



Европейская экономическая комиссия

Комитет по внутреннему транспорту

**Рабочая группа по перевозкам скоропортящихся
пищевых продуктов**

Семьдесят вторая сессия

Женева, 4–7 октября 2016 года

Пункт 5 b) предварительной повестки дня

Предложение по поправкам к СПС:
новые предложения

Дополнение Приложения 1 к СПС уточнениями относительно погрешности определения общего коэффициента теплопередачи специальных транспортных средств и внесение в Справочник СПС методики ее расчета

Представлено Российской Федерацией

РЕЗЮМЕ

Существо предложения: В соответствии с пунктом 2.3.2 добавления 2 к приложению 1 к СПС значение общего коэффициента теплопередачи (далее – коэффициент К) кузова специальных транспортных средств (далее – СТС) должно определяться с максимальной погрешностью $\pm 10\%$ при использовании метода внутреннего охлаждения и $\pm 5\%$ при использовании метода внутреннего нагревания. В данной формулировке остается непонятным, о какой именно погрешности определения коэффициента К идет речь?

В Справочнике СПС содержится комментарий к пункту 2.3.2 добавления 2 к приложению 1 к СПС, в котором дается описание возможных погрешностей, имеющих место при определении коэффициента К, а также даны общие предложения по определению этих погрешностей. Однако указанных в Справочнике СПС сведений недостаточно, чтобы иметь возможность обоснованно и однозначно на практике определить эти погрешности.

| | |
|-------------------------------|--|
| Предлагаемое решение: | <p>Уточнить формулировку пункта 2.3.2 добавления 2 к приложению 1 к СПС в части формы представления погрешности определения коэффициента К.</p> <p>Заменить комментарий к пункту 2.3.2 добавления 2 к приложению 1 Справочника СПС расширенной редакцией, содержащей методику расчета погрешности определения коэффициента К.</p> <p>Внести соответствующие изменения в образцы протоколов испытаний №№ 2 А и 2 В.</p> |
| Справочная информация: | Отсутствует. |

Введение

1. На 70-й сессии WP.11 были рассмотрены предложения Соединённого Королевства, касающиеся методов определения наружной поверхности кузова автомобильных фургонов без окон в грузовом отделении.

На 71-й сессии WP.11 Российской Федерацией был представлен неофициальный документ, распространяющий методы, предложенные Соединённым Королевством, также на определение площади поверхности кузова железнодорожных вагонов.

В ходе обсуждения неофициального документа специалисты Российской Федерации высказали мнение о необходимости каждому предлагаемому методу (в том числе определения площади теплопередающей поверхности кузова ТС) давать соответствующую оценку по величине погрешности, указывая, в том числе, способы ее расчета. Связано это, прежде всего, с необходимостью обеспечения в процессе испытаний по определению значения коэффициента К установленной в СПС точности. Так, в пункте 2.3.2 добавления 2 к приложению 1 к СПС указано, что значение коэффициента К должно быть определено с погрешностью не более:

±10 % при использовании метода внутреннего охлаждения;

±5 % при использовании метода внутреннего нагревания.

Также специалистами Российской Федерации было отмечено, что в методике испытаний, приведенной в СПС, отсутствуют какие-либо указания по расчету погрешности определения коэффициента К. Справочник СПС содержит комментарий к пункту 2.3.2 добавления 2 к приложению 1 к СПС, однако сведения, указанные в нем, недостаточны для однозначного толкования и практического применения методов расчета погрешностей. Данный комментарий необходимо существенно доработать и расширить соответствующей методикой расчета погрешности определения значения коэффициента К.

Понимая сложность поднятого вопроса, представители Рабочей группы выразили желание обсудить высказанные замечания в случае, если Российская Федерация представит на следующую 72-ю сессию соответствующий документ для обсуждения.

2. В связи с вышеизложенным, Российская Федерация подготовила предложения по внесению в СПС и Справочник СПС соответствующих положений в форме официального документа.

Специалисты Российской Федерации предлагают:

указать в пункте 2.3.2 добавления 2 к приложению 1 к СПС форму погрешности определения коэффициента К;

в Справочнике СПС привести методику расчета погрешности определения коэффициента К в процессе испытаний;

привести в соответствие предложенному образцы протоколов испытаний №№ 2 А и 2 В.

3. Решение о приведении методики расчета погрешности определения коэффициента К в Справочнике СПС, а не в самом СПС связано с тем, что приводимая методика учитывает только основные и наиболее значимые факторы, приводящие к погрешностям во время испытаний. Немаловажным является и то, что для расчета погрешности определения коэффициента К могут использоваться не предложенные в Справочнике СПС математические методы, а совершенно иные подходы, и их применение может быть оправдано в определенных условиях. Однако предложенная методика может с успехом применяться при подавляющем большинстве испытаний по определению значения коэффициента К у СТС.

Предложения

4. Представить пункт 2.3.2 добавления 2 к приложению 1 к СПС в следующей редакции¹:

«2.3.2 Точность измерений коэффициента К

Испытательные станции должны быть оснащены необходимым оборудованием и приборами, обеспечивающими возможность определения коэффициента К с максимальной относительной погрешностью к полученному результату измерения $\pm 10\%$ при использовании метода внутреннего охлаждения и $\pm 5\%$ при использовании метода внутреннего нагревания. При расчете погрешности определения коэффициента К с использованием методов теории вероятности и математической статистики уровень надежности должен быть принят не менее 95 %.

Исходные данные и расчет погрешности определения коэффициента К должны быть приложены к протоколу испытания СТС с целью измерения коэффициента К его кузова, оформленному в соответствии с образцами №№ 2 А и 2 В.»

5. Представить в Справочнике СПС комментарий к пункту 2.3.2 добавления 2 к приложению 1 к СПС в следующей редакции²:

«Комментарии к пункту 2.3.2:

1. Испытательные станции обычно учитывают погрешности значений таких параметров, как температура; ~~энергия~~ тепловая мощность, которая, как правило, находится в зависимости от электрической мощности, потребляемой электронагревателями (при использовании метода внутреннего нагревания); холодопроизводительность (при использовании метода внутреннего охлаждения) и площадь поверхности кузова.

Для определения погрешности обычно используется метод общей допустимой погрешности ϵ :

¹ Здесь и далее добавляемые фрагменты текста выделены подчеркиванием, удаляемые – зачеркиванием; исходное форматирование во всех случаях сохранено

² Блоки добавляемых формул по техническим причинам не выделены подчеркиванием

$$\varepsilon = \sqrt{\left(\frac{\Delta S}{S}\right)^2 + \left(\frac{\Delta W}{W}\right)^2 + \left(2 \cdot \frac{\Delta T}{T_e - T_i}\right)}$$

или абсолютной погрешности ε_m :

$$\varepsilon_m = \frac{\Delta S}{S} + \frac{\Delta W}{W} + 2 \cdot \frac{\Delta T}{T_e - T_i}$$

где:

S — средняя площадь поверхности кузова транспортного средства (средняя геометрическая внутренней и наружной поверхностей);

W — количество энергии, поглощенной внутри кузова транспортного средства при постоянных условиях;

T_e и T_i — соответственно наружная и внутренняя температуры кузова испытываемого транспортного средства.

Относительная погрешность определения коэффициента K , ε_K может быть получена отношением абсолютной погрешности определения коэффициента K , ΔK , к его рассчитанному (среднему) значению, \bar{K} . Поскольку в общем случае величину ΔK установить очень сложно, целесообразно использовать методы теории вероятности и математической статистики, определяя величину доверительного интервала (случайной погрешности) для \bar{K} , $\Delta_{\bar{K}}$, при уровне доверительной вероятности (надежности) не менее 95 %. В этом случае:

$$\varepsilon_K = \frac{\Delta K}{\bar{K}} \cdot 100 \cong \frac{\Delta_{\bar{K}}}{\bar{K}} \cdot 100$$

$$\Delta_{\bar{K}} = \sqrt{\left(\frac{\Delta_{\bar{W}}}{\bar{S} \cdot (\bar{T}_e - \bar{T}_i)}\right)^2 + \left(\frac{\bar{W} \cdot \Delta_{\bar{T}_i}}{\bar{S} \cdot (\bar{T}_e - \bar{T}_i)^2}\right)^2 + \left(\frac{\bar{W} \cdot \Delta_{\bar{T}_e}}{\bar{S} \cdot (\bar{T}_e - \bar{T}_i)^2}\right)^2 + \left(\frac{\bar{W} \cdot \Delta_{\bar{S}}}{\bar{S}^2 \cdot (\bar{T}_e - \bar{T}_i)}\right)^2}$$

где:

\bar{W} , \bar{T}_e , \bar{T}_i , \bar{S} — рассчитанные средние значения, соответственно, тепловой мощности (или холодопроизводительности), Вт; наружной и внутренней температур кузова, °C; площади средней поверхности кузова, м²;

$\Delta_{\bar{W}}$, $\Delta_{\bar{T}_i}$, $\Delta_{\bar{T}_e}$, $\Delta_{\bar{S}}$ — доверительные интервалы (случайные погрешности), соответственно, тепловой мощности (или холодопроизводительности), Вт, наружной и внутренней температур кузова, °C, площади средней поверхности кузова, м².

$$\bar{W} = \frac{\sum_{k=1}^n W_k}{n}$$

$$W_k = \eta_k \cdot Q_k$$

$$\Delta_{\bar{W}} = \sqrt{\left(t_{\alpha, n} \cdot \sqrt{\frac{\sum_{k=1}^n (W - W_k)^2}{n \cdot (n - 1)}}\right)^2 + (\alpha \cdot \Delta_Q)^2}$$

$$\bar{T}_i = \frac{\sum_{k=1}^n \sum_{i=1}^l T_{i, k}}{n \cdot l}$$

$$\Delta_{\bar{T}_i} = \sqrt{\left(t_{\alpha, (n \cdot l)} \cdot \sqrt{\frac{\sum_{k=1}^n \sum_{i=1}^l (\bar{T}_i - T_{i,i,k})^2}{(n \cdot l) \cdot (n \cdot l - 1)}} \right)^2 + (\alpha \cdot \Delta_{T_i})^2}$$

$$\bar{T}_e = \frac{\sum_{k=1}^n \sum_{j=1}^m T_{e,j,k}}{n \cdot m}$$

$$\Delta_{\bar{T}_e} = \sqrt{\left(t_{\alpha, (n \cdot m)} \cdot \sqrt{\frac{\sum_{k=1}^n \sum_{j=1}^m (\bar{T}_e - T_{e,j,k})^2}{(n \cdot m) \cdot (n \cdot m - 1)}} \right)^2 + (\alpha \cdot \Delta_{T_e})^2}$$

$$\Delta_{\bar{S}} = \sqrt{\frac{(\bar{S}_i \cdot \Delta_{\bar{S}_e})^2 + (\bar{S}_e \cdot \Delta_{\bar{S}_i})^2}{4 \cdot \bar{S}_e \cdot \bar{S}_i}}$$

где:

Q_k, W_k – измеренное значение, соответственно, потребляемой из сети электрической мощности и тепловой мощности (или холодопроизводительности), измеренные при k -м замере (всего за расчетный период в конце периода устойчивого состояния произведено n замеров), Вт;

η_k – к.п.д. электронагревателей с учетом потерь в проводах (при использовании метода внутреннего нагревания) или теплообменников (при использовании метода внутреннего охлаждения) при m -м замере, доли единицы;

$T_{i,i,k}, T_{e,j,k}$ – значения температур, измеренных при k -м замере, соответственно, i -м прибором внутри кузова испытуемого СТС (всего в одном замере участвует одновременно l равноточных приборов для измерения температуры) и j -м прибором снаружи кузова испытуемого СТС (всего в одном замере участвует одновременно m равноточных приборов для измерения температуры), °С;

$\Delta_{T_i}, \Delta_{T_e}, \Delta_Q$ – инструментальные погрешности измерения температуры, соответственно, внутри и снаружи кузова испытуемого СТС, К, а также потребляемой из сети электрической мощности, Вт;

$t_{\alpha, n}, t_{\alpha, (n \cdot l)}, t_{\alpha, (n \cdot m)}$ – значения коэффициента Стьюдента для заданного уровня доверительной вероятности α ($\alpha \geq 0,95$) и соответствующего количества произведенных измерений физических величин;

\bar{S}_i, \bar{S}_e – рассчитанная средняя площадь, соответственно, внутренней и наружной поверхностей кузова испытуемого СТС (без учета гофр), м²;

$\Delta_{\bar{S}_i}, \Delta_{\bar{S}_e}$ – доверительные интервалы (случайные погрешности) площади поверхности кузова, соответственно, внутри и снаружи испытуемого СТС, м².

При методе внутреннего нагревания η_k может быть рассчитано из допущения, что электрическая мощность в электронагревателях превращается в тепловую практически без потерь. Тогда будут иметь место только потери мощности в проводах, которые рассчитываются по формуле:

$$\eta_k = 1 - \frac{2 \cdot Q_k \cdot L_{\text{line}} \cdot \rho}{U^2 \cdot S}$$

где:

Q_k – значение потребляемой из сети электрической мощности при n -м замере, Вт;

L_{line} – длина силового кабеля от прибора учета до места установки соответствующего преобразующего прибора, м;

ρ – удельное сопротивление проводника в силовом кабеле, Ом·мм²/м;

U – расчетное напряжение в сети, В;

S – площадь поперечного сечения проводника в силовом кабеле, мм².

При методе внутреннего охлаждения расчет η_k должен учитывать конкретный применяемый способ охлаждения и используемые для этого технические средства.

Инструментальные погрешности могут быть указаны производителем измерительного оборудования в абсолютных значениях, тогда они используются в расчетных формулах напрямую, или как класс точности. Во втором случае погрешность может нормироваться к результату измерения:

$$\Delta_x = \frac{\delta}{100} \cdot x$$

или указываться в приведенной форме:

$$\Delta_x = \frac{\delta}{100} \cdot X$$

где:

δ – указанное производителем измерительного прибора значение его класса точности, %;

x – значение измеряемой физической величины. Если значение физической величины определяется в серии измерений, по результатам которой оно усредняется, в качестве расчетного x целесообразно использовать максимальное в серии измерений значение;

X – максимально допустимое значение измеряемой физической величины x в данном диапазоне работы измерительного прибора.

2. При нормальных условиях испытания ~~показатель S может~~ показатели \bar{S}_i и \bar{S}_e могут быть изменены измерены с высокой точностью $\pm 1\%$. Однако в некоторых случаях провести измерение с такой точностью невозможно. В общем случае для определения погрешностей показателей \bar{S}_i и \bar{S}_e , на основании которых производится определение средней площади поверхности кузова, \bar{S} , может использоваться следующая методика.

Если представить \bar{S}_i и \bar{S}_e как функции ряда многократно измеряемых параметров, \bar{p}_i и \bar{p}_e , (например, длины, ширины и высоты, измеренных в различных местах кузова ТС):

$$\bar{S}_i = f_1(\bar{p}_{i1}, \bar{p}_{i2}, \dots, \bar{p}_{iy})$$

$$\bar{S}_e = f_2(\bar{p}_{e1}, \bar{p}_{e2}, \dots, \bar{p}_{eZ})$$

тогда:

$$\Delta_{\bar{S}_i} = \sqrt{\sum_{y=1}^Y \left(\Delta_{\bar{p}_{iy}} \cdot \frac{\partial f_1}{\partial \bar{p}_{iy}} \right)^2}$$

$$\Delta_{\bar{S}_e} = \sqrt{\sum_{z=1}^Z \left(\Delta_{\bar{p}_{e_z}} \cdot \frac{\partial f_2}{\partial \bar{p}_{e_z}} \right)^2}$$

где:

$\frac{\partial f_1}{\partial \bar{p}_{i_y}}, \frac{\partial f_2}{\partial \bar{p}_{e_z}}$ – соответствующие частные производные функций для вычисления \bar{S}_i и \bar{S}_e ;

$\Delta_{\bar{p}_{i_y}}, \Delta_{\bar{p}_{e_z}}$ – соответствующие доверительные интервалы для параметров \bar{p}_{i_y} и \bar{p}_{e_z} .

$$\bar{p}_{i_y} = \frac{\sum_{v=1}^V p_{i_y v}}{V}$$

$$\Delta_{\bar{p}_{i_y}} = \sqrt{\left(t_{\alpha, V} \cdot \sqrt{\frac{\sum_{v=1}^V (\bar{p}_{i_y} - p_{i_y v})^2}{V \cdot (V - 1)}} \right)^2 + (\alpha \cdot \Delta_{p_{i_y}})^2}$$

где:

V – количество измерений, осуществлённых для определения среднего значения параметра p_{i_y} ;

$p_{i_y v}$ – измеренное значение параметра p_{i_y} при v -м замере;

$t_{\alpha, V}$ – значение коэффициента Стьюдента для заданного уровня доверительной вероятности α ($\alpha \geq 0,95$) и соответствующего количества произведенных измерений параметра p_{i_y} , V ;

$\Delta_{p_{i_y}}$ – инструментальная погрешность измерения параметра p_{i_y} .

Аналогично \bar{p}_{i_y} и $\Delta_{\bar{p}_{i_y}}$ определяются \bar{p}_{e_z} и $\Delta_{\bar{p}_{e_z}}$.

Значения параметров \bar{p}_{i_y} и \bar{p}_{e_z} могут быть приняты как заданные (на основании технической документации на СТС). В этом случае:

$$\Delta_{\bar{p}_{i_y}} = \alpha \cdot d_{p_{i_y}}$$

$$\Delta_{\bar{p}_{e_z}} = \alpha \cdot d_{p_{e_z}}$$

где:

$d_{p_{i_y}}, d_{p_{e_z}}$ – половина единицы последнего разряда числа, которым задано значение этого параметра.

Погрешность при определении W не превышает $\pm 1\%$, хотя на некоторых испытательных станциях используется оборудование, дающее большую погрешность.

Температура измеряется с абсолютной точностью $\pm 0,1$ К. Поэтому при измерении разницы температур ($T_e - T_i$) порядка 20 К погрешность удваивается с $\pm 0,5\%$ до $\pm 1\%$.

С учетом этого общая допустимая погрешность составляет $\epsilon = \pm \sqrt{0,0003} = \pm 0,017$, т.е. $\pm 1,7\%$. Максимальная допустимая погрешность $\epsilon_m = \pm 3\%$.

3. На точность определения коэффициента K могут оказывать влияние следующие неучтенные погрешности:

а) "латентные" неточности, объясняющиеся допустимыми колебаниями внутренней и внешней температуры и термической инерцией стенок транспортного средства, температурой и временем;

б) погрешности, связанные с колебаниями скорости воздушного потока в пограничном слое, и его воздействие на тепловое сопротивление.

При равных показателях скорости внутреннего и внешнего воздушных потоков возможная погрешность будет составлять приблизительно 2,5 %, т. е. 1-2 м/с при среднем коэффициенте $K = 0,40 \text{ Вт/м}^2\text{К}$. При коэффициенте $K = 0,70 \text{ Вт/м}^2\text{К}$ такая погрешность будет равна приблизительно 5 %. При наличии существенных тепловых мостиков влияние скорости и направления воздушного потока будет значительнее.

~~4. И наконец, вследствие ошибки измерения площади поверхности кузова, которую на практике трудно определить в случае с нестандартным оборудованием (при этом измерении влияние оказывают факторы субъективного характера), можно определять погрешность измерения общей теплопередачи на один градус разницы температур:~~

$$\frac{W}{T_e - T_t} = K \cdot S$$

6. В образцах протоколов испытаний №№ 2 А и 2 В изложить строку, касающуюся погрешности определения коэффициента K , в следующей редакции:

«~~Максимальная~~ Относительная погрешность измерения определения при проведенном испытании ... % к полученному значению, надежность ... %»

Примеры расчетов

7. Пример расчета погрешности определения коэффициента K у изотермического железнодорожного вагона, испытанного лабораторией «Управления перевозками продовольственных и скоропортящихся грузов» ОАО «НИИАС» (Российская Федерация) в 2015 г., выполненного в среде Mathcad, приведен в приложении А к настоящему официальному документу.

Обоснование

8. Погрешность (ошибка) измерения – это отклонение результата измерения от истинного значения измеряемой физической величины. Точность измерения является величиной обратной величине погрешности измерения.

9. По форме представления различают:

абсолютную погрешность, определяемую как разность между истинным и измеренным значениями физической величины;

относительную погрешность – отношение абсолютной погрешности либо к истинному значению, либо к результату измерения;

приведенную погрешность – отношение абсолютной погрешности к некоему нормированному (например, максимально возможному) значению измеряемой физической величины.

Относительная и приведенная погрешности обычно выражаются в процентах.

10. Процентная форма представления погрешности определения коэффициента К в действующей редакции пункта 2.3.2 добавления 2 к приложению 1 к СПС позволяет предположить, что речь идет либо об одной из разновидностей относительной погрешности, либо о приведенной. При этом количественное выражение различных форм погрешностей будет также различным.

Из вышесказанного следует необходимость четко указать форму погрешности определения коэффициента К в пункте 2.3.2 добавления 2 к приложению 1 к СПС.

11. Дальнейший анализ показывает несостоятельность использования форм приведенной погрешности, а также относительной погрешности к истинному значению коэффициента К.

Действительно, на первый взгляд в качестве нормированного значения гипотетически может выступать максимальное значение коэффициента К, принятое для той или иной категории испытуемых ТС. Однако приведенная погрешность обычно указывается для некоторых *конструкций* измерительных приборов, то есть эта форма погрешности определена конструктивными особенностями измерительных приборов, а не характером измерений или измеряемой величины. Значение коэффициента К определяется не в ходе прямых (непосредственных) измерений, а вычисляется по известной функциональной зависимости. При этом все физические величины, входящие в эту функциональную зависимость, измеряются, как правило, приборами, точность которых указана в абсолютных или относительных (но не приведенных) значениях.

Относительная погрешность, вычисляемая как отношение абсолютной погрешности к истинному значению, подразумевает, что истинное значение коэффициента К может быть в принципе получено. Учитывая сложный характер определения коэффициента К (косвенным способом с использованием физических величин, измеряемых в ходе серий прямых многократных равноточных измерений), можно констатировать, что истинное значение коэффициента К в таких условиях получить практически не представляется возможным.

На основании вышесказанного было предложено конкретизировать в пункте 2.3.2 добавления 2 к приложению 1 к СПС определение коэффициента К со значениями *относительной погрешности к полученному результату* не более значений, указанных по тексту.

12. Значение коэффициента К не измеряется прямо (непосредственно), а рассчитывается на основе измерения других физических параметров (тепловой мощности или холодопроизводительности, W ; температуры снаружи, T_e , и внутри, T_i , кузова ТС; средней площади поверхности кузова, S), с которыми он связан следующей функциональной зависимостью:

при использовании метода внутреннего нагрева:

$$K = \frac{W}{S \cdot (T_i - T_e)}$$

при использовании метода внутреннего охлаждения:

$$K = \frac{W}{S \cdot (T_e - T_i)}$$

Поскольку значение коэффициента К определяется косвенным путем, его погрешность вычисляется как совокупность произведений частных производных

параметров соответствующей функциональной зависимости на погрешности измерения этих параметров:

$$\Delta_K = \sqrt{\left(\Delta_W \cdot \frac{\partial K}{\partial W}\right)^2 + \left(\Delta_S \cdot \frac{\partial K}{\partial S}\right)^2 + \left(\Delta_{T_i} \cdot \frac{\partial K}{\partial T_i}\right)^2 + \left(\Delta_{T_e} \cdot \frac{\partial K}{\partial T_e}\right)^2}$$

В измененной редакции комментария к пункту 2.3.2 добавления 2 к приложению 1 Справочника СПС приведена соответствующая редакция указанной выше формулы после ряда аналитических преобразований.

13. Количество факторов, влияющих на точность измерения физических параметров, входящих в функциональную зависимость определения коэффициента К, достаточно велико, и любая классификация погрешностей их измерения в известной мере условна.

В предложенной методике расчета погрешности определения коэффициента К отсутствует анализ и учет систематических погрешностей. Считается, что систематические погрешности или причины, их вызывающие, могут быть выявлены и устранены. Считается, что лица, проводящие измерения, достаточно компетентны для этого.

Аналогично дело обстоит с грубыми ошибками (промахами). Они могут быть относительно легко выявлены и исключены из расчетов при определении значения коэффициента К.

Фактически, предложенная методика расчета погрешности определения коэффициента К сводится к учету случайных погрешностей, изменяющих свою величину или знак от опыта к опыту, при измерениях, выполненных одинаковым образом и при одинаковых условиях.

В рамках проведения измерений физических параметров, используемых для определения коэффициента К, считаем, что случайная погрешность таких измерений является совокупностью случайной погрешности прямых однократных измерений, Δ_{SING} , и случайной погрешности прямых многократных равнооточных измерений, Δ_{REP} . Для определения суммарной ошибки результата используется закон сложения независимых величин ошибок:

$$\Delta = \sqrt{\Delta_{SING}^2 + \Delta_{REP}^2}$$

14. Предсказать величину случайной погрешности для одного измерения в принципе невозможно. Учитывая, что значения физических величин, используемых для определения коэффициента К, получаются на основании усреднения данных многократных (избыточных) равнооточных измерений, для определения погрешности получаемого результата (оценки величины совокупной случайной погрешности) целесообразно использовать известные математические методы теории вероятности и математической статистики. При достаточно большом числе измерений всегда можно указать пределы, внутри которых заключено истинное значение измеряемой величины.

Всякая случайная ошибка может быть оценена с определенной доверительной вероятностью (надежностью), уровень которой требуется установить. Требование определения коэффициента К с *максимальной* погрешностью в этом случае не имеет смысла, вместо него требуется установить определенный уровень *надежности*. Поскольку определение коэффициента К производится в целях технической оценки состояния изоляции у СТС, достаточным уровнем надежности выбрано значение 95 %.

15. Случайные погрешности многократных равноточных измерений носят непрерывный характер и обуславливаются большим числом случайных причин, действующих в каждом отдельном измерении различным, неизвестным образом. Случайные погрешности многократных равноточных измерений можно отнести, таким образом, к случайной величине. В соответствии с центральной предельной теоремой, случайная величина, формирующаяся как совокупность нескольких независимых случайных процессов, подчиняется закону нормального распределения. На основании вышесказанного принимаем, что случайные погрешности многократных равноточных измерений физических параметров, используемых для определения значения коэффициента K , подчиняются нормальному распределению.

16. Ввиду того, что истинные значения коэффициента K и физических параметров, на основании которых он определяется, неизвестны, оценка погрешности производится к средним значениям указанных параметров. В этом случае для нахождения границ доверительных интервалов найденных (средних) значений указанных параметров следует использовать не квантили нормального распределения, а соответствующие коэффициенты Стьюдента, принимаемые для определенного уровня доверительной вероятности (надежности) и числа произведенных измерений.

Издержки

17. Дополнительные издержки отсутствуют.

Практическая осуществимость

18. Предлагаемые дополнения и изменения СПС устраняют возможные разночтения относительно требований СПС к точности определения коэффициента K в процессе испытаний СТС. Четкие рекомендации относительно методов расчета погрешности определения коэффициента K , а также соответствующая методика расчета этих погрешностей, приведенная в Справочнике СПС, уменьшают возможность ошибочной классификации СТС по величине коэффициента K , а также способствуют повышению степени взаимного доверия Договаривающихся сторон СПС.

Возможность обеспечения применения

19. Не предвидится никаких проблем с применением предложенных уточнений относительно погрешности определения коэффициента K у СТС и методики расчета этой погрешности.

Приложение А

**Пример расчета погрешности определения общего
коэффициента теплопередачи кузова
термоизолированного железнодорожного вагона,
испытанного лабораторией «Управление перевозками
продовольственных и скоропортящихся грузов»
ОАО «НИИАС» в 2015 г. (распечатка документа Mathcad)**

1 Исходные данные

Потребляемая электронагревателями (без вентиляторов) мощность [QD], Вт,
температуры внутри [TiD] и снаружи [TeD] кузова, °C:

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-------------|------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-----------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 1852.7 | 33.8 | 33.7 | 33.6 | 33.2 | 34.0 | 34.1 | 32.8 | 33.0 | 33.2 | 33.2 | 32.4 | 33.6 | 7.1 | 7.2 | 7.0 | 6.9 | 7.2 | 7.2 | 6.7 | 6.8 | 7.5 | 7.5 | 6.8 | 7.7 |
| 1829.7 | 33.8 | 33.7 | 33.8 | 33.2 | 34.1 | 34.1 | 32.8 | 33.0 | 33.2 | 33.2 | 32.3 | 33.6 | 7.1 | 7.2 | 6.9 | 6.8 | 7.2 | 7.2 | 6.8 | 6.8 | 7.5 | 7.5 | 6.9 | 7.7 |
| 1850.6 | 33.8 | 33.7 | 33.6 | 33.1 | 34.1 | 34.1 | 32.8 | 33.1 | 33.2 | 33.3 | 32.3 | 33.7 | 7.1 | 7.2 | 7.0 | 6.8 | 7.3 | 7.2 | 6.7 | 6.8 | 7.5 | 7.5 | 6.9 | 7.8 |
| 1835.9 | 33.8 | 33.7 | 33.8 | 33.2 | 34.1 | 34.1 | 32.8 | 33.1 | 33.3 | 33.2 | 32.4 | 33.7 | 7.1 | 7.1 | 7.0 | 6.9 | 7.2 | 7.2 | 6.7 | 6.7 | 7.5 | 7.4 | 6.9 | 7.7 |
| 1856.9 | 33.9 | 33.7 | 33.8 | 33.2 | 34.1 | 34.1 | 32.8 | 33.1 | 33.3 | 33.3 | 32.4 | 33.6 | 7.0 | 7.1 | 6.9 | 6.9 | 7.2 | 7.1 | 6.7 | 6.7 | 7.4 | 7.4 | 6.8 | 7.7 |
| 1840.0 | 33.9 | 33.7 | 33.6 | 33.2 | 34.1 | 34.1 | 32.8 | 33.1 | 33.4 | 33.3 | 32.4 | 33.6 | 7.1 | 7.1 | 6.9 | 6.9 | 7.2 | 7.1 | 6.7 | 6.8 | 7.4 | 7.5 | 6.8 | 7.8 |
| 1854.8 | 33.9 | 33.7 | 33.6 | 33.2 | 34.1 | 34.2 | 32.9 | 33.1 | 33.4 | 33.3 | 32.4 | 33.7 | 7.0 | 7.1 | 6.9 | 6.8 | 7.2 | 7.1 | 6.7 | 6.8 | 7.4 | 7.5 | 6.8 | 7.7 |
| 1829.7 | 33.9 | 33.8 | 33.6 | 33.2 | 34.1 | 34.2 | 32.8 | 33.1 | 33.3 | 33.3 | 32.4 | 33.7 | 7.0 | 7.1 | 6.9 | 6.8 | 7.2 | 7.1 | 6.7 | 6.7 | 7.5 | 7.4 | 6.9 | 7.7 |
| 1838.0 | 33.9 | 33.8 | 33.8 | 33.3 | 34.1 | 34.2 | 32.9 | 33.2 | 33.3 | 33.3 | 32.4 | 33.7 | 7.0 | 7.1 | 6.9 | 6.8 | 7.2 | 7.1 | 6.7 | 6.7 | 7.4 | 7.4 | 6.8 | 7.7 |
| 1856.9 | 33.9 | 33.8 | 33.8 | 33.2 | 34.1 | 34.2 | 32.9 | 33.2 | 33.4 | 33.4 | 32.4 | 33.7 | 7.1 | 7.1 | 6.9 | 6.8 | 7.2 | 7.2 | 6.7 | 6.7 | 7.5 | 7.5 | 6.8 | 7.7 |
| 1833.8 | 33.9 | 33.8 | 33.8 | 33.2 | 34.1 | 34.2 | 32.9 | 33.1 | 33.3 | 33.3 | 32.4 | 33.8 | 7.0 | 7.1 | 6.9 | 6.8 | 7.2 | 7.1 | 6.7 | 6.7 | 7.4 | 7.5 | 6.8 | 7.7 |
| 1850.6 | 33.9 | 33.8 | 33.8 | 33.3 | 34.1 | 34.2 | 32.9 | 33.1 | 33.4 | 33.3 | 32.4 | 33.8 | 7.1 | 7.1 | 6.7 | 6.6 | 7.2 | 7.1 | 6.7 | 6.8 | 7.4 | 7.5 | 6.6 | 7.8 |
| 1821.3 | 33.9 | 33.8 | 33.8 | 33.2 | 34.1 | 34.2 | 32.8 | 33.2 | 33.4 | 33.4 | 32.4 | 33.8 | 7.0 | 7.1 | 6.9 | 6.8 | 7.2 | 7.1 | 6.7 | 6.7 | 7.4 | 7.4 | 6.7 | 7.7 |
| 1836.0 | 33.9 | 33.8 | 33.9 | 33.3 | 34.1 | 34.2 | 32.8 | 33.1 | 33.3 | 33.4 | 32.4 | 33.7 | 7.0 | 7.1 | 6.7 | 6.6 | 7.2 | 7.0 | 6.5 | 6.6 | 7.3 | 7.4 | 6.6 | 7.7 |
| 1817.2 | 33.9 | 33.8 | 33.8 | 33.2 | 34.1 | 34.2 | 32.9 | 33.2 | 33.4 | 33.3 | 32.4 | 33.7 | 7.0 | 7.1 | 6.7 | 6.6 | 7.1 | 7.0 | 6.6 | 6.6 | 7.3 | 7.4 | 6.7 | 7.7 |
| 1842.2 | 33.9 | 33.8 | 33.9 | 33.3 | 34.1 | 34.2 | 33.0 | 33.2 | 33.4 | 33.4 | 32.3 | 33.8 | 6.9 | 7.0 | 6.7 | 6.6 | 7.1 | 7.0 | 6.6 | 6.7 | 7.4 | 7.4 | 6.7 | 7.7 |
| 1823.4 | 33.9 | 33.8 | 33.9 | 33.3 | 34.2 | 34.2 | 32.9 | 33.1 | 33.3 | 33.4 | 32.4 | 33.7 | 6.9 | 7.0 | 6.5 | 6.6 | 7.1 | 6.9 | 6.6 | 6.6 | 7.3 | 7.3 | 6.6 | 7.6 |
| 1817.2 | 34.0 | 33.8 | 33.9 | 33.2 | 34.1 | 34.2 | 32.9 | 33.2 | 33.4 | 33.3 | 32.4 | 33.8 | 6.9 | 7.0 | 6.6 | 6.6 | 7.0 | 6.9 | 6.5 | 6.5 | 7.2 | 7.3 | 6.6 | 7.6 |
| 1842.2 | 33.9 | 33.8 | 33.8 | 33.3 | 34.1 | 34.3 | 32.9 | 33.1 | 33.4 | 33.4 | 32.4 | 33.7 | 6.8 | 6.9 | 6.6 | 6.6 | 6.9 | 6.8 | 6.4 | 6.5 | 7.2 | 7.2 | 6.6 | 7.6 |
| 1810.9 | 33.9 | 33.8 | 33.9 | 33.3 | 34.1 | 34.3 | 33.0 | 33.2 | 33.4 | 33.4 | 32.6 | 33.7 | 6.8 | 6.9 | 6.5 | 6.6 | 6.9 | 6.8 | 6.4 | 6.5 | 7.2 | 7.3 | 6.5 | 7.5 |
| 1831.8 | 33.9 | 33.8 | 33.8 | 33.3 | 34.1 | 34.2 | 32.8 | 33.2 | 33.4 | 33.4 | 32.6 | 33.7 | 6.7 | 6.9 | 6.5 | 6.5 | 6.9 | 6.8 | 6.5 | 6.5 | 7.1 | 7.2 | 6.6 | 7.5 |
| 1798.4 | 33.9 | 33.8 | 33.8 | 33.3 | 34.1 | 34.2 | 32.8 | 33.2 | 33.4 | 33.3 | 32.6 | 33.7 | 6.7 | 6.8 | 6.4 | 6.5 | 6.8 | 6.8 | 6.5 | 6.5 | 7.1 | 7.2 | 6.4 | 7.5 |
| 1821.3 | 33.9 | 33.8 | 33.9 | 33.3 | 34.1 | 34.2 | 32.9 | 33.2 | 33.3 | 33.3 | 32.6 | 33.7 | 6.7 | 6.8 | 6.3 | 6.4 | 6.9 | 6.7 | 6.4 | 6.5 | 7.1 | 7.2 | 6.4 | 7.5 |
| 1802.5 | 33.9 | 33.8 | 33.9 | 33.3 | 34.1 | 34.2 | 33.0 | 33.2 | 33.3 | 33.4 | 32.6 | 33.7 | 6.7 | 6.8 | 6.3 | 6.4 | 6.8 | 6.7 | 6.4 | 6.4 | 7.1 | 7.2 | 6.4 | 7.4 |
| QD:= 1821.3 | TiD:= 33.9 | 33.8 | 33.8 | 33.2 | 34.1 | 34.2 | 32.9 | 33.2 | 33.3 | 33.4 | 32.6 | 33.7 | TeD:= 6.7 | 6.8 | 6.4 | 6.4 | 6.8 | 6.8 | 6.3 | 6.4 | 7.1 | 7.1 | 6.5 | 7.4 |
| 1794.2 | 33.9 | 33.8 | 33.9 | 33.3 | 34.1 | 34.2 | 32.9 | 33.2 | 33.3 | 33.3 | 32.6 | 33.7 | 6.7 | 6.8 | 6.3 | 6.4 | 6.8 | 6.7 | 6.4 | 6.4 | 7.0 | 7.1 | 6.4 | 7.4 |
| 1810.9 | 33.9 | 33.8 | 33.8 | 33.3 | 34.1 | 34.2 | 32.9 | 33.2 | 33.3 | 33.3 | 32.6 | 33.7 | 6.7 | 6.8 | 6.4 | 6.5 | 6.8 | 6.7 | 6.4 | 6.4 | 7.1 | 7.2 | 6.5 | 7.4 |
| 1785.8 | 33.9 | 33.8 | 33.8 | 33.3 | 34.1 | 34.2 | 32.8 | 33.1 | 33.3 | 33.3 | 32.6 | 33.8 | 6.7 | 6.8 | 6.3 | 6.4 | 6.8 | 6.7 | 6.4 | 6.4 | 7.1 | 7.1 | 6.4 | 7.5 |
| 1779.7 | 33.9 | 33.8 | 33.8 | 33.2 | 34.1 | 34.2 | 32.8 | 33.2 | 33.3 | 33.3 | 32.4 | 33.6 | 6.7 | 6.8 | 6.3 | 6.4 | 6.8 | 6.7 | 6.3 | 6.4 | 7.1 | 7.1 | 6.3 | 7.3 |
| 1798.3 | 33.9 | 33.8 | 33.8 | 33.2 | 34.1 | 34.1 | 32.7 | 33.2 | 33.3 | 33.3 | 32.6 | 33.7 | 6.6 | 6.7 | 6.3 | 6.4 | 6.7 | 6.7 | 6.4 | 6.4 | 7.0 | 7.1 | 6.4 | 7.4 |
| 1771.3 | 33.9 | 33.8 | 33.8 | 33.2 | 34.1 | 34.1 | 32.8 | 33.2 | 33.4 | 33.2 | 32.6 | 33.7 | 6.7 | 6.8 | 6.2 | 6.3 | 6.8 | 6.7 | 6.3 | 6.3 | 6.9 | 7.0 | 6.3 | 7.4 |
| 1802.4 | 33.8 | 33.8 | 33.9 | 33.2 | 34.1 | 34.1 | 32.9 | 33.2 | 33.3 | 33.2 | 32.6 | 33.7 | 6.6 | 6.7 | 6.2 | 6.3 | 6.7 | 6.6 | 6.3 | 6.4 | 7.0 | 7.1 | 6.3 | 7.3 |
| 1783.7 | 33.9 | 33.7 | 33.9 | 33.3 | 34.1 | 34.1 | 32.8 | 33.2 | 33.3 | 33.3 | 32.4 | 33.6 | 6.6 | 6.7 | 6.3 | 6.4 | 6.7 | 6.6 | 6.2 | 6.3 | 7.0 | 7.0 | 6.4 | 7.4 |
| 1813.0 | 33.9 | 33.7 | 33.6 | 33.2 | 34.1 | 34.2 | 32.8 | 33.1 | 33.3 | 33.3 | 32.4 | 33.7 | 6.8 | 6.8 | 6.3 | 6.4 | 6.9 | 6.8 | 6.4 | 6.4 | 7.1 | 7.1 | 6.4 | 7.4 |
| 1777.5 | 33.9 | 33.7 | 33.8 | 33.3 | 34.1 | 34.2 | 32.8 | 33.1 | 33.3 | 33.3 | 32.4 | 33.7 | 6.7 | 6.8 | 6.3 | 6.4 | 6.7 | 6.7 | 6.4 | 6.4 | 7.0 | 7.1 | 6.4 | 7.3 |
| 1785.8 | 33.9 | 33.8 | 33.6 | 33.2 | 34.1 | 34.1 | 32.8 | 33.2 | 33.3 | 33.3 | 32.3 | 33.7 | 6.8 | 6.8 | 6.3 | 6.3 | 6.8 | 6.8 | 6.4 | 6.4 | 7.0 | 7.1 | 6.4 | 7.4 |
| 1806.7 | 33.9 | 33.8 | 33.8 | 33.2 | 34.1 | 34.1 | 32.9 | 33.2 | 33.3 | 33.2 | 32.4 | 33.6 | 6.7 | 6.8 | 6.2 | 6.4 | 6.8 | 6.7 | 6.4 | 6.5 | 7.1 | 7.1 | 6.3 | 7.4 |
| 1777.5 | 33.9 | 33.7 | 33.6 | 33.2 | 34.1 | 34.1 | 32.8 | 33.2 | 33.3 | 33.3 | 32.4 | 33.7 | 6.8 | 6.8 | 6.3 | 6.4 | 6.9 | 6.7 | 6.4 | 6.4 | 7.1 | 7.1 | 6.4 | 7.5 |
| 1798.4 | 33.9 | 33.8 | 33.9 | 33.2 | 34.1 | 34.1 | 32.9 | 33.2 | 33.2 | 33.2 | 32.6 | 33.6 | 6.8 | 6.8 | 6.4 | 6.5 | 6.9 | 6.8 | 6.4 | 6.5 | 7.2 | 7.2 | 6.5 | 7.5 |
| 1771.2 | 33.9 | 33.7 | 33.6 | 33.2 | 34.1 | 34.1 | 32.8 | 33.1 | 33.2 | 33.2 | 32.4 | 33.6 | 6.9 | 6.9 | 6.3 | 6.4 | 6.9 | 6.9 | 6.4 | 6.5 | 7.2 | 7.2 | 6.4 | 7.5 |
| 1794.2 | 33.8 | 33.7 | 33.8 | 33.2 | 34.1 | 34.1 | 32.8 | 33.1 | 33.2 | 33.3 | 32.3 | 33.6 | 6.9 | 6.9 | 6.4 | 6.5 | 7.0 | 6.9 | 6.5 | 6.5 | 7.3 | 7.2 | 6.4 | 7.5 |
| 1781.6 | 33.8 | 33.7 | 33.6 | 33.2 | 34.1 | 34.2 | 32.8 | 33.1 | 33.2 | 33.2 | 32.4 | 33.7 | 6.9 | 7.0 | 6.5 | 6.5 | 7.0 | 6.9 | 6.5 | 6.5 | 7.2 | 7.2 | 6.5 | 7.6 |
| 1792.1 | 33.9 | 33.7 | 33.6 | 33.2 | 34.1 | 34.1 | 32.8 | 33.1 | 33.3 | 33.2 | 32.3 | 33.7 | 6.9 | 7.0 | 6.4 | 6.5 | 7.1 | 7.0 | 6.5 | 6.6 | 7.2 | 7.3 | 6.5 | 7.6 |
| 1813.0 | 33.9 | 33.7 | 33.8 | 33.2 | 34.1 | 34.1 | 32.8 | 33.1 | 33.3 | 33.3 | 32.4 | 33.6 | 6.9 | 7.0 | 6.4 | 6.5 | 7.0 | 7.0 | 6.5 | 6.5 | 7.3 | 7.3 | 6.5 | 7.6 |
| 1790.1 | 33.9 | 33.8 | 33.6 | 33.2 | 34.1 | 34.1 | 32.9 | 33.1 | 33.3 | 33.3 | 32.4 | 33.6 | 7.0 | 7.0 | 6.5 | 6.5 | 7.1 | 7.0 | 6.5 | 6.6 | 7.2 | 7.3 | 6.5 | 7.6 |
| 1810.9 | 33.9 | 33.7 | 33.8 | 33.3 | 34.1 | 34.1 | 32.8 | 33.2 | 33.3 | 33.2 | 32.4 | 33.7 | 7.0 | 7.0 | 6.4 | 6.5 | 7.1 | 7.0 | 6.5 | 6.5 | 7.2 | 7.3 | 6.5 | 7.7 |
| 1779.6 | 33.9 | 33.7 | 33.6 | 33.2 | 34.1 | 34.1 | 32.8 | 33.1 | 33.3 | 33.3 | 32.4 | 33.6 | 6.9 | 7.0 | 6.4 | 6.4 | 7.0 | 6.9 | 6.5 | 6.5 | 7.2 | 7.2 | 6.5 | 7.6 |
| 1796.2 | 33.9 | 33.7 | 33.8 | 33.2 | 34.1 | 34.1 | 32.8 | 33.1 | 33.3 | 33.3 | 32.4 | 33.6 | 7.0 | 7.0 | 6.4 | 6.5 | 7.0 | 7.0 | 6.5 | 6.5 | 7.2 | 7.3 | 6.5 | 7.6 |
| 1763.0 | 33.9 | 33.7 | 33.6 | 33.2 | 34.1 | 34.1 | 32.8 | 33.1 | 33.2 | 33.3 | 32.4 | 33.6 | 7.0 | 7.0 | 6.4 | 6.5 | 7.1 | 7.0 | 6.5 | 6.5 | 7.3 | 7.3 | 6.5 | 7.7 |

Доверительная вероятность (надежность) определения коэффициента К, доли единицы: $\overline{\alpha} := 0.95$

Класс точности прибора для измерения потребляемой электрической мощности, % к результату измерения: $\overline{\delta_Q} := 1$

Инструментальная погрешность измерения потребляемой электрической мощности,

$$\text{Вт: } \Delta_Q := \frac{\delta_Q}{100} \cdot \max(QD) = 18.6$$

Инструментальная погрешность измерения температуры внутри кузова вагона, К:

$$\overline{\Delta_{Ti}} := 0.5$$

Инструментальная погрешность измерения температуры снаружи кузова вагона, К:

$$\overline{\Delta_{Te}} := 0.5$$

Наружные размеры кузова вагона:

Примечание - Наружные размеры кузова вагона приняты по технической документации. Их погрешность принята равной половине единицы последнего разряда числа, которым задано значение этого параметра

длина, среднее значение длины и принятая погрешность, м:

$$\overline{\text{LeD}} := 15.750 \quad m\text{Le} := \text{mean}(\text{LeD}) = 15.750 \quad \Delta_{\text{Le}} := \frac{10^{-3}}{2} = 0.0005$$

ширина, среднее значение ширины и принятая погрешность, м:

$$\overline{\text{BeD}} := 2.790 \quad m\text{Be} := \text{mean}(\text{BeD}) = 2.790 \quad \Delta_{\text{Be}} := \frac{10^{-3}}{2} = 0.0005$$

высота по боковой стенке, ее среднее значение и принятая погрешность, м:

$$\overline{\text{HeD}} := 2.915 \quad m\text{He} := \text{mean}(\text{HeD}) = 2.915 \quad \Delta_{\text{He}} := \frac{10^{-3}}{2} = 0.0005$$

высота по центральной продольной оси, ее среднее значение и принятая погрешность, м:

$$\overline{\text{HHeD}} := 3.323 \quad m\text{HHe} := \text{mean}(\text{HHeD}) = 3.323 \quad \Delta_{\text{HHe}} := \frac{10^{-3}}{2} = 0.0005$$

Внутренние размеры кузова вагона (грузового помещения):

Примечание - Внутренние размеры кузова вагона приняты по результатам обмера (прямые многократные равноточные измерения) в различных местах кузова. Инструментальная погрешность измерения принята равной 0.005 м (половина цены деления применяемой измерительной рулетки), кроме инструментальной погрешности измерения длины кузова вагона, поскольку ее измерение производилось в два шага путем последующего сложения полученных значений

$$\text{инструментальная погрешность измерительной рулетки, м: } \Delta_{\text{tape}} := \frac{10^{-2}}{2} = 0.005$$

длина, среднее значение длины и инструментальная погрешность, м:

$$\overline{\text{LiD}} := (15.395 \quad 15.405 \quad 15.400 \quad 15.400) \quad m\text{Li} := \text{mean}(\text{LiD}) = 15.400 \quad \Delta_{\text{Li}} := 2 \cdot \Delta_{\text{tape}} = 0.010$$

ширина, среднее значение ширины и инструментальная погрешность, м:

$$\overline{\text{BiD}} := (2.455 \quad 2.450 \quad 2.455 \quad 2.455) \quad m\text{Bi} := \text{mean}(\text{BiD}) = 2.454 \quad \Delta_{\text{Bi}} := \Delta_{\text{tape}} = 0.005$$

высота по боковой стенке, ее среднее значение и инструментальная погрешность, м:

$$\overline{HiD} := (2.640 \ 2.630 \ 2.640 \ 2.630) \quad mHi := \text{mean}(HiD) = 2.635 \quad \Delta_{Hi} := \Delta_{\text{tape}} = 0.005$$

высота по центральной продольной оси, ее среднее значение и инструментальная погрешность, м:

$$\overline{HHiD} := (2.905 \ 2.900) \quad mHHi := \text{mean}(HHiD) = 2.902 \quad \Delta_{HHi} := \Delta_{\text{tape}} = 0.005$$

Расчет тепловой мощности:

длина силового кабеля от прибора учета до места установки соответствующего преобразующего прибора, м: $\overline{L_line} := 60$

удельное сопротивление проводника в силовом кабеле, Ом·мм²/м: $\overline{\rho} := 0.0175$

расчетное напряжение в сети, В: $\overline{U} := 220$

площадь поперечного сечения проводника в силовом кабеле, мм²: $\overline{s} := 2.5$

расчет значений тепловой мощности, Вт: $WD := \left[QD \cdot \left(1 - \frac{2 \cdot QD \cdot L_line \cdot \rho}{U^2 \cdot s} \right) \right] =$

| |
|--------|
| 1793.1 |
| 1771.6 |
| 1791.2 |
| 1777.4 |
| 1797.1 |
| 1781.2 |
| 1795.1 |
| 1771.6 |
| 1779.4 |
| 1797.1 |
| 1775.4 |
| 1791.2 |
| ... |

2 Определение средней площади поверхности кузова вагона и ее доверительного интервала (случайной погрешности)

Доверительный интервал измерения внутренней длины кузова вагона:

доверительный интервал прямых многократных равноточных измерений внутренней

длины кузова, м: $\Delta_{mLi_rep} := qt \left[\frac{\alpha + 1}{2}, (\text{cols}(LiD) - 1) \right] \cdot \sqrt{\frac{\sum (mLi - LiD)^2}{\text{cols}(LiD) \cdot (\text{cols}(LiD) - 1)}} = 0.006$

доверительный интервал прямых однократных измерений внутренней длины кузова, м: $\Delta_{mLi_sing} := \alpha \cdot \Delta_{Li} = 0.010$

совокупный доверительный интервал измерения внутренней длины кузова, м:

$$\Delta_{mLi} := \sqrt{\Delta_{mLi_rep}^2 + \Delta_{mLi_sing}^2} = 0.012$$

То же, ширины, высоты по боковой стенке и высоты по центральной продольной оси кузова вагона, м:

$$\Delta_{mBi_rep} := qt \left[\frac{\alpha + 1}{2}, (\text{cols}(BiD) - 1) \right] \cdot \sqrt{\frac{\sum (mBi - BiD)^2}{\text{cols}(BiD) \cdot (\text{cols}(BiD) - 1)}} = 0.004$$

$$\Delta_{mBi_sing} := \alpha \cdot \Delta_{Bi} = 0.005 \quad \Delta_{mBi} := \sqrt{\Delta_{mBi_rep}^2 + \Delta_{mBi_sing}^2} = 0.006$$

$$\Delta_{mHi_rep} := qt\left[\frac{\alpha + 1}{2}, (\text{cols}(\text{HiD}) - 1)\right] \cdot \sqrt{\frac{\sum (mHi - \text{HiD})^2}{\text{cols}(\text{HiD}) \cdot (\text{cols}(\text{HiD}) - 1)}} = 0.009$$

$$\Delta_{mHi_sing} := \alpha \cdot \Delta_{Hi} = 0.005 \quad \Delta_{mHi} := \sqrt{\Delta_{mHi_rep}^2 + \Delta_{mHi_sing}^2} = 0.010$$

$$\Delta_{mHHi_rep} := qt\left[\frac{\alpha + 1}{2}, (\text{cols}(\text{HHiD}) - 1)\right] \cdot \sqrt{\frac{\sum (mHHi - \text{HHiD})^2}{\text{cols}(\text{HHiD}) \cdot (\text{cols}(\text{HHiD}) - 1)}} = 0.032$$

$$\Delta_{mHHi_sing} := \alpha \cdot \Delta_{HHi} = 0.005 \quad \Delta_{mHHi} := \sqrt{\Delta_{mHHi_rep}^2 + \Delta_{mHHi_sing}^2} = 0.032$$

Доверительные интервалы для наружной длины, ширины, высоты по боковой стенке и высоты по центральной продольной оси кузова вагона:

$$\Delta_{mLe} := \alpha \cdot \Delta_{Le} = 0.0005 \quad \Delta_{mBe} := \alpha \cdot \Delta_{Be} = 0.0005 \quad \Delta_{mHe} := \alpha \cdot \Delta_{He} = 0.0005 \quad \Delta_{mHHe} := \alpha \cdot \Delta_{HHe} = 0.0005$$

Определение удвоенной средней длины скругления крыши вагона и ее доверительного интервала (случайной погрешности):

Примечание - Ниже приведена приближенная формула для вычисления удвоенной длины скругления крыши вагона из предположения его полуэллиптической формы. Максимальная погрешность этой формулы ~0.3619 % при эксцентриситете эллипса ~0.979811 (соотношение осей ~1/5). Данная методическая погрешность всегда положительная

$$x := \frac{\ln(2)}{\ln\left(\frac{\pi}{2}\right)}$$

Эмпирический параметр:

Функция для вычисления удвоенной длины скругления крыши вагона:

$$f(B, H, HH) := 4 \left[\left(\frac{B}{2} \right)^x + (HH - H)^x \right]^{\frac{1}{x}}$$

Средние значения удвоенной длины скругления крыши вагона снаружи, P_e , и внутри, P_i , м:

$$mPe := f(mBe, mHe, mHHe) = 6.117$$

$$mPi := f(mBi, mHi, mHHi) = 5.211$$

Доверительные интервалы определения удвоенной длины скругления крыши вагона снаружи, Δ_{mPe} , и внутри, Δ_{mPi} , м:

$$\Delta_{mPe} := \sqrt{\left(\Delta_{mBe} \frac{d}{dmBe} f(mBe, mHe, mHHe) \right)^2 + \left(\Delta_{mHe} \frac{d}{dmHe} f(mBe, mHe, mHHe) \right)^2 + \left(\Delta_{mHHe} \frac{d}{dmHHe} f(mBe, mHe, mHHe) \right)^2} \dots + \frac{0.3619}{100} \cdot mPe = 0.024$$

$$\Delta_{mPi} := \sqrt{\left(\Delta_{mBi} \frac{d}{dmBi} fP(mBi, mHi, mHHi)\right)^2 + \left(\Delta_{mHi} \frac{d}{dmHi} fP(mBi, mHi, mHHi)\right)^2 \dots + \frac{0.3619}{100} \cdot mPi = 0.078} \\ + \left(\Delta_{mHHi} \frac{d}{dmHHi} fP(mBi, mHi, mHHi)\right)^2$$

Определение средней площади поверхности кузова вагона и его доверительного интервала (случайной погрешности):

Функция для вычисления площади кузова вагона:

$$fS'(L, B, H, HH, P) := L \cdot B + 2 \cdot (L + B) \cdot H + L \cdot \frac{P}{2} + \pi \cdot \frac{B}{2} \cdot (HH - H)$$

Функция для вычисления средней площади кузова вагона:

$$fS(L_e, B_e, H_e, HH_e, P_e, L_i, B_i, H_i, HH_i, P_i) := \sqrt{fS'(L_e, B_e, H_e, HH_e, P_e) \cdot fS'(L_i, B_i, H_i, HH_i, P_i)}$$

Значение средней площади кузова вагона, м²:

$$mS := fS(mL_e, mB_e, mH_e, mHH_e, mP_e, mL_i, mB_i, mH_i, mHH_i, mP_i) = 186.953$$

Доверительный интервал (случайная погрешность) определения средней площади поверхности кузова вагона, м²:

$$\Delta_{mS} := \sqrt{\left(\Delta_{mL_e} \frac{d}{dmL_e} fS(mL_e, mB_e, mH_e, mHH_e, mP_e, mL_i, mB_i, mH_i, mHH_i, mP_i)\right)^2 \dots = 0.397} \\ + \left(\Delta_{mB_e} \frac{d}{dmB_e} fS(mL_e, mB_e, mH_e, mHH_e, mP_e, mL_i, mB_i, mH_i, mHH_i, mP_i)\right)^2 \dots \\ + \left(\Delta_{mH_e} \frac{d}{dmH_e} fS(mL_e, mB_e, mH_e, mHH_e, mP_e, mL_i, mB_i, mH_i, mHH_i, mP_i)\right)^2 \dots \\ + \left(\Delta_{mHH_e} \frac{d}{dmHH_e} fS(mL_e, mB_e, mH_e, mHH_e, mP_e, mL_i, mB_i, mH_i, mHH_i, mP_i)\right)^2 \dots \\ + \left(\Delta_{mL_i} \frac{d}{dmL_i} fS(mL_e, mB_e, mH_e, mHH_e, mP_e, mL_i, mB_i, mH_i, mHH_i, mP_i)\right)^2 \dots \\ + \left(\Delta_{mB_i} \frac{d}{dmB_i} fS(mL_e, mB_e, mH_e, mHH_e, mP_e, mL_i, mB_i, mH_i, mHH_i, mP_i)\right)^2 \dots \\ + \left(\Delta_{mH_i} \frac{d}{dmH_i} fS(mL_e, mB_e, mH_e, mHH_e, mP_e, mL_i, mB_i, mH_i, mHH_i, mP_i)\right)^2 \dots \\ + \left(\Delta_{mHH_i} \frac{d}{dmHH_i} fS(mL_e, mB_e, mH_e, mHH_e, mP_e, mL_i, mB_i, mH_i, mHH_i, mP_i)\right)^2 \dots \\ + \left(\Delta_{mP_e} \frac{d}{dmP_e} fS(mL_e, mB_e, mH_e, mHH_e, mP_e, mL_i, mB_i, mH_i, mHH_i, mP_i)\right)^2 \dots \\ + \left(\Delta_{mP_i} \frac{d}{dmP_i} fS(mL_e, mB_e, mH_e, mHH_e, mP_e, mL_i, mB_i, mH_i, mHH_i, mP_i)\right)^2 \dots$$

3 Определение средней тепловой мощности и ее доверительного интервала

Среднее значение тепловой мощности, Вт: $mW := \text{mean}(WD) = 1755.1$

Доверительный интервал (случайная погрешность) определения средней тепловой мощности:

доверительный интервал прямых многократных равноточных измерений средней тепловой мощности, Вт:

$$\Delta_{mW_rep} := qt\left[\frac{\alpha + 1}{2}, (\text{rows}(WD) - 1)\right] \cdot \sqrt{\frac{\sum (mW - WD)^2}{\text{rows}(WD) \cdot (\text{rows}(WD) - 1)}} = 7.0$$

доверительный интервал прямых однократных измерений тепловой мощности, Вт:

$$\Delta_{mW_sing} := \alpha \cdot \Delta_Q = 17.6$$

совокупный доверительный интервал серии измерений тепловой мощности, Вт:

$$\Delta_{mW} := \sqrt{\Delta_{mW_rep}^2 + \Delta_{mW_sing}^2} = 19.0$$

4 Определение средней температуры внутри кузова вагона и ее доверительного интервала

Среднее значение температуры внутри кузова вагона, °C: $mTi := \text{mean}(TiD) = 33.5$

Доверительный интервал (случайная погрешность) измерения температуры внутри кузова вагона:

доверительный интервал прямых многократных равноточных измерений температуры внутри кузова вагона, К:

$$\Delta_{mTi_rep} := qt\left[\frac{\alpha + 1}{2}, (\text{rows}(TiD) \cdot \text{cols}(TiD) - 1)\right] \cdot \sqrt{\frac{\sum_{i=0}^{\text{cols}(TiD)-1} \left[\sum_{j=0}^{\text{rows}(TiD)-1} (mTi - TiD)^2 \right]^{(i)}}{(\text{rows}(TiD) \cdot \text{cols}(TiD)) \cdot (\text{rows}(TiD) \cdot \text{cols}(TiD) - 1)}} = 0.04$$

доверительный интервал прямых однократных измерений температуры внутри кузова вагона, К:

$$\Delta_{mTi_sing} := \alpha \cdot \Delta_{Ti} = 0.5$$

совокупный доверительный интервал серии измерений температуры внутри кузова вагона, К:

$$\Delta_{mTi} := \sqrt{\Delta_{mTi_rep}^2 + \Delta_{mTi_sing}^2} = 0.5$$

5 Определение средней температуры снаружи кузова вагона и ее доверительного интервала

Среднее значение температуры снаружи кузова вагона, °C: $mTe := \text{mean}(TeD) = 6.9$

Доверительный интервал (случайная погрешность) измерения температуры снаружи кузова вагона:

доверительный интервал прямых многократных равноточных измерений температуры снаружи кузова вагона, К:

$$\Delta_{mTe_rep} := qt\left[\frac{\alpha + 1}{2}, (\text{rows}(TeD) \cdot \text{cols}(TeD) - 1)\right] \cdot \sqrt{\frac{\sum_{j=0}^{\text{cols}(TeD)-1} \left[\sum_{i=0}^{\text{rows}(TeD)-1} (mTe - TeD)^2 \right]^{(j)}}{(\text{rows}(TeD) \cdot \text{cols}(TeD)) \cdot (\text{rows}(TeD) \cdot \text{cols}(TeD) - 1)}} = 0.03$$

доверительный интервал прямых однократных измерений температуры снаружи кузова вагона, К: $\Delta_{mTe_sing} := \alpha \cdot \Delta_{Te} = 0.5$

совокупный доверительный интервал серии измерений температуры снаружи кузова вагона, К: $\Delta_{mTe} := \sqrt{\Delta_{mTe_rep}^2 + \Delta_{mTe_sing}^2} = 0.5$

6 Определение среднего значения коэффициента К и его доверительного интервала

Функция для вычисления значения коэффициента К: $fK(W, Ti, Te, S) := \frac{W}{S \cdot (Ti - Te)}$

Среднее значение коэффициента К, Вт/(м²К): $mK := fK(mW, mTi, mTe, mS) = 0.35$

Доверительный интервал (случайная погрешность) определения коэффициента К, Вт/(м²К):

$$\Delta_{mK} := \sqrt{\left(\Delta_{mW} \frac{d}{dmW} fK(mW, mTi, mTe, mS)\right)^2 + \left(\Delta_{mTi} \frac{d}{dmTi} fK(mW, mTi, mTe, mS)\right)^2 + \left(\Delta_{mTe} \frac{d}{dmTe} fK(mW, mTi, mTe, mS)\right)^2 + \left(\Delta_{mS} \frac{d}{dmS} fK(mW, mTi, mTe, mS)\right)^2} \dots = 0.01$$

Значение относительной погрешности определения коэффициента К, %:

$$\varepsilon_K := \frac{\Delta_{mK}}{mK} \cdot 100 = 2.8$$