

Методика расчета общего коэффициента теплопередачи кузова специального транспортного средства для перевозки скоропортящихся грузов

Д. О. ДАВЫДОВ

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

Аннотация. Приведены математические формулировки для оценки основных составляющих неопределенности измерения общего коэффициента теплопередачи кузова специального транспортного средства, предназначенного для перевозки скоропортящихся грузов, методом внутреннего обогрева. Предложена методика расчета общего коэффициента теплопередачи кузова с учетом расширенной неопределенности измерений при проведении испытаний указанным методом без помещения специального транспортного средства в специализированную изотермическую камеру. Приведены экспериментальные данные и результаты расчета значения общего коэффициента теплопередачи кузова на примере испытаний вагона-термоса модели 16-6935.

Ключевые слова: железнодорожный транспорт; перевозка скоропортящихся грузов; общий коэффициент теплопередачи; неопределенность измерений; теплотехнические испытания

Введение. Качественная и безопасная перевозка железнодорожным транспортом скоропортящихся пищевых грузов (СПГ) невозможна без знания актуальных теплотехнических параметров специальных транспортных средств (СТС), используемых для этих перевозок. В связи с постоянным повышением требований к сохранности качества СПГ в процессе перевозки [1] особую актуальность приобретает задача периодического контроля и освидетельствования парка СТС на железнодорожном транспорте.

Необходимость решения данной задачи становится особенно очевидной при организации перевозок СПГ в режиме «термос» [2, 3], когда сохранность качества и безопасность перевозимого груза могут обеспечиваться в течение ограниченного (предельного) срока перевозки, рассчитываемого с использованием общего коэффициента теплопередачи кузова K , который ухудшается в процессе эксплуатации СТС, и его актуальное значение может быть установлено только путем проведения соответствующих теплотехнических испытаний.

Для определения величины коэффициента K могут быть использованы различные методики: в мировой практике широкое распространение получили те из

них, которые основаны на методе внутреннего обогрева. Он основывается на достижении стабильного во времени перепада средних температур воздуха внутри и снаружи кузова СТС при стабильной мощности электронагревательных приборов, установленных внутри кузова СТС. Описание метода, в частности, содержится в Соглашении о международных перевозках скоропортящихся пищевых продуктов и о специальных транспортных средствах, предназначенных для этих перевозок (СПС) [4].

Существуют методики без необходимости достижения стационарного температурного режима, заключающиеся:

- в нагреве кузова СТС лишь до установления регулярного режима, когда тепловая инерция кузова перестает оказывать значимое влияние на изменение температуры воздуха внутри него [5];
- в кратковременном нагреве и последующем равном ему по времени охлаждении кузова СТС путем снижения мощности электронагревательных приборов (исключает необходимость достижения регулярного режима) [6];
- то же, что и при кратковременном нагреве, но без необходимости охлаждения кузова СТС [7].

Известны также методики, основанные на использовании промышленных тепловизоров [8], а также программно-аппаратные комплексы для испытаний по этим методикам [9].

Значительной проблемой для испытаний СТС на железнодорожном транспорте России является отсутствие в настоящее время специализированных изотермических камер. Проведение теплотехнических испытаний в обычных крытых помещениях (склады, депо и т.п.) с использованием любой из указанных выше методик приводит к возникновению значительных неопределенностей при измерении коэффициента K , которые должны быть учтены в его итоговом значении. В противном случае результат измерения K не может гарантировать условий качественной и безопасной перевозки СПГ.

■ E-mail: D.Davydov@vniias.ru (Д. О. Давыдов)

Ранее предпринимались попытки оценить точность определения коэффициента K [10], но не путем оценки составляющих неопределенности измерений, необходимых для расчета его величины, а методом учета различных составляющих погрешности измерительных приборов и частных условий проведения испытаний, что не соответствует требованиям [11]. Предложим методику, которая позволяет определить по результатам испытаний СТС методом внутреннего обогрева не в специализированной изотермической камере все значимые составляющие неопределенности измерения коэффициента K и, выразив их через расширенную неопределенность, учесть величины этих составляющих в итоговом значении K для минимизации риска порчи СПГ во время перевозки, особенно при использовании СТС в режиме «термос».

Положения предлагаемой методики, касающиеся расчета неопределенностей измерения коэффициента K , были приняты в 2018 г. рабочей группой по перевозкам скоропортящихся пищевых продуктов, действующей в рамках СПС под эгидой Комитета по внутреннему транспорту (КВТ) Европейской экономической комиссии (ЕЭК) ООН, и включены в Справочник СПС [12].

Методика расчета коэффициента K . Как всякая определяемая экспериментально физическая величина, коэффициент K характеризуется неопределенностью измерения, и для дальнейшего его использования при разработке условий перевозок скоропортящихся грузов K может быть рассчитан как

$$K = \bar{K} + U(K), \quad (1)$$

где \bar{K} — среднее значение коэффициента K , Вт/(м²·К); $U(K)$ — наиболее полное выражение всех составляющих неопределенности измерения коэффициента K , Вт/(м²·К).

Примем, что измерение температуры воздуха осуществляется в 12 точках снаружи и 12 точках внутри кузова СТС; измеряемые параметры (электрическая мощность, температура воздуха, средняя площадь кузова СТС) фиксируются с периодом 15 мин, испытания проводятся с достижением стационарного температурного режима. Тогда для \bar{K} , определяемого на основании средних значений физических величин, полученных в течение 12 ч в стационарном температурном режиме (расчетный интервал), имеем:

$$\bar{K} = \frac{\bar{Q}}{\bar{S}(T_i - T_e)}, \quad (2)$$

$$\bar{Q} = \frac{\sum_{k=1}^n Q_k}{n}, \quad (3)$$

$$\bar{T}_i = \frac{\sum_{k=1}^n \sum_{i=1}^l T_{i,k}}{nl}, \quad (4)$$

$$\bar{T}_e = \frac{\sum_{k=1}^n \sum_{j=1}^m T_{e,j,k}}{nm}, \quad (5)$$

$$\bar{S} = \sqrt{\bar{S}_e \bar{S}_i}, \quad (6)$$

где \bar{Q} , \bar{T}_i , \bar{T}_e , \bar{S} — рассчитанные средние значения соответственно теплопроизводительности электронагревательных приборов, Вт; температуры воздуха внутри и снаружи кузова, °С; а также площади средней поверхности кузова испытуемого СТС, м². Q_k — теплопроизводительность электронагревательных приборов в k -м замере (всего за расчетный интервал производится $n = 49$ замеров), Вт; $T_{i,k}$, $T_{e,j,k}$ — значения температуры воздуха, измеренные при k -м замере, соответственно i -м прибором внутри кузова СТС (всего в одном замере участвует одновременно $l = 12$ равноточных приборов) и j -м прибором снаружи кузова (всего в одном замере участвует одновременно $m = 12$ равноточных приборов), °С; \bar{S}_i , \bar{S}_e — средняя площадь соответственно внутренней и наружной поверхностей кузова СТС (без учета гофр), м².

Расчет средней площади кузова произведем по формуле

$$\begin{aligned} \bar{S}_{eli} = & \bar{L}_{eli} \bar{B}_{eli} + 2(\bar{L}_{eli} + \bar{B}_{eli}) \bar{H}_{eli} + \\ & + \bar{L}_{eli} \frac{\bar{P}_{eli}}{2} + \pi \frac{\bar{B}_{eli}}{2} (\overline{HH}_{eli} - \bar{H}_{eli}), \end{aligned} \quad (7)$$

где \bar{L}_e , \bar{B}_e , \bar{H}_e , \overline{HH}_e , \bar{L}_i , \bar{B}_i , \bar{H}_i , \overline{HH}_i — средние значения длины, ширины, высоты по боковой стене и высоты по центральной продольной оси соответственно снаружи и внутри кузова испытуемого СТС; \bar{P}_e , \bar{P}_i — средняя длина периметра эллипса, в виде которого можно условно представить скругление соответственно наружной и внутренней поверхностей крыши испытуемого СТС, м².

$$\bar{P}_{eli} = 4 \left(\left(\frac{\bar{B}_{eli}}{2} \right)^x + (\overline{HH}_{eli} - \bar{H}_{eli})^x \right)^{\frac{1}{x}}, \quad (8)$$

где

$$x = \frac{\ln 2}{\ln \frac{\pi}{2}}. \quad (9)$$

Значения средних наружных размеров кузова испытуемого СТС (\bar{L}_e , \bar{B}_e , \bar{H}_e , \overline{HH}_e) принимаются в соответствии с данными конструкторской документации. Величины средних внутренних размеров кузова

испытываемого СТС ($\bar{L}_i, \bar{B}_i, \bar{H}_i, \overline{HH}_i$) определяются как средние арифметические измерений:

- длины и ширины испытываемого СТС в соответствующих двух нижних и двух верхних ребрах кузова;
- высоты по боковой стене в четырех вертикальных ребрах кузова;
- высоты по центральной продольной оси в торцах испытываемого СТС.

$$\bar{L}_i = \frac{\sum L_i}{z_{\bar{L}_i}}, \quad (10.1)$$

$$\bar{B}_i = \frac{\sum B_i}{z_{\bar{B}_i}}, \quad (10.2)$$

$$\bar{H}_i = \frac{\sum H_i}{z_{\bar{H}_i}}, \quad (10.3)$$

$$\overline{HH}_i = \frac{\sum HH_i}{z_{\overline{HH}_i}}, \quad (10.4)$$

где $\bar{L}_i, \bar{B}_i, \bar{H}_i, \overline{HH}_i$ — наборы значений фактически измеренных соответственно длины, ширины, высоты по боковой стене и высоты по центральной продольной оси грузового помещения испытываемого СТС (без учета гофра), м²; $z_{\bar{L}_i}, z_{\bar{B}_i}, z_{\bar{H}_i}, z_{\overline{HH}_i}$ — количество измерений соответственно длины, ширины, высоты по боковой стене и высоты по центральной продольной оси грузового помещения испытываемого СТС.

Среди известных способов выражения неопределенностей [11] наиболее полный учет всех ее составляющих может быть выражен в расширенной неопределенности измерения коэффициента K . Измерения проводим методом внутреннего обогрева.

Расчет расширенной неопределенности измерения коэффициента K . Согласно [11] расширенную неопределенность измерения коэффициента K можно определить как

$$U(K) = k \cdot u_C(K), \quad (11)$$

где k — коэффициент охвата для выбранного уровня доверия (в соответствии с [11] может быть принят равным 2 для уровня доверия $p = 95\%$, который целесообразен для рассматриваемых инженерных задач); $u_C(K)$ — суммарная стандартная неопределенность измерения коэффициента K , представляющая собой оценку его стандартного отклонения.

В качестве математической модели, с помощью которой совокупность многократных повторных измерений, осуществляемых при испытании СТС, преобразуется в конечный результат измерения коэффициента K , выберем такую, где оценка неопределенности всех величин производится по всем точкам

кузова в пределах всего расчетного интервала. Выбор указанной модели определяется тем, что ее применение позволяет пренебречь влиянием места измерения температуры воздуха на его значение (данная корреляция, взятая в общем, в значительной степени будет нивелирована влиянием других факторов) и произвести численную оценку корреляции между векторами средних значений температуры воздуха снаружи и внутри кузова, а также теплопроизводительности электронагревательных приборов и температуры воздуха внутри кузова испытываемого СТС.

Поскольку коэффициент K определяется на основании функциональной зависимости (2), суммарная стандартная неопределенность его измерения может быть рассчитана на основании закона трансформирования неопределенностей, приведенного в [11]:

$$u_C(K) = \sqrt{\left(\frac{u_C(Q)}{\bar{S}(\bar{T}_e - \bar{T}_i)}\right)^2 + \left(\frac{\bar{Q}u_C(S)}{\bar{S}^2(\bar{T}_e - \bar{T}_i)}\right)^2 + \frac{\bar{Q}^2(u_C(T_i)^2 + u_C(T_e)^2)}{\bar{S}^2(\bar{T}_e - \bar{T}_i)^4} + \frac{\bar{Q}^2 2r(T_e, T_i)u_C(T_e)u_C(T_i)}{\bar{S}^2(\bar{T}_e - \bar{T}_i)^4} + \frac{2\bar{Q}r(Q, T_i)u_C(Q)u_C(T_i)}{\bar{S}^2(|\bar{T}_e - \bar{T}_i|)^3}}, \quad (12)$$

где $u_C(Q), u_C(T_i), u_C(T_e), u_C(S)$ — суммарные стандартные неопределенности измерения соответственно теплопроизводительности, Вт; температуры воздуха внутри и снаружи кузова, °С; средней поверхности кузова, м²; $r(T_e, T_i), r(W, T_i)$ — коэффициенты корреляции соответственно векторов средних значений температуры воздуха снаружи и внутри кузова, теплопроизводительности электронагревательных приборов и температуры воздуха внутри кузова испытываемого СТС.

Основываясь на выбранной математической модели, в качестве оценки корреляции можно использовать коэффициент корреляции Пирсона [13]. Однако следует учитывать, что в классической форме линейный коэффициент корреляции может быть принят только для пары векторов теплопроизводительности и средней температуры воздуха внутри кузова СТС. Корреляция между векторами средней температуры воздуха снаружи и внутри кузова СТС должна быть принята с временным смещением и может быть определена по предлагаемому автором алгоритму, блок-схема которого приведена на рис. 1.

Поскольку изменения отдельных параметров стационарного температурного режима для выбранной математической модели могут быть вызваны множеством самых разнообразных причин, не подлежащих

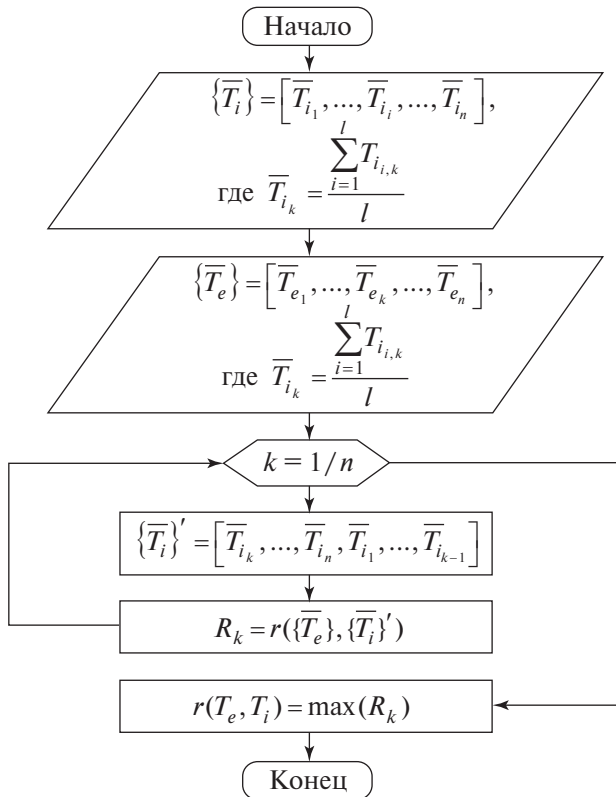


Рис. 1. Блок-схема алгоритма определения корреляции между средними значениями температуры воздуха внутри и снаружи кузова СТС

Fig. 1. Flow chart of the algorithm for defining correlation between average air temperatures inside and outside the TT superstructure

полному учету и точной оценке, в соответствии с центральной предельной теоремой теории вероятностей [13, 14] для установления стандартных неопределенностей измерения указанных параметров, оцененных по типу А [11], воспользуемся формулами для нормального распределения. В этом случае суммарные стандартные неопределенности параметров, входящих в формулу (2), могут быть определены по следующим выражениям:

$$u_C(Q) = \sqrt{u_A(\bar{Q})^2 + u_B(Q)^2} = \sqrt{\frac{\sum_{k=1}^n (Q_k - \bar{Q})^2}{n(n-1)}} + u_B(Q), \quad (13)$$

$$u_C(T_{(eli)}) = \sqrt{\frac{\sum_{k=1}^n \sum_{(j|i),k=1}^{(m|l)} (T_{(eli)_{(j|i),k}} - \bar{T}_{(eli)})^2}{n(n-1)}} + u_B(T_{(eli)}), \quad (14)$$

$$u_C(S) = \sqrt{\frac{(\bar{S}_i u_C(S_e))^2 + (\bar{S}_e u_C(S_i))^2}{4 \bar{S}_e \bar{S}_i}}, \quad (15)$$

где $u_A(\bar{Q})$ — стандартная неопределенность измерения, оцененная по типу А, теплопроизводительности, Вт; $u_B(Q)$, $u_B(T_i)$, $u_B(T_e)$ — стандартные неопределенно-

сти измерения соответственно теплопроизводительности, Вт; температуры воздуха внутри и снаружи кузова СТС, К; оцененные по типу В [11]. Согласно [11] для указанных условий проведения испытаний $u_B(x) = a/\sqrt{3}$; $u_C(S_e)$, $u_C(S_i)$ — суммарные стандартные неопределенности значений площади соответственно наружной и внутренней поверхностей кузова испытуемого СТС, м².

Определим суммарные стандартные неопределенности измерения S_i и S_e . Представим S_i и S_e как функции ряда многократно измеряемых параметров, p_i и p_e (например, длины, ширины и высоты, измеренных в различных местах кузова СТС):

$$S_{eli} = f(p_{(eli)_1}, p_{(eli)_2}, \dots, p_{(eli)_y}, \dots, p_{(eli)_Y}). \quad (16)$$

Тогда их суммарные стандартные неопределенности можно вычислить по формулам

$$u_C(S_{eli}) = \sqrt{\sum_{y=1}^Y \left(u_C(p_{(eli)_y}) \frac{\partial f}{\partial p_{(eli)_y}} \right)^2}, \quad (17)$$

$$u_C(p_{(eli)_y}) = \sqrt{\frac{\sum_{v=1}^V (p_{(eli)_{y,v}} - \bar{p}_{(eli)_y})^2}{V(V-1)}} + u_B(p_{(eli)_y}), \quad (18)$$

где $\frac{\partial f}{\partial p_{(eli)_y}}$ — частные производные функций для вы-

числения S_e или S_i ; $\bar{p}_{(eli)_y} = \frac{\sum_{v=1}^V p_{(eli)_{y,v}}}{V}$ — среднее значение

параметра p_{e_y} или p_{i_y} ; V — количество измерений, осуществленных для определения среднего значения параметра p_{e_y} или p_{i_y} ; $p_{(eli)_{y,v}}$ — измеренное значение параметра p_{e_y} или p_{i_y} при v -м замере; $u_B(p_{(eli)_y})$ — стандартная неопределенность параметра p_{e_y} или p_{i_y} , оцененная по типу В.

Результаты экспериментальной проверки. Экспериментальная проверка предложенной выше методики проводилась в 2016–2018 гг. Рассмотрим полученные результаты на примере испытания вагона-термоса модели 16-6935, проведенного в апреле 2018 г.

На рис. 2 приведены результаты измерений в границах расчетного интервала (12 ч) температуры воздуха внутри и снаружи кузова вагона, а также результаты определения теплопроизводительности электронагревательных приборов.

В таблице представлены показатели, полученные в процессе теплотехнических испытаний вагона-термоса, а также значения рассчитанных на их основе стандартных неопределенностей по предложенной методике.

Для расчета расширенной неопределенности коэффициент охвата для уровня доверия 95% принят

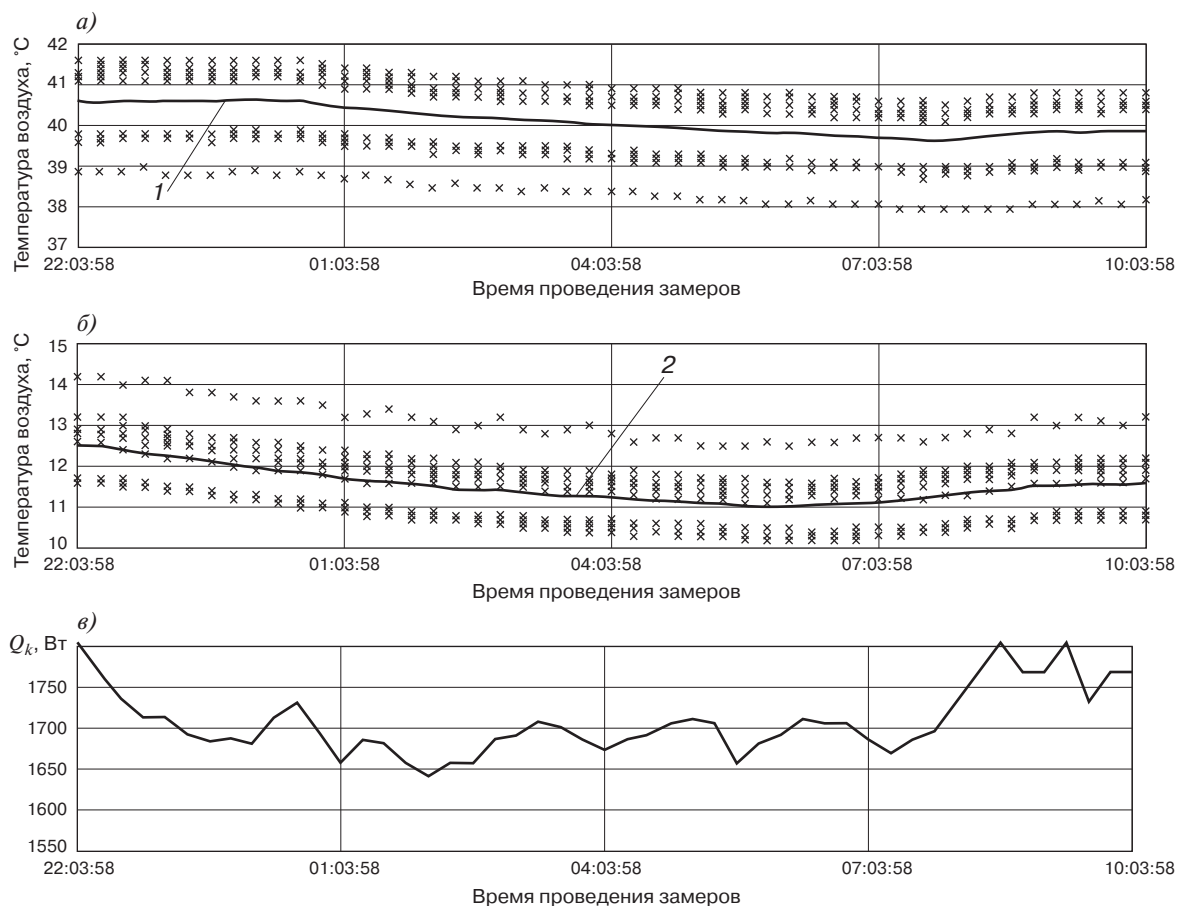


Рис. 2. Результаты измерений за расчетный интервал:

a, б — температура воздуха внутри и снаружи кузова: \times — мгновенные значения температуры воздуха; *1, 2* — изменение средних (в пределах одного замера) значений температуры воздуха, внутри и снаружи кузова соответственно; *в* — теплопроизводительность электронагревательных приборов

Fig. 2. Measurement results in the estimated period:

a, б — air temperature inside and outside the superstructure: \times — instantaneous values of air temperature; *1, 2* — change of average (within one size) values of air temperature inside and outside the superstructure; *в* — heat capacity of the electric heating appliances

равным 2. При указанном значении коэффициента охвата расширенная неопределенность измерения коэффициента K , рассчитанная по формуле (11), составила $0,024 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$.

При определении суммарной стандартной неопределенности измерения K значения коэффициентов корреляции составили: между средними величинами температуры воздуха снаружи и внутри кузова вагона — 0,868; между значениями теплопроизводительности и средними величинами температуры воздуха внутри кузова вагона — 0,725.

На рис. 3 приведены границы расширенной неопределенности и локальные мгновенные значения коэффициента K , рассчитанные по формуле

$$K_{<i \setminus j>,k} = \frac{Q_k}{S(T_{i,k} - T_{e,j,k})} \quad (19)$$

Из рис. 3 видно, что около 97% всех локальных мгновенных значений коэффициента K вошло в рассматриваемый диапазон $0,314 \pm 0,024 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$,

то есть учтены все значимые составляющие неопределенности измерения коэффициента K .

Рассчитанное итоговое значение коэффициента K , включающее расширенную неопределенность, составило в приведенном примере $0,338 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$ вместо $0,314 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$, если произвести расчет по средним измеренным значениям (без учета неопределенностей измерения этих величин и их влияния на итоговое значение коэффициента K). Таким образом, они различаются на 7,6%. Предельный срок перевозки в зимний период года, например, пива пастеризованного в вагонах-термосах модели 16-6935 с коэффициентом $K=0,338 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$ будет на 1 сут больше, чем с коэффициентом $K=0,314 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$. Для других условий изменение может быть более значительным. Это также подтверждает, что для любых конкретных условий проведения испытаний, в том числе для других методик измерения коэффициента K без использования специализированной изотермической камеры, неопределенность также должна

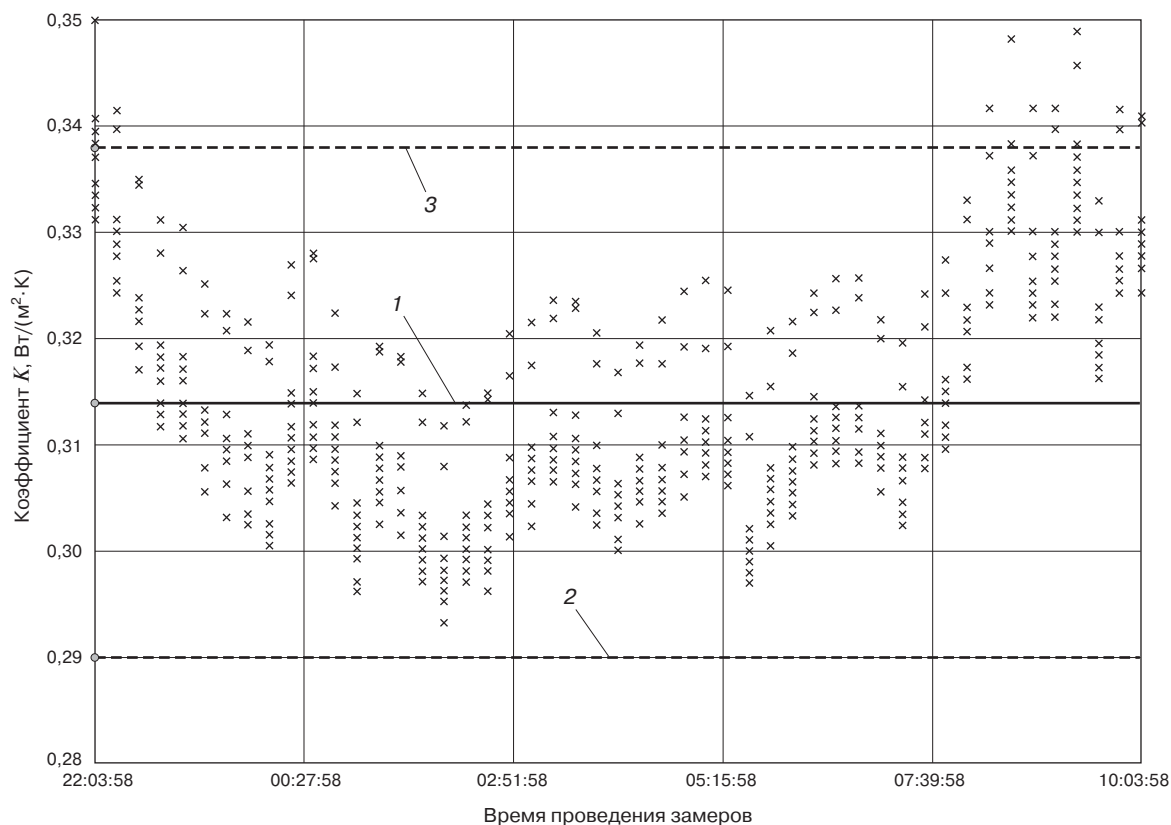


Рис. 3. Локальные мгновенные значения коэффициента K :
 × — мгновенные значения температуры воздуха; 1 — \bar{K} ; 2, 3 — нижняя и верхняя границы интервала $\bar{K} \pm U(K)$ соответственно
 Fig. 3. Local instantaneous values of coefficient K :
 × — instantaneous values of air temperature; 1 — \bar{K} ; 2, 3 — bottom and top limits of the interval $\bar{K} \pm U(K)$ accordingly

Измеренные в процессе теплотехнических испытаний вагона-термоса модели 16-6935 показатели и значения рассчитанных на их основе стандартных неопределенностей по предложенной методике

Indicators measured during heat engineering tests of the refrigerator car model 16-6935 and standard uncertainties calculated according to the proposed technique

Показатель	Приборная погрешность	Среднее значение	Стандартная неопределенность		
			По типу A	По типу B	По типу A + по типу B
$\bar{L}_e, \text{ м}$	0,0005	15,750	—	0,0003	0,0003
$\bar{B}_e, \text{ м}$	0,0005	2,790	—	0,0003	0,0003
$\bar{H}_e, \text{ м}$	0,0005	2,915	—	0,0003	0,0003
$\overline{HH}_e, \text{ м}$	0,0005	3,323	—	0,0003	0,0003
$\bar{L}_i, \text{ м}$	0,010	15,328	0,0025	0,0058	0,0063
$\bar{B}_i, \text{ м}$	0,005	2,435	0,0150	0,0029	0,0153
$\bar{H}_i, \text{ м}$	0,005	2,627	0,0060	0,0029	0,0066
$\overline{HH}_i, \text{ м}$	0,005	2,905	0,0050	0,0029	0,0058
$\bar{P}_e, \text{ м}$	—	6,117	—	—	0,0128
$\bar{P}_i, \text{ м}$	—	5,192	—	—	0,0350
$\bar{S}, \text{ м}^2$	—	186,132	—	—	0,2609
$\bar{Q}, \text{ Вт}$	1%*	1672	5,9	9,7	11,3
$\bar{T}_i, \text{ }^\circ\text{C}$	0,5	40,1	0,47	0,29	0,55
$\bar{T}_e, \text{ }^\circ\text{C}$	0,5	11,5	0,41	0,29	0,50
$\bar{K}, \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$	—	0,314	—	—	0,012

Примечание. * Относительная приведенная погрешность.

быть проанализирована, определена и учтена в его итоговом значении.

Выводы. Предложенная методика позволяет организациям, проводящим теплотехнические испытания, рассчитать значение коэффициента K , измеренного методом внутреннего обогрева без использования специализированной изотермической камеры, путем включения в итоговое значение K расширенной неопределенности его измерения. Методика апробирована в 2016–2018 гг. при проведении контроля теплотехнических параметров вагонов-термосов. Полученные результаты подтвердили, что в итоговом значении коэффициента K при расчете учитываются все значимые составляющие неопределенности измерения.

Применение предложенной методики позволит при разработке условий перевозок СПГ в режиме «термос», связанных с расчетом предельных сроков перевозок грузов, гарантировать сохранность качества и безопасность перевозимых грузов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Winkworth-Smith C.G., Foster T.J., Morgan W. The impact of reducing food loss in the global cold chain, final report. The University of Nottingham, 2015. 99 p.
2. Типовая методика по установлению температурных режимов и предельных сроков перевозки ОАО «РЖД» новых видов скоропортящихся грузов в изотермических транспортных средствах, кроме изотермических цистерн и контейнеров-цистерн, на особых условиях: утв. вице-президентом ОАО «РЖД» от 04.12.2012 г. № 355.
3. Дюбко А. П., Крутова Е. А. Теплообмен при перевозке скоропортящихся грузов в вагонах-термосах // Вестник ВНИИЖТ. 1984. № 5. С. 50–54.
4. Авторское право Организации Объединенных Наций, 2017. 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: 16.07.2019 г.).

5. Иванов К. В., Лукшин А. Е. Оценка влияния тепловой инерции кузова рефрижераторного вагона при нестационарном подогреве // Труды ЦНИИ МПС. М.: Транспорт, 1972. Вып. 456. С. 80–87.

6. Теймуразов Н. С., Науменко С. Н. Ускоренные методы оценки коэффициента теплопередачи кузовов изотермических транспортных средств // Вестник ВНИИЖТ. 2009. № 5. С. 18–21.

7. 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: 10.21780/2223-9731-2017-76-5-306-311.

8. Колесников В. И., Алексенко М. В. Мониторинг технического состояния ограждающих конструкций изотермического подвижного состава // Вестник Ростовского государственного университета путей сообщения. 2007. № 1 (25). С. 27–33.

9. Программно-аппаратный комплекс инфракрасной диагностики изотермического подвижного состава «Тепло-М» / М. В. Алексенко [и др.] // Транспорт-2006: сборник трудов Всероссийской научно-практ. конф. Ч. III. Ростов н/Д: РГУПС, 2006. С. 95–96.

10. Иванов К. В. Оценка точности определения коэффициента теплопередачи ограждения рефрижераторного вагона // Труды ЦНИИ МПС. М.: Транспорт, 1972. Вып. 456. С. 94–99.

11. ГОСТ 34100.3–2017/ISO/IEC Guide 98-3:2008. Неопределенность измерения. Часть 3. Руководство по выражению неопределенности измерения [Электронный ресурс]. М.: Стандартинформ, 2017. 104 с. URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200146871> (дата обращения: 09.02.2019 г.).

12. Авторское право Организации Объединенных Наций, 2017. Справочник СПС 2018 [Электронный ресурс]. URL: http://www.unece.org/fileadmin/DAM/trans/main/wp11/ATP_publication/2017/ATP-2017r_Handbook.pdf (дата обращения: 16.07.2019 г.).

13. Розанов Ю. А. Лекции по теории вероятностей: уч. пособие для вузов. М.: Наука, 1986. 120 с.

14. Зайдель А. Н. Элементарные оценки ошибок измерений. М.; Л.: Наука (Ленинградское отделение), 1965. 80 с.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ

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

Статья поступила в редакцию 19.02.2019 г., актуализирована 01.04.2019 г., принята к публикации 03.06.2019 г.

Calculation method for the overall heat-transfer coefficient of a technical transport superstructure for perishables in traffic

D. O. DAVYDOV

Joint Stock Company “Research and Design Institute for Information Technology, Signalling and Telecommunications in Railway Transportation” (JSC “NIIAS”), Moscow, 109029, Russia

Abstract. High quality and safe transportation of perishable food cargo (PFC) by railway transport is impossible without knowledge of the heat engineering parameters of the technical transport (TT) used for transportation. Due to constant increase of requirements for PFC quality safety during transportation, the task of regular inspection and survey of TT is imperative. During transportation of (PFC by technical transport (TT) in the “thermos” mode, their quality is maintained for a limited period, that directly depends on the value of the overall heat transfer coefficient (coefficient K) of the TT superstructure. Concurrently, the use of coefficient K calculated based on the average values measured during the heat engineering tests (electric power, air temperature, average area of the TT superstructure) without considering significant

fluctuations like conducting the tests without putting the TT into the specialized isothermal enclosure, enhances the risk of deterioration of the transported cargo quality transported during such transport.

The proposed technique allows companies conducting heat engineering tests to calculate the coefficient K value measured using the method of internal heating without using a specialized isothermal enclosure. This is achieved by adding an expanded uncertainty on the measurement of coefficient K in its final value. The method was tested from 2016–2018 in the control process of the heat engineering parameters of the “thermos” cars. The results confirmed that all significant components of measurement uncertainties are considered in calculating the final value of coefficient K .

Application of the proposed technique ensures safeguarding the quality and safety of transported goods during development of the PFC transportation conditions in the “thermos” mode connected with calculation of the cargo transportation time-limit.

Keywords: railway transport; perishable traffic; overall heat-transfer coefficient; uncertainty of measurements; heat engineering tests

DOI: <http://dx.doi.org/10.21780/2223-9731-2019-78-4-249-256>

REFERENCES

1. Winkworth Smith C. G., Foster T. J., Morgan W. *The impact of reducing food loss in the global cold chain, final report*. The University of Nottingham, 2015, 99 p.
2. *Tipovaya metodika po ustanovleniyu temperaturnykh rezhimov i predel'nykh srokov perevozki OAO "RZD" novykh vidov skoroporyashchikhysya грузов v izotermicheskikh transportnykh sredstvakh, krome izotermicheskikh tsistern i konteynerov-tsistern, na osobykh usloviyakh:* utv. vitse-prezidentom OAO "RZD" ot 04.12.2012 no. 355 [Typical method of setting temperature modes and the limit terms of transportation by JSC "RZD" of new types of perishable foods in refrigerated cars, except for refrigerated tanks and tank containers under special conditions; approved by the President of JSC "RZD" on 04.12.2012, no. 355]. (in Russ.).
3. Dyubko A. P., Krutova E. A. *Teploobmen pri perevozke skoroporyashchikhysya грузов v vagonakh-termosakh* [Heat exchange during transportation of perishable foods in termos cars]. *Vestnik VNIIZhT* [Vestnik of the Railway Research Institute], 1984, no. 5, pp. 50–54.
4. *Avtorskoe pravo Organizatsii Ob'edinennykh Natsiy, 2017. Soglasenie o mezhdunarodnykh perevozkakh skoroporyashchikhysya pishchevykh produktov i o spetsial'nykh transportnykh sredstvakh, prednaznachennykh dlya etikh perevozk (SPS)* [Elektronnyy resurs] [Agreement on the international transportation of the perishable foods and on special transport intended for such transportations (RLS). (Electronic resource)]. URL: http://www.unece.org/fileadmin/DAM/trans/main/wp11/ATP_publication/2017/ATP_R_ECE_TRANS_271_WEB.pdf (retrieved on 16.07.2019).
5. Ivanov K. V., Lukshin A. E. *Otsenka vliyaniya teplovoi inertsi kuzova refrizheratornogo vagona pri nestatsionarnom podogreve* / Trudy TsNII MPS [Assessment of effect of the refrigerated car body heat inertia with unsteady heating / Proc. of JSC "VNIIZhT"]. Moscow, Transport, 1972, Vyp. 456, pp. 80–87.
6. Teymurazov N. S., Naumenko S. N. *Uskorennye metody otsenki koeffi tsienta teploperedachi kuzovov izotermicheskikh transportnykh sredstv* [Accelerated methods of evaluating heat transfer coefficient of isothermal rolling stock carbody]. *Vestnik VNIIZhT* [Vestnik of the Railway Research Institute], 2009, no. 5, pp. 18–21.
7. Golubin A. A., Naumenko S. N. *Razrabotka algoritma po opredeleniyu koeffi tsienta teploperedachi kuzova izotermicheskogo transportnogo sredstva na osnove rezul'tatov analiza prois-*

khodyashchikh v nem teploobmennyykh protsessov [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: 10.21780/2223-9731-2017-76-5-306-311.

8. Kolesnikov V. I., Aleksenko M. V. *Monitoring tekhnicheskogo sostoyaniya ograzhdayushchikh konstruksiy izotermicheskogo podvizhnogo sostava* [Monitoring of technical condition of fencing structures of refrigerated rolling stock]. *Vestnik Rostovskogo gosudarstvennogo universiteta putey soobshcheniya* [Bulletin of Rostov State Transport University], 2007, no. 1(25), pp. 27–33.

9. *Programmno-apparatnyy kompleks infrakrasnoy diagnostiki izotermicheskogo podvizhnogo sostava "Teplo-M"* / M. V. Aleksenko [i dr.] / Transport-2006: sb. trudov Vserossiyskoy nauchno-praktich. konf. Ch. III [Hardware and software complex of infrared diagnostics of the refrigerated rolling stock "Teplo-M" / M. V. Aleksenko [et al.] / Transport-2006: collection of works of the All-Russia scientific and practical conference. P. III]. Rostov n/D: RGUPS [Rostov-on-Don, Rostov State Transport University], 2006, pp. 95–96.

10. Ivanov K. V. *Otsenka tochnosti opredeleniya koeffitsienta teploperedachi ograzhdeniya refrizheratornogo vagona* / Trudy TsNII MPS. [Assessment of accuracy of determination of the heat transfer coefficient of the car-refrigerator / Proc. of JSC "VNIIZhT"]. Moscow, Transport, 1972, Vyp. 456, pp. 94–99.

11. GOST 34100.3–2017/ISO/IEC Guide 98-3:2008. *Neopredelenost' izmereniya*. Chast' 3. Rukovodstvo po vyrazheniyu neopredelenosti izmereniya [Elektronnyy resurs] [Uncertainty of measurements. Part 3. Guidelines for uncertainty of measurements expression (Electronic resource)]. Moscow, Standartinform, 2017, 104 p. URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200146871> (retrieved on 09.02.2019).

12. *Avtorskoe pravo Organizatsii Ob'edinennykh Natsiy, 2017. Spravochnik SPS 2018 [Elektronnyy resurs]*. [Reference guide of RLS 2018 (Electronic resource)]. URL: http://www.unece.org/fileadmin/DAM/trans/main/wp11/ATP_publication/2017/ATP-2017r_Handbook.pdf (retrieved on 16.07.2019).

13. Rozanov Yu. A. *Lektsii po teorii veroyatnostey: uch. posobie dlya vtuzov* [Lectures on the theory of probability: textbook for higher schools]. Moscow, Nauka, 1986, 120 p.

14. Zaydel' A. N. *Elementarnye otsenki oshibok izmereniy* [Elementary estimates of measurements errors]. M.; L.: Nauka (Leningradskoe otdelenie) [Moscow; Leningrad, Nauka, Leningrad branch], 1968, 96 p.

ABOUT THE AUTHOR

Denis O. DAVYDOV,

Senior Researcher, Laboratory of the Food and Perishable Cargo Transportation Control, JSC "NIIAS"

Received 19.02.2019

Revised 01.04.2019

Accepted 03.06.2019

■ E-mail: D.Davydov@vniias.ru (D. O. Davydov)

ВЫШЛИ В СВЕТ ТРУДЫ ВНИИЖТ

Экономические исследования железнодорожного комплекса и их практическое значение / под ред. О. Ф. Мирошниченко. М.: РАС, 2019. 210 с.

Изложены результаты исследований по актуальным проблемам экономики железнодорожного комплекса: ценообразование на грузовые и пассажирские перевозки, прочие виды деятельности; управление затратами, зависимость их от объема перевозок, формирование удельных оценочных затрат; оценка экономической эффективности технологических решений и инвестиционных

железнодорожных проектов; совершенствование системы управления железнодорожным транспортом.

Книга рассчитана на специалистов, занимающихся вопросами экономики железнодорожного транспорта, может быть полезна преподавателям и студентам транспортных вузов.

По вопросам приобретения книги обращайтесь по адресу: 129626, г. Москва, 3-я Мытищинская ул., д. 10, редакционно-издательский отдел АО «ВНИИЖТ».

Тел.: (499) 260-43-20, e-mail: rio@vniizht.ru, www.vniizht.ru.