Методика проведения испытаний по определению изотермических свойств кузова грузовых вагонов, предназначенных для перевозок скоропортящихся грузов, в условиях отсутствия специализированной климатической камеры

Д. О. ДАВЫДОВ

Акционерное общество «Научно-исследовательский и проектно-конструкторский институт информатизации, автоматизации и связи на железнодорожном транспорте» (АО «НИИАС»), Москва, 109029, Россия

Аннотация. Предложена методика определения изотермических свойств кузова грузовых вагонов, предназначенных для перевозок скоропортящихся грузов, путем проведения испытаний при отсутствии специализированной климатической камеры. Проанализированы требования Соглашения о международных перевозках скоропортящихся пищевых продуктов и о специальных транспортных средствах, предназначенных для этих перевозок, к условиям проведения испытаний и подробно рассмотрены параметры, которые при отсутствии специализированной климатической камеры выполнить невозможно или затруднительно. Для каждого такого параметра разработана последовательность выполнения действий по сближению фактических условий проведения испытаний с требованиями Соглашения, а также обоснованы методы, позволяющие скорректировать результаты испытаний с учетом приведения указанных параметров к требованиям Соглашения. Методика представляет интерес для организаций, занимающихся теплотехническими испытаниями изотермическим вагонов, а также для организаций, на которые возлагаются функции по контролю теплотехнических параметров изотермических вагонов.

Ключевые слова: железнодорожный транспорт; перевозка скоропортящегося груза; изотермический вагон; теплотехнические испытания

Введение. Согласно [1] изотермические транспортные средства (далее — ИТС) должны соответствовать нормам Соглашения о международных перевозках скоропортящихся пищевых продуктов и о специальных транспортных средствах, предназначенных для этих перевозок (далее — СПС) [2].

В соответствии с нормами СПС освидетельствованию подлежат изотермические свойства кузова ИТС (устанавливаются для ИТС любых типов), выражаемые значением общего коэффициента теплопередачи (далее — коэффициент K), а также эффективность оборудования для охлаждения и/или обогрева (устанавливается только для ИТС с термическим оборудованием). На основании значения коэффициента K

устанавливается категория ИТС: с усиленной изоляцией ($K \leq 0,40 \text{ Вт} / (\text{м}^2 \cdot \text{К})$) или с нормальной изоляцией ($0,40 \text{ Вт} / (\text{м}^2 \cdot \text{К}) < K \leq 0,70 \text{ Вт} / (\text{м}^2 \cdot \text{К})$).

Поскольку от значения коэффициента K зависят как возможности ИТС по обеспечению в течение определенного времени заданных температурных условий перевозки скоропортящегося груза в режиме «термос», так и эффективность оборудования для охлаждения и/или обогрева при перевозке груза с поддержанием температурного режима, его значение должно быть установлено с высокой точностью, что достигается строгим соблюдением условий проведения испытаний путем помещения ИТС в специализированную климатическую камеру (далее — камера).

Указанная камера существует в Российской Федерации только для автотранспортных средств, в нее могут быть помещены также изотермические контейнеры. Камеры с возможностью размещения в ней отечественных изотермических вагонов на пространстве их обращения в настоящее время не существует. Ее проектирование и строительство займут не один год.

В то же время без знания актуальных теплотехнических параметров ИТС (и прежде всего — значения коэффициента K) грузоотправитель в соответствии с требованиями [1] не имеет практической возможности осуществить выбор транспортного средства, гарантирующего сохранность качества перевозимого скоропортящегося груза, а среди владельцев и операторов ИТС отсутствуют стимулы для обновления их парка. Таким образом, для реализации модели регулирования, заложенной в [1], необходимо как можно скорее освидетельствовать ИТС с учетом отсутствия камеры для вагонов. При этом следует иметь в виду, что все новые изотермические контейнеры, включая рефрижераторные, в настоящее время освидетельствуются по теплотехническим параметрам в соответствии с нормами

■ E-mail: d.o.davydov@gmail.com (Д. О. Давыдов)

ИСО [3]. Изотермические вагоны по теплотехническим параметрам никогда ранее не освидетельствовались.

В настоящей статье приведена методика, разработанная автором, позволяющая проводить теплотехнические испытания (далее — испытания) и определять коэффициент K без помещения изотермического вагона в камеру, обеспечивая вместе с тем соответствие фактических параметров проведения испытаний основным требованиям СПС.

Таблица 1

Основные требования СПС [2] при проведении испытаний

Table 1

Main requirements of the ATP [2] during testing

№ п/п	Параметры	Требования
1	Количество точек и места измерения температуры	12 — внутри, 12 — снаружи кузова (в 8-ми углах и в центре 4-х плоскостей кузова с наибольшей поверхностью на расстоянии 10 см от стен)
2	Требования к приборам измерения температуры	Защита от излучения
3	Продолжительность периода устойчивого состояния (далее — период УС)	Не менее 12 ч; 6 последних часов используются для расчета коэффициента K (далее — расчетный период)
4	Средняя температура снаружи кузова во время периода УС	От 6 до 9 °С
5	Максимальное колебание средней температуры снаружи кузова	$\pm 0,5$ °С — все испытание; $\pm 0,3$ °С — период УС; $\pm 1,0$ °С — 6 ч до УС
6	Максимальное колебание средней температуры внутри кузова	$\pm 0,3$ °С — период УС; $\pm 1,0$ °С — 6 ч до УС
7	Разница между средней температурой внутри и снаружи кузова	(25 ± 2) °С — период УС
8	Средняя температура стенок кузова	$(20 \pm 0,5)$ °С (период УС)
9	Максимальная разница между средними температурами в начале и в конце расчетного периода	0,2 °С — внутри кузова; 0,2 °С — снаружи кузова
10	Максимальная разница между температурами в наиболее теплой и наиболее холодной точках кузова	2 °С — внутри кузова; 2 °С — снаружи кузова
11	Скорость движения воздуха на расстоянии 10 см от наружных стен	от 1 до 2 м/с
12	Максимальная разница между показателями тепловой мощности, измеряемыми не менее 3 ч в начале и в конце периода УС, при условии, что второе измерение проводится не менее чем через 6 ч после первого	3%
13	Максимальный тепловой поток нагревателей	10 кВт/м ²

Постановка задачи. Имеем изотермический вагон, кузов которого в форме параллелепипеда оснащен термоизоляцией со средней поверхностью S , рассчитанной на основании методов, изложенных в [2, 4]. Известно местонахождение вагона, а также планируемый период испытаний.

Необходимо для рассматриваемого вагона установить коэффициент K по результатам испытаний, осуществляемых методом внутреннего обогрева согласно требованиям СПС, без помещения вагона в камеру, обеспечивая вместе с тем соответствие фактических параметров проведения испытаний основным требованиям СПС, приведенным в табл. 1.

Для указанных условий проведения испытаний необходимо установить последовательность выполнения действий, характеризующихся расчетными параметрами, при соблюдении которых условия испытаний могут быть приведены к требованиям СПС, а также методы приведения.

Методика испытаний. Проведение испытаний без помещения изотермического вагона в камеру означает на практике невозможность обеспечения заданной в СПС точности при определении значения коэффициента K . На каждом этапе и шаге методики определим основные факторы и действия, влияющие на точность определения значения коэффициента K , для уменьшения и учета их влияния на условия проведения испытаний.

Предварительный этап. На предварительном этапе осуществляется выбор места и периода проведения испытаний.

На шаге 1 предварительного этапа производится отбор возможных мест проведения испытаний с учетом их свободы в планируемый период испытаний, а также близости к месту нахождения изотермического вагона.

Чтобы исключить негативное влияние солнечного излучения, ветра и осадков изотермический вагон необходимо поместить в ангар в зону, куда не проникают прямые солнечные лучи (при наличии оконных проемов). В общем случае примем, что ангар не имеет специальной термоизоляции стен и крыши, а также не задействуются устройства отопления.

На шаге 2 производится выбор места и периода проведения испытаний, так как разные периоды года для каждого местоположения характеризуются различными значениями параметров температуры наружного воздуха.

На рис. 1 в качестве примера показано изменение в течение четырех дней температуры воздуха, измеренной в 12 точках снаружи кузова, при проведении испытаний в ангаре в Санкт-Петербурге в апреле 2018 г. в условиях ясной погоды и в декабре 2018 г. в условиях пасмурной погоды. Как видно из графиков, ясная погода привела к нарастающему суточному ходу

Рис. 1. Значения температуры воздуха в ангаре во время испытаний в Санкт-Петербурге:

a — в апреле (солнечно): 1 — тренд температуры в районе крыши вагона (3 °С); 2 — тренд температуры в районе пола вагона (2 °С);
б — в декабре (пасмурно): 1 — тренд температуры в районе крыши вагона (0,5 °С); 2 — тренд температуры в районе пола вагона (1 °С)

Fig. 1. Air temperature in the hangar during tests in Saint Petersburg:

a — in April (sunny): 1 — temperature trend in the area of the car roof (3 °С); 2 — temperature trend in the area of the car floor (2 °С);
б — in December (cloudy): 1 — temperature trend in the area of the car roof (0.5 °С); 2 — temperature trend in the area of the car floor (1 °С)

температуры (до 7 °С), а месяц года (апрель) послужил одной из причин ее высокого линейного тренда (2–3 °С) против периода относительно стабильных температур (декабрь). Алгоритм выбора места и периода проведения испытаний для обеспечения стабильных параметров наружного воздуха, максимально близких к требованиям пп. 4–6, 8–10 табл. 1, представлен на рис. 2.

При определении места и периода проведения испытаний вследствие значительной временной глубины планирования использование прогноза погоды нецелесообразно. Расчетные значения параметров наружного воздуха следует устанавливать с использованием статистических метеоданных [5] за предыдущий период в У лет. Метеоданные извлекаются по реперной метеостанции, ближайшей к рассматриваемому ангару.

Для отобранной таким образом *i*-й реперной метеостанции (всего *I* рассматриваемых ангаров) и *d*-х суток планируемого периода испытаний (всего *D* суток планируемого периода испытаний) определяются расчетные значения средней (среднесуточной) температуры наружного воздуха $t_{н_{id}}$, °С; максимального изменения температуры наружного воздуха $\Delta t_{н_{id}}$, °С; общего коли-

чества облачности u_{id} , баллы от 0 до 10; продолжительности солнечного сияния $\tau_{s_{id}}$, ч, в соответствии с методами, приведенными в [6, 7], при обеспеченности (уровне надежности) $p = 0,5$ (соответствует математическому ожиданию выборки данных за период в У лет).

Расчетная температура воздуха внутри ангара $t_{в_{id}}$ принимается равной расчетной среднесуточной температуре наружного воздуха $t_{н_{id}}$ с учетом расчетного теплового воздействия на ангар солнечной радиации $\Delta t_{и_{id}}$:

$$t_{в_{id}} = t_{н_{id}} + \Delta t_{и_{id}}. \quad (1)$$

Для проведения испытаний лучше выбрать 10-дневный предпочтительный период, так как он больше расчетной продолжительности испытаний (4 сут), что позволит, в свою очередь, выбрать в дальнейшем дату начала испытаний с учетом прогноза погоды на 10 сут, обладающего высокой оправдываемостью (более 65 % [8]).

Предпочтительные место (ангар) и время (интервал) проведения испытаний выбираются для конкретного 10-дневного периода, характеризующегося минимальной суммарной интегральной оценкой:

$$\min_{i=1...I} \left(\min_{d=1...D-9} \sum_{d=10}^{d+9} \left(\begin{cases} 0, (6 \leq t_{B_{id}} \leq 9) \\ \infty, (t_{B_{id}} > t_{i \max}) \vee (t_{B_{id}} < t_{i \min}) \\ \frac{t_{B_{id}} - 9}{t_{i \max} - 9}, (9 < t_{B_{id}} \leq t_{i \max}) \\ \frac{6 - t_{B_{id}}}{6 - t_{i \min}}, (t_{i \min} \leq t_{B_{id}} < 6) \end{cases} + \frac{\Delta t_{H_{id}}}{10} + 1 - k_{обл_{id}} \right) \right), \quad (2)$$

где $t_{i \min}, t_{i \max}$ — границы допустимого интервала измерений температуры, для которого установлена и подтверждена погрешность используемых средств измерений, °С; $k_{обл_{id}}$ — расчетное ослабление прямого солнечного излучения (доля), обусловленное облачностью.

Расчетное ослабление прямого солнечного излучения, обусловленное облачностью, с учетом [12] определяется по следующей формуле:

$$k_{обл_{id}} = \frac{1}{2} \left(1 - \frac{\tau_{s_{id}}}{t_{3_{id}} - t_{B_{id}}} + \int_{t_{B_{id}}}^{t_{3_{id}}} \frac{u_{id}(t)}{10} dt \right), \quad (3)$$

где $t_{B_{id}}, t_{3_{id}}$ — моменты восхода и захода солнца для рассматриваемых d -х суток и широты расположения i -го ангара [13], ч; $u_{id}(t)$ — расчетное общее количество облачности для момента времени t , баллы от 0 до 10.

Выбор конкретной даты начала испытаний осуществляется за день до начала предпочтительного периода испытаний путем оценки температуры и облачности, принимаемых в соответствии с прогнозом погоды на ближайшие 10 сут, с таким расчетом, чтобы завершающий 24-часовой период испытаний характеризовался минимальной интегральной оценкой:

$$\min_{d=4...10} \left(\sqrt{\left(\frac{\Delta t_{H_d}}{\sum_{d=4}^{10} \Delta t_{H_d}} \right)^2 + \left(\frac{u_d}{\sum_{d=4}^{10} u_d} \right)^2} \right). \quad (4)$$

Этап измерений. На данном этапе выполняется установка средств измерения расхода электроэнергии, температуры внутри и снаружи кузова вагона, а также размещение внутри кузова вагона электрических нагревателей. После закрытия дверей, технологических отверстий и люков вагона нагреватели осуществляют обогрев кузова вагона изнутри.

Измерения температуры внутри и снаружи кузова вагона, а также расхода электроэнергии нагревателями производятся до начала периода, характеризующегося постоянным средним перепадом температур внутри и снаружи кузова вагона, а также в течение указанного периода. На данном этапе определим характер действий для повышения точности измерения коэффициента K .

1) Места и способ измерения температуры. В соответствии с СПС (п. 1 табл. 1) измерению подлежит температура воздуха в установленных точках на расстоянии 10 см от поверхности кузова. Указанным требованиям соответствует использование термометров сопротивления, которые в случае проводной передачи данных должны быть подключены к измерительному устройству по трех- или четырехпроводной схеме для учета или полного исключения искажения передаваемого сигнала соответственно [14].

Размещение пары термодатчиков внутри и снаружи кузова вагона должно осуществляться друг против друга (для регистрации утечек тепла в конкретной зоне кузова). В случае испытаний с рефрижераторным вагоном, который может иметь отдельные отсеки для термического, энергетического оборудования, проезда проводников грузоотправителя, его кузов должен рассматриваться в границах грузового помещения (рис. 3).

2) Тип электрических нагревателей и места их установки. СПС содержит нечеткие требования к электрическим нагревателям (см. п. 13 табл. 1) и не содержит требований к местам их установки. Вместе с тем указанные параметры непосредственно влияют на неравномерность температурного поля внутри кузова и, следовательно, точность измерения коэффициента K .

В [15] справедливо вызывает сомнение целесообразность использования вентиляторов для выравнивания температурного поля внутри кузова вагона. Направленное движение воздуха приводит к неравномерному увеличению коэффициента теплоотдачи внутренних поверхностей кузова, снижая точность измерения среднего значения коэффициента K . Кроме того, в углах грузового помещения образуются зоны, в которых условия конвекции воздушных масс сильно отличаются от условий конвекции остального объема кузова. Вместе с тем именно в указанных зонах размещаются 8 из 12 термодатчиков.

Автором предлагается вместо вентиляторов использовать специальные электрические нагреватели с тепловым потоком 250–350 Вт/м², которые подвешиваются на высоте около 0,5 м над уровнем пола с равномерным покрытием его площади. В табл. 2 приведены экспериментальные данные сравнения условий проведения испытаний при использовании низкотемпературных пленок Sinplen с температурой поверхности не выше 50 °С с покрытием пола вагона на 20–25 % и точечных нагревателей (от системы отопления электропоездов). Из представленных данных видно, что максимальная разница между температурами в наиболее теплой и холодной точках внутри кузова уменьшилась более чем в 3,5 раза при использовании низкотемпературных пленок.

Для возможности точного обеспечения требований п. 7 табл. 1 электрические нагреватели должны иметь устройства регулирования мощности. Однако

Рис. 3. Схема мест установки термодатчиков при испытаниях рефрижераторного вагона: а — вид с торца; б — вид сбоку; 1, 2 — служебные отсеки

Fig. 3. Scheme of installation of temperature sensors during testing of a refrigerated car: а — end view; б — side view; 1, 2 — service boxes

Таблица 2

Результаты экспериментальных данных по неравномерности температурного поля внутри кузова вагона

Table 2

Results of experimental data on the unevenness of the temperature field inside the car body

Условия проведения испытаний	Максимальная разница между температурами в любых двух точках кузова, °С				
	Испытание 1	Испытание 2	Испытание 3	Испытание 4	Среднее значение
Использование точечных нагревателей (от системы отопления электропоездов)	7,4	9,0	6,5	10,3	8,3
Использование низкотемпературных пленок Sin-plep с покрытием пола 20–25 %	2,7	1,6	2,8	2,2	2,3

Таблица 3

Результаты экспериментальных данных по колебаниям потребляемой электрическими нагревателями мощности

Table 3

Results of experimental data on fluctuations in power consumed by electric heaters

Условия проведения испытаний	Максимальное отклонение тепловой мощности от среднего значения, %				
	Испытание 1	Испытание 2	Испытание 3	Испытание 4	Среднее значение
Без стабилизатора	5,0	8,4	7,9	8,8	7,5
Со стабилизатором напряжения точностью 3 %	4,2	5,9	5,7	4,6	5,1

их использование не должно производиться в целях ускоренного достижения периода УС, а также после его регистрации (см. ниже п. 4).

3) Стабилизация подаваемого на электрические нагреватели напряжения. Для уменьшения колебаний средней температуры внутри кузова (п. 6 табл. 1) и вы-

полнения требований, содержащихся в п. 12 табл. 1, следует использовать стабилизатор напряжения точностью не ниже 3 % для нормализации напряжения, подаваемого к электрическим нагревателям. Экспериментальные данные табл. 3 показывают уменьшение более чем на 30 % средней величины колебаний потребляемой нагревателями мощности при использовании стабилизатора напряжения указанной точности.

4) Регистрация периода, близкого к УС. Достичь условий соблюдения всех критериев периода УС без помещения вагона в камеру на практике невозможно, что приводит к проблеме регистрации периода УС как такового. В [15] совершенно верно описана ситуация ошибочной регистрации наступления периода УС при одновременном понижении температуры и мощности, потребляемой нагревателями. Также следует учитывать запаздывание температурной волны при ее распространении в толще термоизоляции (рис. 4), что создает дополнительные сложности для регистрации периода УС. При проведении испытаний без помещения вагона в камеру речь фактически может идти лишь о достижении периода с параметрами, близкими к параметрам, характеризующим период УС в СПС.

Для регистрации периода, близкого к УС, автор предлагает увеличить глубину анализа с 12 до 24 ч, что позволит наиболее полно учесть характер суточных колебаний наружной температуры и мощности, потребляемой нагревателями. В качестве совокупной математической оценки предлагается использовать значение расширенной неопределенности измерения коэффициента K , рассчитанное с применением методов, приведенных в [4], которое для периода, близкого к УС, должно быть минимальным.

Этап расчета коэффициента K и приведения его к требованиям СПС. Расчет производится в несколько шагов.

На шаге 1 определяются границы расчетного периода, продолжительность которого автор предлагает увеличить с 6 до 12 ч для учета суточных колебаний наружной температуры и мощности, потребляемой электронагревателями. Конкретные временные границы расчетного периода устанавливаются по наименьшему значению расширенной неопределенности измерения коэффициента K с применением методов, приведенных в [4].

На шаге 2 осуществляется расчет коэффициента K в соответствии с [4]. Среднее значение коэффициента K , полученное в ходе измерений соответствующих физических параметров (температуры воздуха внутри и снаружи кузова, тепловой мощности электрических нагревателей, осуществляющих внутренний нагрев кузова вагона), увеличивается на величину расши-

Рис. 4. Пример запаздывания и ослабления температурной волны:

1 — средняя температура внутри вагона; 2 — средняя температура снаружи вагона; 3 — расход электроэнергии

Fig. 4. Example of a delay and attenuation of a temperature wave:

1 — average temperature inside the car; 2 — average temperature outside the car; 3 — power consumption

ренной неопределенности его измерения. Указанный подход позволяет учесть в расчетном значении коэффициента K отклонение от требований СПС параметров, перечисленных в пп. 5, 6, 9, 10 и 12 табл. 1.

На шаге 3 определяется итоговое значение коэффициента K путем приведения его к средней температуре стенок кузова по СПС (п. 8 табл. 1) и скорости движения воздушных масс снаружи кузова (п. 11 табл. 1) на основании теоретической зависимости [6] по следующей формуле:

$$K_i = K_p \frac{K_{\text{СПС}}}{K_{\text{ф}}} = K_p \frac{\frac{1}{\alpha_v} + \frac{d}{\lambda_{\text{ф}}} + \frac{1}{\alpha_{\text{н0}}}}{\frac{1}{\alpha_v} + \frac{d}{\lambda_{\text{СПС}}} + \frac{1}{\alpha_{\text{нСПС}}}}, \quad (5)$$

где K_p — расчетное значение коэффициента K , определяемое в соответствии с [4], Вт/(м²·К); $K_{\text{СПС}}$, $K_{\text{ф}}$ — теоретические значения коэффициента теплопередачи кузова [6] при выполнении требований СПС к его средней температуре стенок и скорости движения омывающих его снаружи воздушных масс и при фактической средней температуре его стенок и отсутствии движения воздушных масс соответственно, Вт/(м²·К); d — средняя толщина ограждений грузового помещения изотермического вагона, м; α_v — расчетный коэффициент теплоотдачи от внутренних поверхностей кузова вагона к воздуху в нем (в соответствии с [6] можно принять $\alpha_v = 8$ Вт/(м²·К); $\alpha_{\text{нСПС}}$, $\alpha_{\text{н0}}$ — рас-

четные коэффициенты теплоотдачи от наружных стенок кузова изотермического вагона при скорости движения воздушных масс 2 м/с по СПС и в состоянии покоя ($\alpha_{\text{н0}} = 8$ Вт/(м²·К) [6]) соответственно; $\lambda_{\text{СПС}}$, $\lambda_{\text{ф}}$ — расчетные коэффициенты теплопроводности основного термоизоляционного материала кузова при температуре, равной средней температуре его стенок по СПС (20 °С), и фактической соответственно, Вт/(м·К).

Значение $\alpha_{\text{нСПС}}$ определяется с учетом перехода тепла как конвекцией α_k [9], так и излучением α_s по следующей формуле:

$$\alpha_{\text{нСПС}} = \alpha_k + \alpha_s = 9 + 3,5 \cdot 2^{0,66} + 0,227 \left(\frac{\bar{t}_{\text{нф}} + 273}{100} \right)^3 \varepsilon_0, \quad (6)$$

где $\bar{t}_{\text{нф}}$ — средняя температура наружного воздуха за время периода УС, °С; ε_0 — расчетный коэффициент длинноволнового излучения наружных поверхностей кузова вагона (принимается в соответствии с [16]).

Обычно вызывает трудность установление коэффициента теплопроводности основного термоизоляционного материала кузова вагона при температурах 20 °С и фактической. Известно, как правило, лишь одно значение коэффициента теплопроводности λ_0 при температуре t_0 . Вместе с тем известно [17], что в изотермических вагонах в качестве основного термоизоляционного материала используются вспенен-

ные полистиролы и полиуретаны, характеризующиеся большим количеством закрытых ячеек, содержащих газовую смесь. Принимая во внимание широко распространенные технологии производства указанных материалов, где в качестве пенообразователя используется углекислый газ или воздух, а также большой срок эксплуатации отечественных изотермических вагонов, в течение которого основная масса пенообразователя, отличного от воздуха, в процессе диффузии заменилась воздухом [18], коэффициент теплопроводности основного термоизоляционного материала при заданной температуре t может быть рассчитан с использованием коэффициента теплопроводности воздуха, хорошо изученного и точно установленного для различных температур [19]:

$$\lambda_t = \lambda_0 + (\lambda_{\text{вн}} - \lambda_{\text{в0}}), \quad (7)$$

где $\lambda_t, \lambda_{\text{вн}}, \lambda_{\text{в0}}$ — коэффициенты теплопроводности основного термоизоляционного материала кузова вагона при температуре t , а также воздуха при температурах t и t_0 соответственно, Вт/(м·К).

Категория испытываемого вагона устанавливается в соответствии с итоговым значением коэффициента K .

Выводы. Предложенная методика теплотехнических испытаний изотермических вагонов позволит:

- проводить теплотехнические испытания вагонов-термосов и рефрижераторных вагонов с высокой точностью получения конечного результата и выполнением основных требований СПС;
- создать механизм контроля и освидетельствования изотермических вагонов и контейнеров в соизмеримых условиях.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Правила перевозок железнодорожным транспортом скоропортящихся грузов [Электронный ресурс]: утв. приказом Минтранса России от 04 марта 2019 года № 66. URL: <https://base.garant.ru/72265752/> (дата обращения: 20.03.2020 г.).
2. Соглашение о международных перевозках скоропортящихся пищевых продуктов и о специальных транспортных средствах, предназначенных для этих перевозок (СПС) [Электронный ресурс]. URL: http://www.unece.org/fileadmin/DAM/trans/main/wp11/ATP_publication/2017/ATP_R_ECE_TRANS_271_WEB.pdf (дата обращения: 22.03.2020 г.).
3. ISO 1496-2:2018. Series 1 freight containers — Specification and testing — Part 2: Thermal containers / ISO/TC 104/SC 2. [S. I.], 2018. 52 p.
4. Давыдов Д. О. Методика расчета общего коэффициента теплопередачи кузова специального транспортного средства для перевозки скоропортящихся грузов // Вестник ВНИИЖТ. 2019. Т. 78. № 4. С. 249–256. DOI: <http://dx.doi.org/10.21780/2223-9731-2019-78-4-249-256>.
5. Айсори — удаленный доступ к ЯОД-архивам / ВНИИГМИ-МЦД [Электронный ресурс]. URL: <http://aisori.meteo.ru/ClimateR> (дата обращения: 22.03.2020 г.).
6. Давыдов Д. О. Алгоритм определения расчетной температуры наружного воздуха для установления условий перевозок скоропортящегося груза железнодорожным транспортом // Вестник транспорта Поволжья. 2019. № 2. С. 51–59.
7. СП 131.13330.2018 «СНиП 23-01-99* Строительная климатология»: утв. приказом Минстроя России от 28 нояб. 2018 г. № 763/пр. М.: Стандартинформ, 2019. 114 с.
8. Попова Л. В. Еще раз о прогнозах погоды и их оправдываемости [Электронный ресурс] / Филиал ФГБУ Северное УГМС «Вологодский ЦГМС». URL: <http://vcgms.ru/eshhe-raz-o-prognozh-pogody-i-ih-opravdy-vаемosti> (дата обращения: 22.03.2020 г.).
9. СТ ССФЖТ ЦТ-ЦП 129–2002. Локомотивы, моторвагонный и специальный подвижной состав. Кабины, салоны, служебные и бытовые помещения. Методики испытаний по показателям систем обеспечения микроклимата [Электронный ресурс]: утв. и введен в действие указанием МПС России от 25 июня 2003 года № Р-634у. URL: <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4293797/4293797670.htm> (дата обращения: 20.03.2020 г.).
10. Комаров Н. С. Справочник холодильщика. Киев: Госизд-во техн. лит. УССР, 1953. 396 с.
11. Китаев Б. Н. Тепловое воздействие солнечной радиации на вагоны. М.: Трансжелдориздат, 1962. 32 с.
12. Сивков С. И. Методы расчета характеристик солнечной радиации. Л.: Гидрометеорологическое изд-во, 1968. 231 с.
13. Muneer T. Solar Radiation and Daylight Models. Oxford, 2004. 392 с.
14. Термопреобразователи сопротивления [Электронный ресурс] // Энциклопедия АСУ ТП: сайт. URL: https://www.bookasutp.ru/chapter6_3_4.aspx (дата обращения: 22.03.2020 г.).
15. Самошкин С. Л., Мейстер А. О., Юхневский М. А. Методические вопросы определения среднего коэффициента теплопередачи кузовов пассажирских вагонов // Вестник ВНИИЖТ. 2019. Т. 78. № 6. С. 344–350. DOI: <http://dx.doi.org/10.21780/2223-9731-2019-78-6-344-350>.
16. Шейндлин А. Е. Излучательные свойства твердых материалов. М.: Энергия, 1974. 471 с.
17. Справочник-пособие по перевозке скоропортящихся грузов / под ред. В. Н. Панферова. М.: Техинформ, 2007. 308 с.
18. Голубев В. А., Евсеев Л. Д. Применение напыляемых пенополиуретанов в строительстве [Электронный ресурс] // infoportal.ru. URL: <https://www.xn--o1aaap.xn--p1ai/m/materiali/primenenie-napylyaemyh-penopoliuretanov-v-stroitelstve/> (дата обращения: 01.03.2020 г.).
19. Варгафтик Н. Б. Справочник по теплофизическим свойствам газов и жидкостей. 2-е изд., доп. и перераб. М.: Наука, 1972. 720 с.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ

ДАВЫДОВ Денис Олегович,

старший научный сотрудник, лаборатория «Управление перевозками продовольственных и скоропортящихся грузов», АО «НИИАС»

Статья поступила в редакцию 23.03.2020 г., актуализирована 15.05.2020 г., принята к публикации 20.05.2020 г.

Для цитирования: Давыдов Д. О. Методика проведения испытаний по определению изотермических свойств кузова грузовых вагонов, предназначенных для перевозок скоропортящихся грузов, в условиях отсутствия специализированной климатической камеры // Вестник ВНИИЖТ. 2020. Т. 79. № 3. С. 171–179. DOI: <https://doi.org/10.21780/2223-9731-2020-79-3-171-179>.

Testing procedure for determining isothermal properties of the freight car body intended for the transport of perishable freights in the absence of specialized climate chamber

D. O. DAVYDOV

Joint Stock Company "Research and Design Institute for Information Technology, Signalling and Telecommunications on Railway Transport" (JSC "NIIAS"), Moscow, 109029, Russia

Abstract. According to the Rules for the transport of perishable freights by rail, isothermal vehicles must comply with the provisions of the Agreement on the international transport of perishable food-stuffs and on special vehicles intended for this transport (ATP). The article proposed a technique for determining isothermal properties of the body of freight cars intended for the transportation of perishable freights by testing in the absence of a specialized climate chamber. The requirements of the ATP to the testing conditions are analyzed and the parameters that in the absence of a specialized climate chamber are impossible or difficult to perform are considered in detail. For each such parameter, a sequence of actions has been developed to bring the actual test conditions closer to the requirements of the ATP, and methods that allow adjusting the test results are justified taking into account the reduction of the specified parameters to the requirements of the ATP.

The proposed methodology of heat engineering tests of isothermal cars will allow:

- conduct heat engineering tests of thermos and refrigerated cars with high accuracy of obtaining the final result and the basic requirements of ATP;
- create a mechanism for control and examination of isothermal cars and containers under comparable conditions.

The methodology is of interest to organizations involved in the thermotechnical testing of isothermal cars, as well as for organizations entrusted with the functions of monitoring the thermotechnical parameters of isothermal cars.

Keywords: railway transport; perishable freight transportation; isothermal car; heat engineering tests

DOI: <http://dx.doi.org/10.21780/2223-9731-2020-79-3-171-179>

REFERENCES

1. Rules for the transport of perishable freights by rail. Approved by order of the Ministry of Transport of Russia dated March 04, 2019 No. 66. URL: <https://base.garant.ru/72265752/> (retrieved on 20.03.2020) (in Russ.).
2. Agreement on the international transport of perishable foodstuffs and on special vehicles intended for these transportations (ATP). URL: http://www.unece.org/fileadmin/DAM/trans/main/wp11/ATP_publication/2017/ATP_R_ECE_TRANS_271_WEB.pdf (retrieved on 22.03.2020) (in Russ.).
3. ISO 1496 2:2018. Series 1 freight containers — Specification and testing — Part 2: Thermal containers / ISO/TC 104/SC 2. [S. l.], 2018. 52 p.
4. Davydov D.O. Calculation method for the overall heat-transfer coefficient of a technical transport superstructure for perishables in traffic. Vestnik of the Railway Research Institute, 2019, Vol. 78, no. 4, pp. 249–256. DOI: <http://dx.doi.org/10.21780/2223-9731-2019-78-4-249-256>.
5. Aisori — remote access to YaOD archives. URL: <http://aisori.meteo.ru/ClimateR> (retrieved on 22.03.2020) (in Russ.).
6. Davydov D.O. Algorithm for determining the estimated outdoor temperature to establish the conditions for the transport of

perishable freights by rail. Vestnik transporta Povolzhya, 2019, no. 2, pp. 51–59.

7. SP 131.13330.2018 "SNiP 23-01-99* Construction climatology". Approved by order of the Ministry of Construction of Russia dated November 28, 2018 No. 763/pr. Moscow, Standartinform Publ., 2019. 114 p. (in Russ.).

8. Popova L.V. More on weather forecasts and their justification. Branch of FSBI Northern UGMS "Vologda TsGMS". URL: <http://vcgms.ru/eshhe-raz-o-prognozah-pogody-i-ih-opravdy-vaemosti> (retrieved on 22.03.2020) (in Russ.).

9. ST SSFZhT TsT TsP 129–2002. Locomotives, motorcar and special rolling stock. Cabins, salons, office and domestic premises. Test methods for indicators of microclimate systems. Approved and entered into force by the order of the Ministry of Railways of Russia of June 25, 2003 No. P-634u. URL: <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4293797/4293797670.htm> (retrieved on 20.03.2020) (in Russ.).

10. Komarov N.S. Reference book of the refrigerators. Kiev, State publishing house of the technical literature of the USSR Publ., 1953, 396 p.

11. Kitaev B.N. Thermal effects of solar radiation on cars. Moscow, Transzheldorizdat Publ., 1962, 32 p.

12. Sivkov S.I. Methods for calculating the characteristics of solar radiation. St. Petersburg, Gidrometeorologicheskoe izd-vo Publ., 1968, 231 p.

13. Muneer T. Solar Radiation and Daylight Models. Oxford, 2004. 392 p.

14. Thermal converters of resistance. Encyclopedia of industrial control system. URL: https://www.bookasutp.ru/chapter6_3_4.aspx (retrieved 22.03.2020) (in Russ.).

15. Samoshkin S.L., Meyster A.O., Yukhnevskiy M.A. Methodical issues of determination of the average heat transfer coefficient of the passenger car body. Vestnik of the Railway Research Institute, 2019, Vol. 78, no. 6, pp. 344–350. DOI: <http://dx.doi.org/10.21780/2223-9731-2019-78-6-344-350>.

16. Sheyndlin A.E. Radiative properties of solid materials. Moscow, Energiya Publ., 1974, 471 p.

17. Panferov V.N. Reference book for the transportation of perishable freights. Moscow, Tekhinform Publ., 2007, 308 p.

18. Golubev V.A., Evseev L.D. Application of sprayed polyurethane foams in construction. URL: <https://www.xn--o1aaap.xn--p1ai/m/materiali/primeneniye-napyljaemyh-penopoliuretanov-v-stroitelstve/> (retrieved on 01.03.2020) (in Russ.).

19. Vargaftik N.B. Reference book of the thermophysical properties of gases and liquids. 2nd ed., ext. and reworked. Moscow, Nauka Publ., 1972, 720 p.

ABOUT THE AUTHOR

Denis O. DAVYDOV,

Senior Researcher, Laboratory "Management of the transport of food and perishable freights", JSC "NIIAS"

Received 23.03.2020

Revised 15.05.2020

Accepted 20.05.2020

■ E-mail: d.o.davydov@gmail.com (D. O. Davydov)

For citation: Davydov D. O. Testing procedure for determining isothermal properties of the freight car body intended for the transport of perishable freights in the absence of specialized climate chamber. Vestnik of the Railway Research Institute. 2020. 79 (3): 171–179 (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.21780/2223-9731-2020-79-3-171-179>.