

Вестник

Научно-исследовательского
института железнодорожного
транспорта

ISSN 2223-9731

Том 78, № 6, 2019



Методические вопросы определения среднего коэффициента теплопередачи кузовов пассажирских вагонов

С. Л. САМОШКИН, А. О. МЕЙСТЕР, М. А. ЮХНЕВСКИЙ

Закрытое акционерное общество Научная организация «Тверской институт вагоностроения» (ЗАО НО «ТИВ»), Тверь, 170003, Россия

Аннотация. Рассмотрен вопрос энергоэффективности вагона с точки зрения теплоизоляционных качеств кузова, материалов, используемых для теплоизоляции, порядка и методов вычисления среднего коэффициента теплопередачи, проблем, связанных с его точным определением и применением на практике. Сделан вывод о необходимости пересмотра методической и нормативно-технической документации.

Ключевые слова: средний коэффициент теплопередачи; экспериментальный метод; погрешность обработки эксперимента; нормативный документ; теплоизоляция; кузов вагона; потребляемая мощность; комфорт

Введение. Для задания оптимальной температуры котла в зависимости от температуры наружного воздуха в пассажирских вагонах, а также определения предельно допустимого срока перевозки замороженных продуктов в вагонах-термосах необходимо знать такую теплотехническую характеристику, как средний коэффициент теплопередачи ограждающих конструкций кузова вагона. Его суть — это количество тепла, проходящего в среднем через один квадратный метр поверхности ограждающих конструкций кузова вагона за единицу времени при разности температуры внутри и снаружи вагона в один градус, единица измерения — Вт/(м²·К) или Вт/(м²·°С). Соответственно, чем ниже значение среднего коэффициента теплопередачи, тем меньшее количество энергии проходит через ограждающие конструкции, что особенно актуально в связи с постоянным повышением стоимости топливно-энергетических ресурсов. Способы снижения энергетических затрат на отопление пассажирских вагонов приведены в [1]. Анализ теплопотерь изотермических вагонов представлен в [2].

При прочих равных условиях температура внутренних поверхностей кузова вагона с меньшим коэффициентом теплопередачи будет ближе по значению к температуре воздуха внутри вагона, что напрямую влияет на результирующую температуру, а в конечном счете — на комфорт пассажиров.

Нормативные требования к значению среднего коэффициента теплопередачи кузовов пассажирских вагонов содержатся в ГОСТ Р 55182–2012 [3].

Требования к теплоизоляционным материалам.

В общем виде величина среднего коэффициента теплопередачи кузова вагона будет зависеть от коэффициента теплопроводности и толщины теплоизоляционных материалов, коэффициента теплопередачи окон и их площади, а также мостиков холода, образованных элементами жесткости кузова, что подтверждается при обследовании тепловизором (рис. 1).

С учетом изложенного теплоизоляционные материалы, применяемые для утепления пассажирских вагонов, должны отвечать определенным требованиям, основные из которых:

- низкая теплопроводность;
- низкая плотность (масса);
- высокая звукопоглощающая способность;
- противопожарные свойства;
- малое влагопоглощение.

В настоящее время наиболее распространенным теплоизоляционным материалом для утепления кузовов пассажирских вагонов является минеральная вата. Этот материал имеет следующие технические характеристики:

- теплопроводность λ_{10} : 0,032 Вт/(м·К);
- теплопроводность λ_{25} : 0,035 Вт/(м·К);
- теплопроводность λ_A : 0,036 Вт/(м·К);
- теплопроводность λ_B : 0,037 Вт/(м·К);
- плотность: 26–32 кг/м³;
- горючесть: НГ (негорючий);
- водопоглощение при частичном погружении за 24 ч: не более 1 кг/м².

Как видно из характеристик материала существуют несколько значений теплопроводности при разных условиях. Так, например, теплопроводности λ_{10} и λ_{25} соответствуют сухому материалу при температурах 10 и 25 °С соответственно, а теплопроводности λ_A и λ_B — материалу при влажности по массе 2 и 5 % при температуре 25 °С. Это связано с тем, что в пористых и волокнистых материалах теплообмен осуществляется путем теплопроводности через твердые соприкасающиеся волокна и конвекции в порах между волокнами.

Таким образом, наиболее выраженным недостатком данного материала является его высокое

■ E-mail: lab4zaonotiv@yandex.ru (А. О. Мейстер)

влагопоглощение, в результате ухудшаются теплоизоляционные качества кузова и складываются благоприятные условия для возникновения в нем очагов коррозии. Поэтому при утеплении кузова вагона минеральную вату упаковывают в пароизоляционные герметичные пакеты из негорючих или трудногорючих материалов. Качество укладки теплоизоляции также в существенной мере влияет на теплотехнические характеристики вагона. Стоит отметить, что в процессе эксплуатации минеральная вата может сминаться, при этом ухудшаются теплотехнические характеристики ограждающих конструкций. Как видно из характеристик материала, теплопроводность минеральной ваты, помимо влажности, зависит и от температуры материала.

Таким образом, на одном и том же вагоне при разных условиях испытаний можно получить различное значение среднего коэффициента теплопередачи, что подтверждают результаты испытаний. При этом полученное значение будет отличаться от значения при эксплуатации.

Значения среднего коэффициента теплопередачи, полученные при проведении испытаний для разных моделей вагонов, представлены в таблице.

Метод определения среднего коэффициента теплопередачи. Экспериментально средний коэффициент теплопередачи определяют по методике, описанной в [4], суть которой заключается в следующем:

- вычисляют площадь ограждающих конструкций кузова вагона;
- измеряют разность температур воздуха (внутри и снаружи вагона размещают датчики);
- воздух внутри вагона нагревают электрическими приборами (подключенными через счетчик электрической энергии) и располагают их так, чтобы создать наибольшую равномерность нагрева по длине вагона;
- при достижении условно-стационарного режима наступает расчетный период, в который и рассчитывают значение среднего коэффициента теплопередачи по следующей формуле:

$$K = \frac{1000W}{F\tau(t_b - t_n)}, \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К}),$$

где K — средний коэффициент теплопередачи ограждающих конструкций кузова вагона, $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$; W — расход электроэнергии за расчетный период, $\text{кВт} \cdot \text{ч}$; F — среднегеометрическая площадь ограждающих конструкций кузова вагона, м^2 ; τ — продолжительность расчетного периода, ч ; t_b — средняя температура воздуха внутри вагона за расчетный период, $^{\circ}\text{C}$; t_n — средняя температура воздуха снаружи вагона за расчетный период, $^{\circ}\text{C}$.

Пример графика температур внутри и снаружи вагона при проведении испытаний по определению

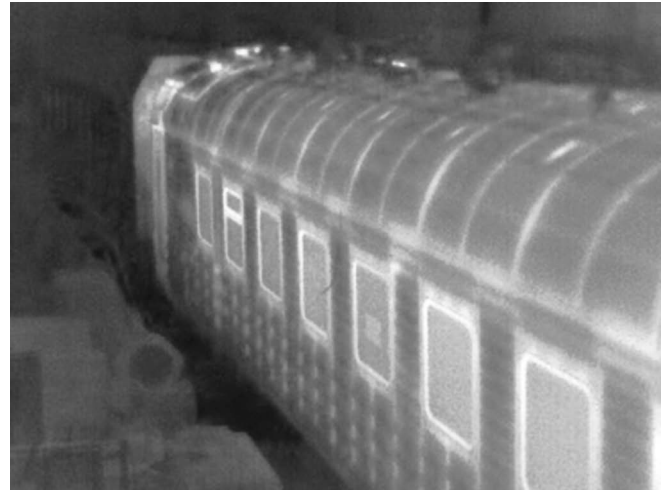


Рис. 1. Обследование кузова пассажирского вагона тепловизором при определении среднего коэффициента теплопередачи
Fig. 1. Inspection of passenger car body with infrared imager for determination of the average heat transfer coefficient

Значения среднего коэффициента теплопередачи для некоторых моделей вагонов
Values of average coefficient of heat transfer for some car models

Вид вагона, состояние	Средний коэффициент теплопередачи ограждающих конструкций кузова вагона, $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$
Модель 61-4447 (новый)	0,65
Модель 61-4440 (новый)	0,69
Модель 61-4495 (новый)	0,77
Модель 61-425 (после КВР*)	0,98

Примечание. * КВР — капитально-восстановительный ремонт.

среднего коэффициента теплопередачи приведен на рис. 2.

На первый взгляд метод определения среднего коэффициента теплопередачи достаточно прост в применении, однако у него есть существенные недостатки.

Недостатки метода определения среднего коэффициента теплопередачи. На данный момент для определения среднего коэффициента теплопередачи в странах Таможенного союза существует единственный стандартизированный метод испытаний (ГОСТ 33661–2015) [5]. В настоящее время развиваются методы ускоренного определения среднего коэффициента теплопередачи, которые описаны в [6, 7]. До принятия ГОСТ 33661–2015 для определения среднего коэффициента теплопередачи ограждающих конструкций кузовов пассажирских вагонов в основном полагались на методические указания РД 24.050.15–89 [8]. Методы определения среднего коэффициента теплопередачи согласно [5] и [8] схожи, однако способ, описанный в [5], имеет ряд

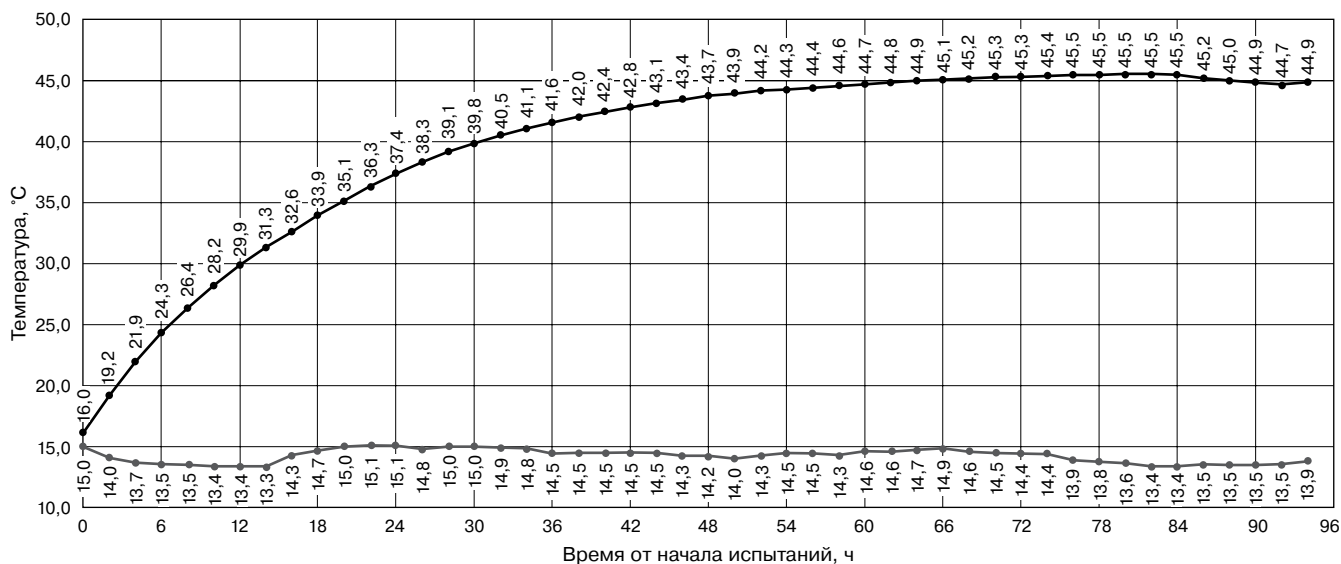


Рис. 2. Температурный режим внутри и снаружи вагона при проведении испытаний по определению среднего коэффициента теплопередачи:
 — среднее значение температуры внутри вагона, °C; — среднее значение температуры снаружи вагона, °C
 Fig. 2. Temperature mode inside and outside the car during tests for determination of average heat transfer coefficient:
 — average value of temperature inside the car, °C; — average value of temperature outside the car, °C

существенных недостатков по сравнению с методом [8], которые необходимо рассмотреть.

Безусловно, каждый метод имеет свою точность, и в [5] даже предусмотрено целое приложение, посвященное вычислению погрешности измерений. На эту тему опубликовано много работ [9–14]. Ниже речь пойдет о неучтенных нюансах и тех моментах, которые позволили бы повысить точность определения среднего коэффициента теплопередачи по [5].

Во-первых, это определение установившегося (стабильного) температурного режима, то есть отрезка времени, в котором берут расчетные значения.

Согласно [5] установившийся (стабильный) температурный режим — это состояние воздушной среды помещения, при котором средняя внутренняя температура изменяется не более чем на $\pm 0,5$ °C в час, при условии, что поддерживается постоянная тепловая мощность нагревателей, установленных внутри помещения.

Данное определение связано сразу с тремя проблемами. Первая заключается в том, что установившийся (стабильный) температурный режим должен характеризоваться не постоянной внутренней температурой, а постоянным перепадом между внутренней и наружной температурами, именно в этом заключается физический смысл интересующей нас характеристики. При стабильной мощности и достижении постоянного перепада между внутренней и наружной температурами внутренняя температура будет изменяться синхронно с наружной. А наружная температура, то есть температура помещения, в котором проводятся испытания, в свою очередь, будет меняться

в зависимости от изменения температуры снаружи данного помещения. Таким образом, можно совершить две ошибки:

- при одновременном краткосрочном падении мощности и температуры наружного воздуха, например зимой в утренние часы, можно ошибочно сделать вывод о наступлении расчетного периода;
- бесконечно долго ждать достижения установившегося (стабильного) температурного режима по причине постоянного колебания температуры наружного воздуха.

Вторая проблема состоит в том, что режим, при котором температура внутри помещения изменяется на $0,5$ °C в час, нельзя назвать стабильным. Например, на графике (см. рис. 2) видно, что с 24-го до 26-го часа испытаний температура внутри вагона изменилась на $0,9$ °C, то есть меньше чем на $0,5$ °C в час, однако, кривая на рис. 3 показывает, что это соответствует значению среднего коэффициента теплопередачи $0,87$ – $0,91$ Вт/(м²·К) и, по сути, данный этап испытаний является начальным.

Кроме того, описанная выше ситуация усугубляется еще и тем, что в [5] отсутствуют требования по сливу воды в системе отопления и водоснабжения перед испытаниями. Таким образом, в нагреваемом помещении пассажирского вагона может находиться до 2000 л воды, которую необходимо нагреть до температуры помещения, то есть ориентировочно на 25 °C. Для этого необходимо затратить $21 \cdot 10^7$ Дж энергии, что эквивалентно работе электронагревателей мощностью 6 кВт в течение около 10 ч. В этом нет существенной проблемы, когда вагон выходит на стационарный режим в течение трех суток. Однако

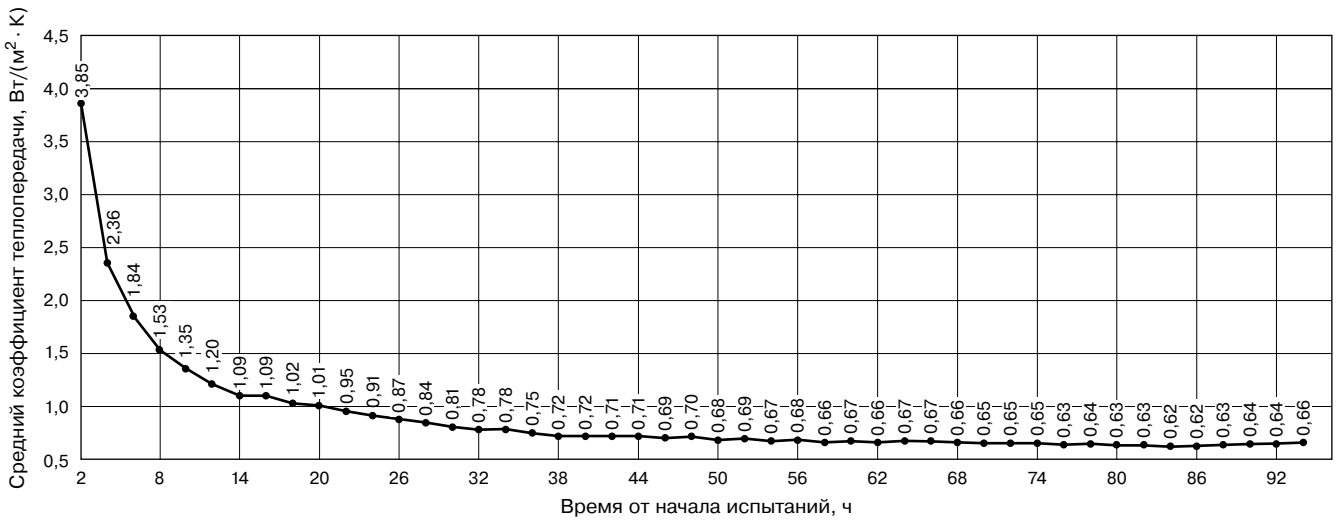


Рис. 3. Значение среднего коэффициента теплопередачи во время испытаний
 Fig. 3. Values of average coefficient of heat transfer during tests

это никак не увязывается с порядком цифр, указанных в [5], даже если учесть, что речь идет о вагоне со слитой из систем отопления и водоснабжения водой.

Третья же проблема заключается в том, что на практике добиться постоянной тепловой мощности нагревателей невозможно даже при наличии хорошего стабилизатора. Так, при отклонении напряжения питания на 2 % мощность изменяется на 4 %, что относительно перепада между внутренней и наружной температурами, равного 25 °С, эквивалентно изменению температуры на 1 °С. На практике напряжение питания на месте проведения испытаний может изменяться весьма интенсивно в зависимости от начала и окончания смен, перерывов, пусков мощного оборудования и пр., поэтому потребляемую мощность следует определять на основе показаний счетчиков электроэнергии. Измерения мощности

с помощью ваттметра либо посредством замеров напряжения и силы тока не способны обеспечить сопоставимую точность измерений по причине их дискретности (периодичность 10 мин), определенной в [5]. Пример графика фактической мощности, потребляемой электронагревателями, представлен на рис. 4.

Во-вторых, вызывает вопрос условие [5], что прогрев помещений (кабина, салон для пассажиров, служебные и бытовые помещения) производят автономными электронагревательными устройствами, которые не должны быть излучающими (или должны иметь экраны инфракрасного излучения). Для обеспечения принудительной конвекции при нагреве воздуха применяют устройства вентиляции. Электронагреватели и вентиляторы или электронагревательные устройства с функцией вентиляции (тепловентиляторы) размещают таким образом, чтобы поток

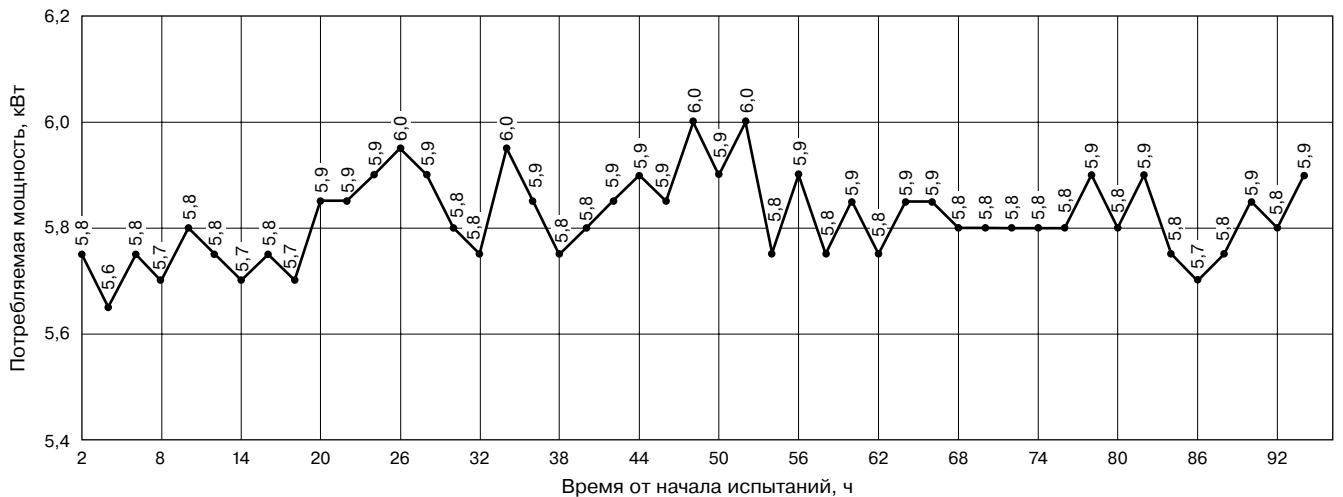


Рис. 4. Значения потребляемой мощности во время испытаний (округлено до 0,1 кВт)
 Fig. 4. Values of consumed power during tests (averaged to 0.1 kW)

теплого воздуха не был напрямую направлен на прогрев стенки, а распределение температур по объему помещения было максимально равномерным. Должна поддерживаться постоянная мощность систем нагрева и вентиляции.

Электронагревательных приборов, отвечающих вышеуказанным требованиям, не существует. Любое тело, имеющее температуру выше абсолютного нуля, излучает энергию. Очевидно, что любой нагревательный прибор для того, чтобы он выполнял свою функцию, необходимо нагреть выше температуры среды, при этом передача тепла будет проходить как за счет конвекции, так и за счет излучающей способности — вопрос лишь в их доле. Не ясно также, как учитывать мощность тепловентиляторов. Ведь часть электроэнергии преобразуется в движение воздуха, которое, в свою очередь, увеличивает коэффициент теплоотдачи внутренней поверхности, то есть удар получается двойным. Исходя из проведенных испытаний, для того, чтобы уравнивать температуры воздуха по высоте, необходимо разместить вентиляторы под потолком, поток должен быть направлен в пол. При этом их мощность должна составлять не менее 15 % мощности электронагревателей, установленных внутри вагона. Однако КПД вентиляторов существенно ниже 100 %, к тому же зависит от режима работы, при этом часть мощности вентиляторов будет тратиться на их собственный нагрев и эту долю доступными способами не определить. Именно поэтому использование тепловентиляторов для нагрева воздуха внутри вагона, а также вентиляторов для его перемешивания является весьма спорным.

В-третьих, возникают вопросы к условиям проведения испытаний. Почему наружная температура должна составлять 15 ± 5 °С, если это условие не привязано ни к условиям эксплуатации, ни к нормальным значениям климатических факторов внешней среды по ГОСТ 15150–69 [15]? При этом не определен такой важный параметр, как влажность, а скорость движения воздуха ограничена 3 м/с. Дело в том, что с теоретической точки зрения в упрощенном виде мы имеем дело с теплопередачей через плоскую стенку. При этом коэффициент теплопередачи K будет равен

$$K = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{d}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_2}}, \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К}),$$

где α_1 — коэффициент теплоотдачи от внутренней среды к внутренней поверхности ограждающей конструкции, Вт/(м² · К); α_2 — коэффициент теплоотдачи от внешней поверхности ограждающей конструкции к внешней среде, Вт/(м² · К); d — толщина ограждающей конструкции, м; λ — коэффициент теплопроводности ограждающей конструкции, Вт/(м · К).

При этом коэффициенты теплоотдачи α_1 и α_2 зависят в общем случае от количества теплоты, подводимой или отводимой от поверхности, а в частности от типа среды, вида ее течения, а также скорости потока, направленного вдоль стенки. Для нашего случая коэффициенты теплоотдачи α_1 и α_2 будут ориентировочно равны

$$\alpha = 5,6 + 4v, \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К}),$$

где v — скорость потока воздуха, направленного вдоль ограждающей конструкции, м/с.

Таким образом, при повышении скорости воздуха только вдоль наружной поверхности ограждающей конструкции на 3 м/с значение коэффициента теплопередачи возрастет ориентировочно на 0,025 Вт/(м² · К). При повышении скорости воздуха как вдоль наружной, так и вдоль внутренней поверхности ограждающей конструкции на 3 м/с значение коэффициента теплопередачи возрастет ориентировочно на 0,05 Вт/(м² · К). Очевидно, что для получения более точных значений величины среднего коэффициента теплопередачи на стоянке необходимо снижать воздействие скорости воздушного потока как вдоль наружных, так и вдоль внутренних поверхностей.

Следует также затронуть тему размещения точек измерения температуры при проведении испытаний. Чтобы получить достоверные результаты, необходимо как можно точнее определить температурный напор. Для этого необходимо знать температуру внутри и снаружи подвижной единицы. Кажется, что все очевидно, нужно просто измерять температуру как можно ближе к ограждающей конструкции, причем с одной стороны для точности точек измерения около каждой ограждающей конструкции должно быть как можно больше, а с другой — с точки зрения оснащенности средствами измерений их должно быть как можно меньше. Таким образом, логично измерять так, чтобы каждая точка относилась к нескольким ограждающим конструкциям, иными словами, следует размещать датчики в углах. Однако здесь есть ряд нюансов.

Во-первых, как уже отмечено выше, существуют коэффициенты теплоотдачи от внешней и внутренней поверхностей, по этой причине температура поверхности будет отличаться от температуры воздуха. При этом можно оценить разницу температуры воздуха и поверхности при следующих условиях, которые возможно соблюсти при проведении испытаний:

- средний коэффициент теплопередачи K — 1,0 Вт/(м² · К);
- перепад между температурой внутри и снаружи помещения ΔT — 30 °С;
- скорость движения воздуха около поверхности v — 0,25 м/с.

Разница между температурой воздуха и поверхностью $t_b - t_n$ составит

$$t_b - t_n = q \frac{1}{\alpha} = K \Delta T \frac{1}{5,6 + 4\nu} = 1 \cdot 30 \cdot \frac{1}{5,6 + 4 \cdot 0,25} = \frac{30}{6,6} \approx 4,5 \text{ } ^\circ\text{C},$$

где q — плотность теплового потока, Вт/м².

Итак, температура внутренней поверхности ограждающей конструкции и температура воздуха на границе с поверхностью будут на 4,5 °С ниже температуры воздуха в нагреваемом помещении. По мере удаления от поверхности температура воздуха будет расти, при этом характер изменения будет зависеть от α .

Во-вторых, необходимо принять во внимание, что в углах создается сопротивление движению воздуха. Таким образом, в углах помещения помимо наложения двух коэффициентов теплоотдачи еще и ограничено движение воздуха, что подтверждает практика — ведь плохо утепленные помещения начинают промерзать именно с углов.

По [5] размещать точки измерения температуры необходимо в соответствии с приложением А, согласно которому для помещений объемом более 15 м³ 2/3 точек измерения располагают в углах на расстоянии 0,15 м от поверхностей. Однако, как объяснено выше, углы не являются типичным местом ограждающих конструкций и данное расположение точек для измерения температуры воздуха внутри нагреваемого помещения нельзя признать удачным.

Выводы. Из вышесказанного можно заключить, что на данный момент единственный стандартизованный метод определения среднего коэффициента теплопередачи дает возможность лишь подтвердить соответствие вагона нормативным требованиям, но не определить его точно. Кроме того, отсутствует стандарт, который позволил бы на практике применить полученные данные о среднем коэффициенте теплопередачи кузова вагона: не учитывается ряд важных условий при проведении испытаний и не разработана методика пересчета среднего коэффициента теплопередачи с учетом реальных условий эксплуатации (иная температура теплоизоляции, повышенная теплоотдача с наружной поверхности при движении вагона и т. д.).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Мейстер А. О., Юхневский М. А. Анализ способов снижения затрат на отопление пассажирского вагона модели 61-4447 // Материалы XII Международной научно-технической конференции «Подвижной состав XXI века: идеи, требования, проекты». СПб.: ПГУПС, 2017. С. 94–96.
2. Бартош Е. Т. Энергетика изотермического подвижного состава. М.: Транспорт, 1976. 304 с.
3. ГОСТ Р 55182–2012. Вагоны пассажирские локомотивной тяги. Общие технические требования. М.: Стандартинформ, 2013. 28 с.

4. Мейстер А. О., Юхневский М. А. Определение среднего коэффициента теплопередачи кузовов пассажирских вагонов // Тезисы VI научно-практической конференции «Проблемы и перспективы развития вагоностроения». Брянск: БГТУ, 2014. С. 93–95.

5. ГОСТ 33661–2015. Ограждающие конструкции помещений железнодорожного подвижного состава. Методы испытаний по определению теплотехнических показателей. М.: Стандартинформ, 2016. 31 с.

6. Голубин А. А., Науменко С. Н. Разработка алгоритма по определению коэффициента теплопередачи кузова изотермического транспортного средства на основе результатов анализа происходящих в нем теплообменных процессов // Вестник ВНИИЖТ. 2017. Т. 76. № 5. С. 306–311. DOI: <https://doi.org/10.21780/2223-9731-2017-76-5-306-311>.

7. Голубин А. А., Науменко С. Н. Программа для ЭВМ по определению коэффициента теплопередачи как инструмент экономии топливно-энергетических ресурсов // Вестник ВНИИЖТ. 2018. Т. 77. № 1. С. 44–48. DOI: <https://doi.org/10.21780/2223-9731-2018-77-1-44-48>.

8. РД 24.050.15–89. Методика определения среднего коэффициента теплопередачи ограждающих конструкций кузовов пассажирских вагонов: утв. Министерством тяжелого, энергетического и транспортного машиностроения СССР 24.07.1989. М., 1989. 20 с.

9. Науменко С. Н., Теймуразов Н. С., Голубин А. А. Точность определения коэффициента теплопередачи // Железнодорожный транспорт на современном этапе: задачи и пути их решения: сб. тр. / под ред. А. Е. Семечкина. М.: Интекст, 2008. С. 76–78.

10. Науменко С. Н., Теймуразов Н. С., Голубин А. А. Оценка точности определения в деповах условиях коэффициента теплопередачи кузова изотермического вагона // Сб. докладов участников объединенной научной сессии РАН на тему: «Энергосбережение и защита окружающей среды на теплоэнергетических объектах железнодорожного транспорта, промышленности и жилищно-коммунального хозяйства». М.: МИИТ, 2008. С. 189–192.

11. Голубин А. А., Белова Н. В., Науменко С. Н. Влияние погрешностей измерения при определении коэффициента теплопередачи ограждающих конструкций изотермического вагона // Вестник ВНИИЖТ. 2019. Т. 78. № 2. С. 100–104. DOI: <https://doi.org/10.21780/2223-9731-2019-78-2-100-104>.

12. Обухов И. В. Случайные погрешности измерений. М.: URSS, 2017. 80 с.

13. Анисимов П. С. Испытания вагонов. М.: Маршрут, 2004. 197 с.

14. Соколов М. М., Варава В. И., Левит Г. М. Измерения и контроль при ремонте и эксплуатации вагонов. М.: Транспорт, 1991. 158 с.

15. ГОСТ 15150–69. Машины, приборы и другие технические изделия. Исполнения для различных климатических районов. Категории, условия эксплуатации, хранения и транспортирования в части воздействия климатических факторов внешней среды. М.: Издательство стандартов, 1970. 53 с.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

САМОШКИН Сергей Львович,

д-р техн. наук, начальник управления научно-технического обеспечения и развития ЗАО НО «ТИВ»

МЕЙСТЕР Артем Олегович,

инженер по наладке и испытаниям 1-й категории, ЗАО НО «ТИВ»

ЮХНЕВСКИЙ Максим Алексеевич,

заведующий лабораторией «Противопожарные мероприятия и новые материалы», ЗАО НО «ТИВ»

Статья поступила в редакцию 20.08.2019 г., принята к публикации 14.11.2019 г.

Methodical issues of determination of the average heat transfer coefficient of the passenger car body

S. L. SAMOSHKIN, A. O. MEYSTER, M. A. YUKHNEVSKIY

Closed Joint Stock Company Scientific Agency "Tver Car-building Institute" (CJSC SA "TIV"), Tver, 170003, Russia

Abstract. The article examines methodical issues of selection of heat insulation materials, their properties affecting energy efficiency, as well as methodical issues of experimental determination of heat insulation properties of the car body. This issue has become recently relevant due to the increased requirements to saving of the fuel and energy resources and to improvement of the passenger travel comfort. Domestic and international regulatory documents are analyzed from this perspective.

Contemporary materials used for heat insulation of the car body, methods of determination of the average heat transfer coefficient and requirements to such materials are examined. Review of the test results of the most widely spread passenger cars; the issue is arisen regarding necessity of putting the obtained results of experimental research in compliance with the actual operating conditions with regard to the changes of temperature, air humidity and car movement speed.

The article examines in details disadvantages of the currently used standardized method of determination of the average heat transfer coefficient. The issues affecting accuracy of determination of this parameter are underlined, which occur in the experimental research and in processing of the obtained results. Practical use of obtained results for designing of new rolling stock is examined.

Ultimately, the authors conclude that the valid domestic standardized method of determination of the average heat transfer coefficient does not take into account the number of important conditions. Examination of effect of these conditions on the results of experimental research allows the authors to make conclusion regarding necessity of review of methodical and regulatory and technical documentation for the test methods.

Keywords: average heat transfer coefficient; experimental method; error of experiment processing; regulatory document; heat insulation; car body; consumed power; comfort

DOI: <http://dx.doi.org/10.21780/2223-9731-2019-78-6-344-350>

REFERENCES

1. Meister A. O., Yukhnevskiy M. A. *Analiz sposobov snizheniya zatrat na otopeniye passazhirskego vagona modeli 61-4447*. Materials of the XII International scientific and technical conference "Rolling stock of XXI century: ideas, requirements, and projects". Saint Petersburg, Emperor Alexander I St. Petersburg State Transport University, 2017, pp. 94–96.
2. Bartosh E. T. *Energetika izotermicheskogo podvizhnogo sostava* [Power engineering of refrigerator rolling stock]. Moscow, Transport Publ., 1976, 304 p.
3. GOST R 55182–2012. *Vagony passazhirskoye lokomotivnoy tyagi. Obshchiye tekhnicheskiye trebovaniya*. Moscow, Standartinform Publ., 2013, 28 p.
4. Meister A. O., Yukhnevskiy M. A. *Opreddeniya srednego koeffitsiyenta teploperedachi kuzovov passazhirskekh vagonov*. Theses of the VI scientific practical conference "Issues and prospects of the car-building industry development". Bryansk, Bryansk State Technical University, 2014, pp. 93–95.
5. GOST 33661–2015. *Ograzhdayushchiye konstruktsii pomescheniy zheleznodorozhnogo podvizhnogo sostava. Metody ispytaniy po opredeleniyu teplotekhnicheskikh pokazateley*. Moscow, Standartinform Publ., 2016, 31 p.

6. Golubin A. A., Naumenko S. N. *Development of an algorithm for determining the heat transfer coefficient of the body of an isothermal vehicle based on the results of analysis of the heat exchange processes occurring in it*. Vestnik VNIIZhT [Vestnik of the Railway Research Institute], 2017, Vol. 76, no. 5, pp. 306–311. DOI: <https://doi.org/10.21780/2223-9731-2017-76-5-306-311>.

7. Golubin A. A., Naumenko S. N. *The computer program for determining the heat transfer coefficient as a tool for saving fuel and energy resources*. Vestnik VNIIZhT [Vestnik of the Railway Research Institute], 2018, Vol. 77, no. 1, pp. 44–48. DOI: <https://doi.org/10.21780/2223-9731-2018-77-1-44-48>.

8. RD 24.050.15–89. *Metodika opredeleniya srednego koeffitsiyenta teploperedachi ograzhdayushchikh konstruktsiy kuzovov passazhirskekh vagonov*. Utv. Ministerstvom tyazhelogo, energeticheskogo i transportnogo mashinostroyeniya SSSR 24.07.1989. Moscow, 1989, 20 p.

9. Naumenko S. N., Teimurazov N. S., Golubin A. A. *Tochnost' opredeleniya koeffitsiyenta teploperedachi*. Zheleznodorozhnyy transport na sovremennom etape: zadachi i puti ikh resheniya. Sb. tr. Ed. by A. E. Semechkin. Moscow, Intext Publ., 2008, pp. 76–78.

10. Naumenko S. N., Teimurazov N. S., Golubin A. A. *Otsenka tochnosti opredeleniya v depovskikh usloviyakh koeffitsiyenta teploperedachi kuzova izotermicheskogo vagona*. Coll. of reports of participants of the combined scientific session of RAS: Energy saving and protection of environment at the heat engineering facilities of railway transport, industry and municipal services. Moscow, Russian University of Transport, 2008, pp. 189–192.

11. 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*. Vestnik VNIIZhT [Vestnik of the Railway Research Institute], 2019, Vol. 78, no. 2, pp. 100–104. DOI: <https://doi.org/10.21780/2223-9731-2019-78-2-100-104>.

12. Obukhov I. V. *Sluchaynyye pogreshnosti izmereniy* [Random errors of measurements]. Moscow, URSS, 2017, 80 p.

13. Anisimov P. S. *Ispytaniya vagonov* [Car tests]. Moscow, Mashrut Publ., 2004, 197 p.

14. Sokolov M. M., Varava V. I., Levit G. M. *Izmereniya i kontrol' pri remonte i ekspluatatsii vagonov*. Moscow, Transport Publ., 1991, 158 p.

15. GOST 15150–69. *Mashiny, pribory i drugiye tekhnicheskiye izdeliya. Ispolneniya dlya razlichnykh klimaticheskikh rayonov. Kategorii, usloviya ekspluatatsii, khraneniya i transportirovaniya v chasty vozdeystviya klimaticheskikh faktorov vneshney sredy*. Moscow, Publishing House of standards, 1970, 53 p.

ABOUT THE AUTHORS

Sergey L. SAMOSHKIN,
Dr. Sci. (Eng.), Head of the Department of Scientific and Technical Support and Development of CJSC SA "TIV"

Artem O. MEYSTER,
Adjustment and Test Engineer of Category 1, CJSC SA "TIV"

Maksim A. YUKHNEVSKIY,
Head of the Laboratory "Fire Fighting Measures and New Materials", CJSC SA "TIV"

Received 20.08.2019

Accepted 14.11.2019

E-mail: lab4zaonotiv@yandex.ru (A. O. Meyster)