}$ , Вт/(м <sup>2</sup> ·К)	Средняя темп. воздуха в цехе $t_{Ц}$ , °С	Колебания темп. воздуха в цехе $\Delta t_{Ц}$ , °С	Средняя темп. воздуха в вагоне $t_{В}$ , °С	Колебания темп. воздуха в вагоне $\Delta t_{В}$ , °С	Мощность электронагревателя $Q$ , кВт	Колебания мощн. электронагревателя $\Delta Q$ , %		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
1	61-4447 (новый)	86	14,0	0,9	5,82	3,4	0,986	0,669	12,2	0,1	44,6	0,1	5,99	0,5	$0,625 \leq 0,653 \leq 0,681$	2,4
2	61-425 (после КВР)	84	16,1	0,3	8,70	2,2	0,988	0,948	16,3	0,1	49,7	0,1	8,59	0,3	$0,936 \leq 0,976 \leq 1,016$	2,9
3	61-4495 (новый)	84	13,8	0,5	7,11	2,8	0,987	0,861	14,7	0,1	43,5	0,1	7,08	0,4	$0,828 \leq 0,866 \leq 0,904$	0,6
4	61-8444 (новый)	76	15,5	1,4	4,98	3,0	0,995	0,775	15,5	0,1	43,1	0,1	4,58	1,0	$0,856 \leq 0,896 \leq 0,936$	13,5

\* Источник: данные авторов  
\* Source: authors' data

<sup>25</sup> Там же.

при обработке результатов измерений;  $\varepsilon_k$  — значение погрешности косвенного измерения  $K_{CP}$ , определенное по формуле:

$$\varepsilon_k = \sqrt{\left(\frac{\partial K_{CP}}{\partial Q}\right)^2 \varepsilon_Q^2 + \left(\frac{\partial K_{CP}}{\partial \Delta t}\right)^2 \varepsilon_{\Delta t}^2 + \left(\frac{\partial K_{CP}}{\partial F}\right)^2 \varepsilon_F^2}, \quad (4)$$

где  $\left(\frac{\partial K_{CP}}{\partial Q}\right)^2, \left(\frac{\partial K_{CP}}{\partial \Delta t}\right)^2, \left(\frac{\partial K_{CP}}{\partial F}\right)^2$  — частные производные функции  $K_{CP}$ , вычисленные при значении переменных, соответствующих средним значениям  $Q, \Delta t, F$ ;

$\varepsilon_Q, \varepsilon_{\Delta t}, \varepsilon_F$  — погрешности результатов измерений величин  $Q, \Delta t, F$ .

В столбце 17 приведены величины отклонений средних расчетных значений  $K_{CP}$ , представленных в столбце 9, от значений  $K_{CP}$ , определенных по результатам проведения эксперимента и указанных в столбце 16.

Из таблицы видно, что температура воздуха в помещении цеха во время проведения испытаний соответствовала требованиям метода и находилась в пределах  $15 \pm 5$  °С, а ее изменения не превысили  $\pm 2$  °С, причем в последний час — не более  $\pm 0,5$  °С. Относительно стабильности и поддержания величины мощности электронагревателей в период проведения испытаний можно отметить, что при незначительных изменениях в первые 11 ч ( $\approx 2,8$  %) и в последний час ( $\approx 0,6$  %), ее колебания для первых трех исследуемых вагонов в целом составили около 1,5 %, что также соответствовало требованиям. При испытаниях четвертого вагона зарегистрировано сверхнормативное снижение мощности на 8 % (с 4,98 до 4,58 кВт), что неизбежно отразилось на точности расчета  $K_{CP}$  ( $\delta = 13,5$  %).

При исследовании значений определяющих параметров, полученных за первые 11 ч проведения испытаний, отмечено, что их отклонения от средних величин соответствовали установленным требованиям. При этом коэффициент детерминации  $R^2$  (в диапазоне 0,986–0,995) показал, что уравнение степенной функции достаточно точно описывает изменения перепада температур воздуха внутри и снаружи кузова при начальном процессе нагрева воздуха в вагоне.

Таким образом, применение выбранного способа расчета  $K_{CP}$  для исследуемых кузовов пассажирских вагонов при условии соблюдения требований метода в первые 11 ч проведения теплотехнических испытаний

позволили рассчитать величины  $K_{CP}$ , которые попали в интервалы, полученные при косвенных измерениях значений  $K_{CP}$  с вероятностью 0,95. Расчетные значения погрешностей косвенных измерений  $K_{CP} - \varepsilon_k$ , как видно из данных таблицы (столбец 16), не превысили величины 0,040 Вт/(м<sup>2</sup>·К) и уложились в диапазон  $\pm 4,09$ – $4,46$  %. Здесь стоит отметить, что значения неопределенности, приведенные по результатам межлабораторных сличительных испытаний по оценке  $K_{CP}$  кузовов пассажирских вагонов испытательными лабораториями ИЦ АО НО «ТИВ» и ИЦ ФГУП ВНИИЖГ Роспотребнадзора, не превышают значения 0,06 Вт/(м<sup>2</sup>·К)<sup>26</sup>.

Полученные минимальные отклонения  $\delta$  определили возможность для разработки соответствующей методики и расчетно-программного комплекса (РПК «ТЕПЛОМИГ») <sup>27, 28</sup>. Данное программное обеспечение содержит алгоритм по проведению расчета  $K_{CP}$  с использованием экспериментальных данных за первые 11,5 ч проведения теплотехнических испытаний по методике<sup>29</sup> с установленным в ней интервалом 30 мин. В РПК «ТЕПЛОМИГ» включены методические материалы для корректного проведения испытаний: руководство пользователя, схема расстановки датчиков температуры, порядок проведения и описание метода испытаний по равновесному режиму; при этом алгоритм расчета по определению  $K_{CP}$  выделен отдельной вкладкой. После получения информации об экспериментальных данных и проведения расчета  $K_{CP}$  все входные и выходные параметры визуализируются в диалоговом окне. Далее, при необходимости, они автоматически встраиваются в типовую форму протокола испытаний. В итоге, после внесения дополнительных сведений об объекте испытаний и заказчике протокол может быть сформирован для подписания и утверждения.

В качестве примера в табл. 2 и на рис. 4 представлены результаты экспериментальных данных, полученных за первые 11,5 ч проведения теплотехнических испытаний кузова нового вагона модели 61-4495, достаточные для расчета  $K_{CP}$ . После введения исходных данных в РПК и нажатия на вкладку «Расчет 30 мин» формируется диалоговое окно с расчетным значением  $K_{CP} = 0,861$  Вт/м<sup>2</sup>·К и величиной абсолютной погрешности 0,043 Вт/м<sup>2</sup>·К.

<sup>26</sup> Техническое заключение № 121 о соответствии показателя «коэффициент теплопередачи кузова вагона» модели 61-4472.04 для пассажирских вагонов моделей 61-4465, 61-4473, 61-4523, 61-4524, 61-4525 (всех исполнений) от 29 августа 2023 г. ФГУП ВНИИЖТ. С. 9.

<sup>27</sup> Там же.

<sup>28</sup> Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2023661026 Российская Федерация. Расчетно-программный комплекс «ТЕПЛОМИГ» (РПК «ТЕПЛОМИГ») по определению среднего коэффициента теплопередачи кузовов пассажирских вагонов: № 2023619018; заявл. 05.05.2023; опубл. 25.05.2023 / А. А. Крылов, А. В. Кузнецов, С. Н. Наumenко, П. О. Мусерский; заявитель АО «Научно-исследовательский институт железнодорожного транспорта». EDN: <https://elibrary.ru/qgysky>.

<sup>29</sup> ГОСТ 33661–2015. Ограждающие конструкции помещений железнодорожного подвижного состава. Методы испытаний по определению теплотехнических показателей.

Таблица 2

Экспериментальные результаты, полученные за первые 11,5 ч теплотехнических испытаний кузова пассажирского вагона модели 61-4495\*

Table 2

Experimental results obtained during the first 11.5 h of thermal engineering tests of model 61-4495 passenger carriage body\*

Число замеров $n$	Время от начала замера при нагреве $t$ , ч	Перепад температур воздуха $\Delta t_{cp} = t_{вн}^{cp} - t_{нар}^{cp}$ , °C	Число замеров $n$	Время от начала замера при нагреве $t$ , ч	Перепад температур воздуха $\Delta t_{cp} = t_{вн}^{cp} - t_{нар}^{cp}$ , °C
1	0	6,0	13	6	14,0
2	0,5	6,7	14	6,5	14,4
3	1	7,5	15	7	14,9
4	1,5	8,3	16	7,5	15,4
5	2	9,1	17	8	15,8
6	2,5	9,7	18	8,5	16,2
7	3	10,4	19	9	16,5
8	3,5	11,1	20	9,5	16,9
9	4	11,8	21	10	17,2
10	4,5	12,3	22	10,5	17,5
11	5	12,9	23	11	17,8
12	5,5	13,5	24	11,5	18,1

\* Источник: данные авторов

\* Source: authors' data

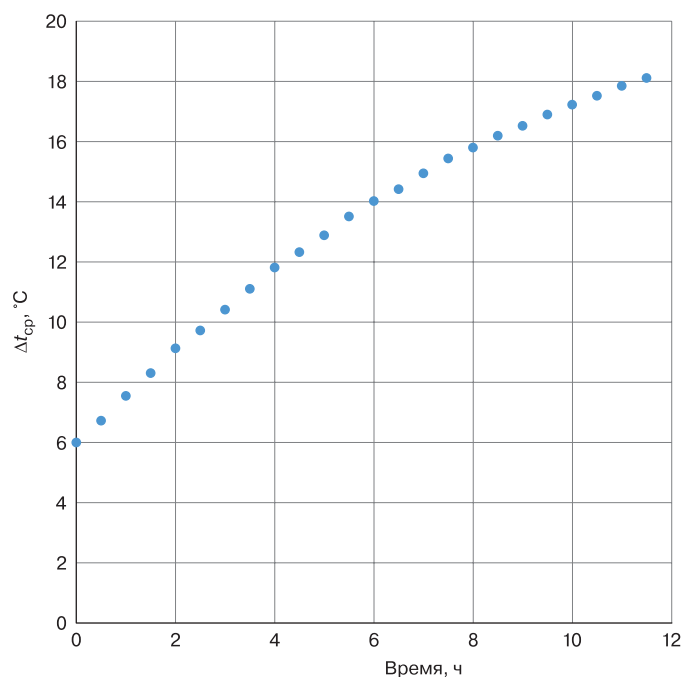


Рис. 4. Зависимость перепада температур воздуха внутри и снаружи кузова пассажирского вагона модели 61-4495 от времени проведения теплотехнических испытаний\*

\* Источник: данные авторов

Fig. 4. Dependence of air temperature difference inside and outside of model 61-4495 passenger carriage body on thermal engineering tests time\*

\* Source: authors' data

**Обсуждение и заключение.** Выполненный анализ показал, что при выпуске пассажирских вагонов в эксплуатацию величина среднего коэффициента теплопередачи ограждающих конструкций вагона на стоянке  $K_{СР}$  может быть определена при проведении теплотехнических испытаний в производственных условиях за 11–13 ч без ущерба для точности, что в 7–8 раз быстрее по сравнению с используемым в настоящее время стандартизированным методом. Применение для этих целей методов неравновесных режимов позволяет организовать контроль нормативного теплотехнического показателя кузова не только при заводском выпуске вагонов, но и после их ввода в эксплуатацию на протяжении жизненного цикла, открывая возможности для планирования объемов энергопотребления вагонным парком и управления им путем перераспределения вагонных единиц по маршрутам и сезонам в соответствии с критерием минимальных затрат.

**Благодарности:** авторы выражают благодарность главному специалисту АО НО «ТИВ» Артему Олеговичу Мейстеру за помощь в написании статьи, а также рецензентам за полезные замечания, способствовавшие улучшению статьи.

**Acknowledgments:** the authors express gratitude to the chief specialist of JSC NO TIV Artyom O. Meister for assistance in article writing, and to the reviewers for useful comments that contributed to the improvement of the article.

**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

1. Клюка В. П., Стариков А. П., Кузьменко Д. Ю., Попов А. А. Испытание пассажирских вагонов железных дорог на теплоустойчивость // Известия Транссиба. 2015. № 2 (22). С. 6–12. EDN: <https://elibrary.ru/udyich>.
2. Стариков А. П., Кузьменко Д. Ю. Определение теплотехнических свойств пассажирского вагона // Инновационные проекты и технологии в образовании, промышленности и на транспорте: материалы научной конференции. Омск: ОмГУПС, 2016. С. 290–297. EDN: <https://elibrary.ru/wlohsr>.
3. Стариков А. П., Кузьменко Д. Ю. Determination thermal properties passenger cars. *Innovative projects and technologies in education, industry and transport. Materials of the scientific conference*. Omsk: Omsk State University of Transport; 2016. P. 290–297. (In Russ.). EDN: <https://elibrary.ru/wlohsr>.

3. Балалаев А. Н., Козеев Я. И., Пареньюк М. А. Опыт экспресс-анализа качества теплоизоляции стенок пассажирского вагона // Наука и образование транспорту. 2023. № 1. С. 17–22. EDN: <https://elibrary.ru/qciexq>.
4. Балалаев А. Н., Пареньюк М. А. The experience of express analysis of the quality of thermal insulation of passenger car walls. *Science and education for transport*. 2023;(1):17–22. (In Russ.). EDN: <https://elibrary.ru/qciexq>.
4. Балалаев А. Н., Пареньюк 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>. EDN: <https://elibrary.ru/ryhcqe>.
5. Селезнев А. В., Ворон О. А. Применение тепловизионного контроля ограждающих конструкций вагонов // Труды Ростовского государственного института путей сообщения. 2013. № 2. С. 113–116. EDN: <https://elibrary.ru/rvqihz>.
5. Селезнев А. В., Ворон О. А. Application of thermal vision control of protecting constructions of cars. *Trudy Rostovskogo Gosudarstvennogo Universiteta Putej Soobsheniya*. 2013;(2):113–116. (In Russ.). EDN: <https://elibrary.ru/rvqihz>.
6. Жариков В. А., Китаев Б. Н., Разаренова Л. В. Методика определения расхода энергии на отопление пассажирских вагонов // Всерос. НИИ ж.-д. трансп. М.: Транспорт, 1994. 24 с.
6. Zhariikov V. A., Kitaev B. N., Razarenova L. V. Methodology for determining energy consumption for heating passenger cars. *All-Russian Research Institute of Railway Transport*. Moscow: Transport; 1994. 24 p. (In Russ.).
7. 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. <https://doi.org/10.21780/2223-9731-2019-78-6-344-350>. EDN: <https://elibrary.ru/atitcr>.
7. 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.). <https://doi.org/10.21780/2223-9731-2019-78-6-344-350>. EDN: <https://elibrary.ru/atitcr>.
8. Бартош Е. Т. Энергетика изотермического подвижного состава. М.: Транспорт, 1976. 303 с.
8. Bartosh E. T. *Power engineering of isothermal rolling stock*. Moscow: Transport; 1976. 303 p. (In Russ.).
9. Kriha J. Instationäre Zustände bei messungen der Wärmedurchgangszelf auf Kühlfarzeugen und Bahältern, deren Auswirkung und Berechnung. *Kältetechnik*. 1965;(8):239–244.
10. 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. EDN: <https://elibrary.ru/kwpryl>.
10. Teimurazov N. S., Naumenko S. N. Accelerated methods for estimating the heat transfer coefficient of insulated vehicle bodies. *Russian Railway Science Journal*. 2009;(5):18–21. (In Russ.). EDN: <https://elibrary.ru/kwpryl>.
11. Zang J. B., Cai M. W., Gao N. P. Numerical simulation of body heat transfer coefficient test of a railway vehicle. *Advanced Materials Research*. 2011;291–294:1713–1721. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/amr.291-294.1713>.
12. Shi S., Gao H. X., Li M., Liu B. Calculation of coach body heat transfer coefficient for the high-speed railway train in China. *Advanced Materials Research*. 2013;805–806:562–569. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMR.805-806.562>.

13. Hofstädter R. N., Zero T., Dullinger C., Richter G., Kozek M. Heat capacity and heat transfer coefficient estimation for a dynamic thermal model of rail vehicles. *Mathematical and Computer Modelling of Dynamical Systems*. 2017;23(5):439–452. <https://doi.org/10.1080/13873954.2016.1263670>.

14. Мейстер А.О., Юхневский М.А. Определение среднего коэффициента теплопередачи кузовов пассажирских вагонов // Проблемы и перспективы развития вагоностроения: тезисы VI науч.-практич. конф., 18–19 декабря 2014 г. Брянск: БГТУ, 2014. С. 93–95.

Meyster A. O., Yukhnevskiy M. A. Methodical issues of determination of the average heat transfer coefficient of the passenger car body. *Problems and prospects of car building development: abstracts of the Sixth Scientific and Practical Conference, 18–19<sup>th</sup> December, 2014*. Bryansk: BSTU; 2014. P. 93–95. (In Russ.).

## ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

### **Прокопий Олегович МУСЕРСКИЙ,**

заместитель начальника центра, центр «Электрификация и теплоэнергетика» (ЦЭТ), Научно-исследовательский институт железнодорожного транспорта (ВНИИЖТ, 129626, Россия, г. Москва, ул. 3-я Мытищинская, д. 10, стр. 1), SPIN-код: 9468-6229, <https://orcid.org/0000-0001-6038-3435>

### **Сергей Николаевич НАУМЕНКО,**

д-р техн. наук, руководитель центра, Научно-исследовательский институт железнодорожного транспорта (ВНИИЖТ, 129626, Россия, г. Москва, ул. 3-я Мытищинская, д. 10, стр. 1), SPIN-код: 6856-2301, <https://orcid.org/0000-0002-6097-9375>

## INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

### **Prokopy O. MUSERSKIY,**

Deputy Head of the Center, Electrification and Thermal Power Engineering Centre, Railway Research Institute (129626, Moscow, bldg. 1, 10, 3rd Mytishchinskaya St.), SPIN-code: 9468-6229, <https://orcid.org/0000-0001-6038-3435>

### **Sergey N. NAUMENKO,**

Dr. Sci. (Eng.), Head of the Centre, Railway Research Institute (129626, Moscow, bldg. 1, 10, 3rd Mytishchinskaya St.), SPIN-code: 6856-2301, <https://orcid.org/0000-0002-6097-9375>

## ВКЛАД АВТОРОВ

**Прокопий Олегович МУСЕРСКИЙ.** Обзор основных направлений исследований, сбор и структурирование методики проведения испытаний, расчет зависимостей и написание статьи (50 %).

**Сергей Николаевич НАУМЕНКО.** Обоснование направления исследования, формулировка цели и задач, формирование выводов и предложений, обработка результатов (50 %).

## CONTRIBUTION OF THE AUTHORS

**Prokopy O. MUSERSKIY.** Scientific literature search and analysis, model design, calculations performance and analysis, article writing (50 %).

**Sergey N. NAUMENKO.** Substantiation of research direction, goals and objectives setting, conclusions and proposals formation, processing of results (50 %).

*Авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.*

*The authors have read and approved the final manuscript.*

Статья поступила в редакцию 16.09.2025, рецензия от первого рецензента получена 19.02.2026, рецензия от второго рецензента получена 03.03.2026, принята к публикации 25.03.2026.

The article was submitted 16.09.2025, first review received 19.02.2026, second review received 03.03.2026, accepted for publication 25.03.2026.