



Европейская экономическая комиссия

Комитет по внутреннему транспорту

**Рабочая группа по перевозкам скоропортящихся
пищевых продуктов**

Семьдесят вторая сессия

Женева, 4–7 октября 2016 года

Пункт 6 предварительной повестки дня

Справочник СПС

Внесение в Справочник СПС определения площади внутренней и наружной теплопередающих поверхностей кузова железнодорожных вагонов, не являющихся цистернами

Представлено Российской Федерацией

РЕЗЮМЕ

Сущность предложения: В соответствии с пунктом 1.2 добавления 2 к приложению 1 к СПС определение площадей внутренней и наружной поверхностей кузова специальных транспортных средств (далее – СТС) осуществляется с учетом особенностей его конструкции.

Однако данное положение СПС никак не конкретизировано в части методов определения этих площадей с учетом известных особенностей кузова железнодорожных вагонов, не являющихся цистернами, (далее – вагоны) используемых для перевозок скоропортящихся пищевых продуктов, что может приводить к использованию экспертами и испытательными станциями СПС методов неприемлемых другими участниками СПС.

Предлагаемое решение: Используя принятое на 71-й сессии Рабочей группы (WP.11) предложение Соединенного Королевства, касающееся методов измерения площадей поверхностей кузова в автомобильных фургонах без окон в грузовом отделении, внести в СПС положения по расчету средней поверхности кузова вагона, сопроводив их необходимыми иллюстрациями, которые привести в Справочнике СПС.

Справочная информация: ECE/TRANS/WP.11/2015/2

Введение

1. Большинство СТС имеют кузов, форма и конструктивные особенности которого могут быть сведены к нескольким распространенным типам. Соединенное Королевство произвело соответствующий анализ известных конструкций кузовов автомобильных фургонов без окон в грузовом отделении, по итогам которого были предложены расчетные схемы и формулы, позволяющие определить площади наружной и внутренней поверхностей кузова рассматриваемых СТС на базе известных математических методов. Результаты этой работы представлены в официальном документе ECE/TRANS/WP.11/2015/2, принятом Рабочей группой на 71-й сессии.

2. В соответствии со статьей 3 СПС нормы и требования СПС распространяются на перевозки скоропортящихся пищевых продуктов как автомобильным, так и железнодорожным транспортом. При этом методы и требования к испытаниям и проверкам кузовов и термического оборудования СТС одинаковы как для автомобильных, так и железнодорожных СТС.

3. В ходе обсуждения на 70-й сессии WP.11 предложений Соединенного Королевства специалисты Российской Федерации высказали мнение о возможности и необходимости использования предложенных Соединенным Королевством методов для расчета средней поверхности кузова железнодорожных СТС. Особенно это касалось метода «С», использование которого целесообразно в особо затруднительных ситуациях, когда сведений о конструкции кузова недостаточно для непосредственного расчета его средней поверхности и потому используется метод последовательных итераций.

4. На 71-ю сессию WP.11 специалисты Российской Федерации подготовили предложения по применению методов, предложенных Соединенным Королевством, для вагонов, в том числе имеющих скругленную крышу. Однако по техническим причинам предложение Российской Федерации не было в установленные сроки официально переведено на английский и французский языки, что не позволило Рабочей группе полноценно рассмотреть его и проголосовать на 71-й сессии WP.11.

5. В связи с вышеизложенным, Российская Федерация подготовила актуализированные предложения по внесению в СПС и Справочник СПС соответствующих дополнений к предложению Соединенного Королевства в части железнодорожных вагонов в форме официального документа.

За основу взяты действующая на момент подготовки данного официального документа редакция СПС на русском языке с поправками, внесенными по состоянию на 30 сентября 2015 г, Справочник СПС 2015 г, а также принятое 71-й сессией WP.11 предложение Соединенного Королевства, изложенное в документе ECE/TRANS/WP.11/2015/2.

Предложения

6. Добавить в конце новой редакции параграфа 1.2 добавления 2 к приложению 1 к СПС, принятой на 71-й сессии Рабочей группы в 2015 году, следующий текст:

«Вышеуказанные методы применяются также для расчета средней поверхности кузова железнодорожных вагонов, не являющихся цистернами, в том числе со скругленной крышей. В этом случае используют расчеты в соответствии со схемами¹ и формулами, приведенными ниже:

$$S_i = LI \cdot WI + 2 \cdot (LI + WI) \cdot Wi + LI \cdot \frac{PI}{2} + \pi \cdot \frac{WI}{2} \cdot (HI - Wi)$$

$$S_e = LE \cdot WE + 2 \cdot (LE + WE) \cdot We + LE \cdot \frac{PE}{2} + \pi \cdot \frac{WE}{2} \cdot (HE - We)$$

$$PI = 4 \cdot \left(\left(\frac{WI}{2} \right)^x + (HI - Wi)^x \right)^{\frac{1}{x}}$$

$$PE = 4 \cdot \left(\left(\frac{WE}{2} \right)^x + (HE - We)^x \right)^{\frac{1}{x}}$$

$$x = \frac{\ln 2}{\ln \frac{\pi}{2}}$$

где:

HI – средневзвешенная внутренняя высота кузова по центрально расположенной оси X, м;

$\frac{PI}{2}$ – длина внутренней дуги скругленной крыши, м;

HE – средневзвешенная наружная высота кузова по центрально расположенной оси X, м;

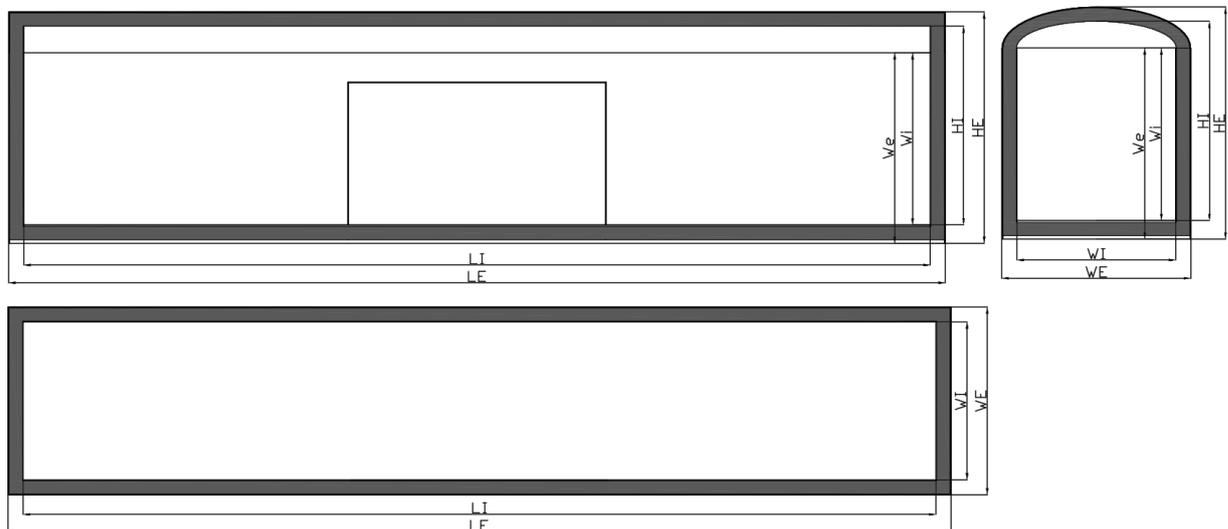
$\frac{PE}{2}$ – длина внутренней дуги скругленной крыши, м;

$\pi \approx 3,14159$ – число Пи.

Максимальная относительная погрешность определения PI и PE указанным способом не превышает 0,3619 % (погрешность всегда положительная)»

7. Включить следующий чертеж в Справочник СПС:

«Рис. 6 – Расчетные обозначения кузова со скругленной крышей»



Примеры расчетов

8. Примеры расчетов, выполненные в среде MathCAD, приведены в приложениях А и Б к настоящему официальному документу.

Обоснование

9. Конкретизация методов определения средней поверхности кузова СТС, включающей его внешнюю и внутреннюю поверхности, является важной задачей для обеспечения единого понимания норм и требований СПС всеми договаривающимися сторонами, экспертами и испытательными станциями. Использование единых, понятных и доступных методов расчета средней поверхности кузова СТС повысит степень взаимного доверия к выданным свидетельствам СПС, что положительно скажется на функционировании всей системы контроля и освидетельствования СТС в целом.

10. На практике кузова различных СТС могут значительно отличаться по форме, иметь различные дополнительные конструктивные элементы, а также скрытые полости, требующие учета при испытаниях и экспертных проверках. Если имеется возможность учесть все эти конструктивные элементы и скрытые полости в полном объеме, тогда целесообразно использование метода «А», предложенного Соединенным Королевством.

11. Во многих случаях к испытаниям или экспертным проверкам предъявляются СТС, у которых по разным причинам сложно установить точную конструкцию кузова, или методы, используемые для расчета площади ее средней поверхности слишком сложны. Однако во всех известных конструкциях СТС не представляется сложным произвести измерения внутренних поверхностей стен, пола и крыши, в том числе сложной формы (примеры рассмотрены в соответствующем предложении Соединенного Королевства, ECE/TRANS/WP.11/2015/2, и могут быть применены, по сути, к любым конструкциям кузовов).

Если при этом производитель транспортного средства в технической документации приводит значения средней толщины изоляции, тогда целесообразно использовать метод «В», при котором наружные размеры кузова СТС определяются как внутренние с учетом средней толщины изоляции. В случае же, когда и этот параметр неизвестен, используется наиболее универсальный метод «С».

12. Специалисты Российской Федерации, при подготовке предложений по использованию для кузовов железнодорожных вагонов методов расчета, содержащихся в предложении Соединенного Королевства, столкнулись с необходимостью конкретизации этих методов с учетом особенностей конструкции ограждений кузова вагона и, прежде всего, его крыши.

Анализ данных, содержащихся в альбоме-справочнике «Грузовые вагоны железных дорог колеи 1520 мм»¹, выявил, что наиболее часто встречается конструкция кузова вагона с вертикальными стенами равной высоты, прямоугольным полом и скругленной крышей. Такие конструкции стен и пола относительно легко рассчитываются. В случае более сложных форм можно использовать средневзвешенные значения, рассчитываемые в соответствии с методами, предложенными Соединенным Королевством.

Однако эти методы нельзя использовать в случаях наличия у СТС скругленной крыши. Для этих случаев потребовалась разработка иных методов расчета поверхности крыши.

¹ Информационное издание Российской Федерации, подготовленное проектно-конструкторским бюро ОАО «РЖД»

13. В случае, когда производитель приводит точное описание, позволяющее рассчитать длину дуги скругления крыши, расчет ее поверхности фактически соответствует методу «А» (все данные известны).

Однако такая информация, если и содержится в технической документации, зачастую подразумевает использование сложных математических методов. Для целей определения значения коэффициента К, погрешность которого не должна превышать значений, указанных в пункте 2.3.2 добавления 2 к приложению 1 к СПС, может использоваться более простой способ, основанный на представлении дуги скругления крыши как половины периметра эллипса. Периметр эллипса может быть определен на основании значений двух его осей, соответствующих ширине кузова и высоте скругления крыши, с небольшой погрешностью – не более 0,3619 % при эксцентриситете эллипса ~0.979811 (соотношение осей ~1/5, что примерно соответствует большинству известных конструкций вагонов). Именно такой способ расчета и предложен специалистами Российской Федерации.

Общая погрешность определения средней поверхности кузова вагона может быть определена с использованием методов, приведенных в Справочнике СПС (комментарий к пункту 2.3.2 добавления 2 к приложению 1 к СПС).

14. В заключение необходимо проверить применимость метода расчета «С» к известным конструкциям кузовов железнодорожных вагонов, не являющихся цистернами. Принимая во внимание основные цели СПС, заключающиеся в обеспечении условий сохранения качества при перевозках скоропортящихся пищевых продуктов, очевидно, что вычисленное по методу расчета «С» значение коэффициента К не должно быть ниже реального значения. Расчетная средняя поверхность кузова СТС должна быть, в таком случае, минимальной, что, в свою очередь, соответствует минимальной расчетной средней толщине изоляции. Толщина изоляции в общем случае зависит от теплопроводности материалов, из которых она выполнена (обычно одного материала, используемого в качестве основного наполнителя изолирующих грузовое помещение СТС конструкций).

В настоящее время для теплоизоляции кузова СТС, в том числе новых поколений железнодорожных вагонов, чаще всего используется пенополиуретан, обладающий наиболее низким значением коэффициента теплопроводности по сравнению с остальными известными теплоизоляционными материалами, используемыми в кузовах. Промышленно изготавливаемые пенополиуретаны могут иметь коэффициент теплопроводности вплоть до 0,019 Вт/(м·К). Однако в реальных условиях с учетом температуры, влажности, условий изготовления и нанесения пенополиуретана на изолируемую поверхность это значение редко бывает ниже 0,023-0,025 Вт/(м·К). В процессе же эксплуатации по мере старения и увлажнения пенополиуретана его коэффициент теплопроводности только увеличивается. Таким образом, расчетное значение коэффициента теплопроводности, равное 0,025 Вт/(м·К) и предложенное Соединенным Королевством в документе ECE/TRANS/WP.11/2015/02, представляется допустимым и целесообразным как для автомобильных СТС, так и для железнодорожных вагонов.

15. Принимая во внимание известную формулу для теоретического определения значения коэффициента теплопередачи (без учета конвекции и излучения), расчетное значение средней толщины изоляции, d , может быть определено из следующего равенства:

$$\frac{1}{\frac{1}{\alpha_e} + \frac{d}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_i}} = \frac{W}{\Delta T \cdot S}$$

где:

α_e , α_i – соответствующие расчетные значения коэффициента теплоотдачи от наружной и внутренней поверхностей кузова СТС (теплоотдача незначительно влияет на значение коэффициента К и в расчетах ею можно пренебречь);

$\lambda = 0,025$ Вт/(м·К) – расчетное значение коэффициента теплопроводности;

S, в данном случае, следует определять как:

$$S = \sqrt{S_i \cdot S_e} = \sqrt{S_i \cdot f(S_i, d)}$$

одобное равенство может быть решено относительно величины d теоретически с использованием численных методов (как проиллюстрировано в методе «D» в приложении А), или методом итераций (метод «С»). Оба метода, как видно, дают одинаковый результат, однако метод итераций значительно более доступен (не требует использования специальных алгоритмов и программного обеспечения). При этом необходимое количество итераций не столь велико и в общем случае определяется заданной точностью определения искомой величины (в примерах, представленных в приложениях А и Б, эта точность задана равной 0,001 м).

Издержки

16. Дополнительные издержки отсутствуют. Конкретизация методов расчета средней поверхности кузова железнодорожных вагонов, не являющихся цистернами, не подразумевает использования дополнительных инструментальных средств, сложных математических методов или иных затратных процедур.

Практическая осуществимость

17. Предлагаемые изменения создают лучшие условия для реализации основных целей и задач СПС без дополнительных издержек и необходимости введения переходного периода, а также повышают степень взаимного доверия Договаривающихся сторон СПС.

Возможность обеспечения применения

18. Не предвидится никаких проблем с испытаниями и экспертными проверками.

Приложение А

Определение средней поверхности кузова железнодорожного вагона (на примере нового вагона-термоса производства завода Дессау, Германия)

1 Исходные данные

Внутренние размеры кузова вагона, м:

длина: $\overline{L_I} := 20.596$

ширина: $\overline{W_I} := 2.702$

высота по боковой стенке: $\overline{W_i} := 2.550$

высота по центральной продольной оси: $\overline{H_I} := 3.195$

Заявленные значения средней толщины изоляции, м, в следующих элементах кузова:

торцевых стенах: $\overline{d_{L_I}} := 2 \cdot 0.200$

боковых стенах и боковых дверях: $\overline{d_{W_I}} := 2 \cdot 0.194$

полу: $\overline{d_{W_i_dn}} := 0.185$

крыше: $\overline{d_{W_i_up}} := 0.200$

Примечание – Значения средней толщины изоляции указаны в эксплуатационной документации к вагону-термосу типа ТН 4-201-90

Расчетный коэффициент теплоотдачи внутренних стен кузова, Вт/(м²К): $\overline{\alpha_i} := \infty$

Расчетный коэффициент теплоотдачи наружных стен кузова, Вт/(м²К): $\overline{\alpha_e} := \infty$

Примечание – Данные параметры незначительно влияют на результат расчетов и для простоты проигнорированы путем присвоения бесконечного значения

Значения измеренных параметров за время режима устойчивого состояния:

среднее значение тепловой мощности, Вт: $\overline{W_{..}} := 1080$

средний перепад температур внутри и снаружи кузова вагона, К: $\overline{\Delta T} := 25$

Расчетное значение коэффициента теплопроводности изоляции кузова, Вт/(мК): $\overline{\lambda} := 0.025$

2 Расчет по методу "А"

Площадь средней поверхности кузова вагона, м²: $\overline{S_A} := 262.5$

Примечание - Расчет указанного значения средней поверхности кузова вагона не приводится из-за его большого объема

Функция для вычисления значения коэффициента К: $f_K(W, \Delta T, S) := \frac{W}{S \cdot \Delta T}$

Значение коэффициента К, Вт/(м²К): $\text{coeffK_A} := f_K(W, \Delta T, S_A) = 0.165$

3 Расчет по методу "В"

Определение условных наружных размеров кузова вагона, м:

длина: $LE := LI + d_{LI} = 20.996$

ширина: $WE := WI + d_{WI} = 3.090$

высота по боковой стенке: $We := Wi + d_{Wi_dn} = 2.735$

высота по центральной продольной оси: $HE := HI + d_{Wi_dn} + d_{Wi_up} = 3.580$

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

Эмпирический параметр для расчета длины дуги скругления крыши:

Функция для вычисления длины дуги скругления крыши:
$$f(B, H, HH) := 4 \left[\left(\frac{B}{2} \right)^x + (HH - H)^x \right]^{\frac{1}{x}}$$

Функция для вычисления площади наружной или внутренней поверхностей кузова вагона:

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

Функция для вычисления средней поверхности кузова вагона:

$$fS(LE, WE, We, HE, LI, WI, Wi, HI) := \sqrt{fS(LE, WE, We, HE) \cdot fS(LI, WI, Wi, HI)}$$

Площадь средней поверхности кузова вагона, м²: $S_B := fS(LE, WE, We, HE, LI, WI, Wi, HI) = 261.982$

Значения коэффициента К, Вт/(м²К): $coefK_B := fK(W, \Delta T, S_B) = 0.165$

4 Расчет по методу "С"

```

proc(LI, WI, Wi, HI, W, ΔT, λ, αe, αi) :=
  prec ← 0.001
  n ← 0
  dn ← 0
  LEn ← LI + 2·dn
  WEn ← WI + 2·dn
  Wen ← Wi + dn
  HEn ← HI + 2·dn
  Sn ← S(LI, WEn, Wen, HEn, LI, WI, Wi, HI)
  coefK_Cn ←  $\frac{W}{\Delta T \cdot S_n}$ 
  Δd ← ∞
  while Δd > prec
    n ← n + 1
    dn ←  $\left( \frac{\Delta T \cdot S_{n-1}}{W} - \frac{1}{\alpha_e} - \frac{1}{\alpha_i} \right) \cdot \lambda$ 
    LEn ← LI + 2·dn
    WEn ← WI + 2·dn
    Wen ← Wi + dn
    HEn ← HI + 2·dn
    Sn ← S(LI, WEn, Wen, HEn, LI, WI, Wi, HI)
    coefK_Cn ←  $\frac{W}{\Delta T \cdot S_n}$ 
    Δd ← |dn - dn-1|
  return (d LE WE We HE S coefK_C)

```

Примечание – Список дополнительных параметров:

prec=10⁻³ м – точность подбора средней толщины изоляции;

n - номер итерации, начиная с 0 (особенность индексации массивов в MathCAD);

d_n – средняя толщина изоляции, полученная в итерации n, м;

LE_n – расчетная наружная длина кузова вагона, полученная в итерации n, м;

WE_n – то же, ширина, м;

We_n – то же, высота по боковой стенке, м;

HE_n – то же, высота по центральной продольной оси, м;

S_n – расчетная площадь средней поверхности кузова вагона, полученная в итерации n, м;

coefK_C_n – расчетное значение коэффициента К, полученное в итерации n методом С, Вт/(м²К);

Δd – модуль абсолютного изменения расчетной средней толщины изоляции, м (Δd > prec).

Итоги подбора параметров (столбцы: d | LE | WE | We | HE | S | coefK_C) в итерациях (строки):

$$\text{proc}(LI, WI, Wi, HI, W, \Delta T, \lambda, \alpha_e, \alpha_i) = \begin{bmatrix} \begin{pmatrix} 0.000 \\ 0.141 \\ 0.149 \\ 0.149 \end{pmatrix} & \begin{pmatrix} 20.596 \\ 20.878 \\ 20.894 \\ 20.894 \end{pmatrix} & \begin{pmatrix} 2.702 \\ 2.984 \\ 3.000 \\ 3.000 \end{pmatrix} & \begin{pmatrix} 2.550 \\ 2.691 \\ 2.699 \\ 2.699 \end{pmatrix} & \begin{pmatrix} 3.195 \\ 3.477 \\ 3.493 \\ 3.493 \end{pmatrix} & \begin{pmatrix} 243.940 \\ 257.146 \\ 257.854 \\ 257.892 \end{pmatrix} & \begin{pmatrix} 0.177 \\ 0.168 \\ 0.168 \\ 0.168 \end{pmatrix} \end{bmatrix}$$

5 Определение средней толщины изоляции по методу "D"

$$\frac{1}{\frac{1}{\alpha_e} + \frac{d}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_i}} = \frac{W}{\Delta T \cdot S(LI + 2 \cdot d, WI + 2 \cdot d, Wi + d, HI + 2 \cdot d, LI, WI, Wi, HI)} \text{ solve} \rightarrow 0.14924416242198620967$$

Приложение Б

Определение средней поверхности кузова железнодорожного вагона (на примере испытаний вагона № 80007990, осуществленного в апреле 2015)

1 Исходные данные

Внутренние размеры кузова вагона, м:

длина: $\overline{LI} := \text{mean}((15.340 \ 15.340 \ 15.345 \ 15.340)) = 15.341$

ширина: $\overline{WI} := \text{mean}((2.470 \ 2.470 \ 2.465 \ 2.465)) = 2.468$

высота по боковой стенке: $\overline{Wi} := \text{mean}((2.635 \ 2.635 \ 2.630 \ 2.620)) = 2.630$

высота по центральной продольной оси: $\overline{HI} := \text{mean}((2.900 \ 2.900)) = 2.900$

Примечание – Внутренние размеры кузова определены путем многократных равноточных измерений

Заявленные значения средней толщины изоляции, м, в следующих элементах кузова:

торцевых стенах: $\overline{d_LI} := 2 \cdot 0.150 = 0.300$

боковых стенах: $\overline{d_WI_wl} := 2 \cdot 0.150 = 0.300$

боковых дверях: $\overline{d_WI_dr} := 2 \cdot 0.100 = 0.200$

полу: $\overline{d_Wi_dn} := 0.100$

крыше: $\overline{d_Wi_up} := 0.150$

Размеры погрузочного дверного проема в свету, м:

ширина: $\overline{b} := 2.150$

высота: $\overline{h} := 2.090$

Примечание – Значения средней толщины изоляции, а также размеры погрузочного дверного проема в свету указаны в ТУ 3182601-427-01055865-08

технической документации

Расчетное значение средней толщины изоляции, м, в боковых стенах и боковых дверях:

$$d_WI := \frac{d_WI_dr \cdot (b \cdot h) + d_WI_wl \cdot (LI \cdot WI - b \cdot h)}{LI \cdot WI} = 0.289$$

Расчетный коэффициент теплоотдачи внутренних стен кузова, Вт/(м²К): $\overline{\alpha_i} := \infty$

Расчетный коэффициент теплоотдачи наружных стен кузова, Вт/(м²К): $\overline{\alpha_e} := \infty$

Примечание – Данные параметры незначительно влияют на результат расчетов и для простоты проигнорированы путем присвоения бесконечного значения

Значения измеренных параметров за время режима устойчивого состояния:

среднее значение тепловой мощности, Вт: $\overline{W_s} := 1627$

средний перепад температур внутри и снаружи кузова вагона, К: $\overline{\Delta T} := 25.4$

Расчетное значение коэффициента теплопроводности изоляции кузова, Вт/(мК): $\overline{\lambda} := 0.025$

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

2 Расчет по методу "А"

Примечание – Расчет не может быть выполнен вследствие недостаточных данных о внутреннем устройстве теплоизоляции и конструктивных особенностях кузова

3 Расчет по методу "В"

Определение условных наружных размеров кузова вагона, м:

длина: $LE := LI + d_{LI} = 15.641$

ширина: $WE := WI + d_{WI} = 2.756$

высота по боковой стенке: $We := Wi + d_{Wi_dn} = 2.730$

высота по центральной продольной оси: $HE := HI + d_{Wi_dn} + d_{Wi_up} = 3.150$

Эмпирический параметр для расчета длины дуги скругления крыши:

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

Функция для вычисления длины дуги скругления крыши:

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

Функция для вычисления площади кузова вагона:

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

Функция для вычисления средней поверхности кузова вагона:

$$fS(LE, WE, We, HE, LI, WI, Wi, HI) := \sqrt{fS'(LE, WE, We, HE) \cdot fS'(LI, WI, Wi, HI)}$$

Площадь средней поверхности кузова вагона, м²:
 $S_B := fS(LE, WE, We, HE, LI, WI, Wi, HI) = 182.570$

Значения коэффициента К, Вт/(м²К): $coefK_B := fK(W, \Delta T, S_B) = 0.351$

4 Расчет по методу "С"

```

proc(LI, WI, Wi, HI, W, ΔT, λ, αe, αi) :=
  prec ← 0.001
  n ← 0
  dn ← 0
  LEn ← LI + 2·dn
  WEn ← WI + 2·dn
  Wen ← Wi + dn
  HEn ← HI + 2·dn
  Sn ← S(LI, WEn, Wen, HEn, LI, WI, Wi, HI)
  coefK_Cn ←  $\frac{W}{\Delta T \cdot S_n}$ 
  Δd ← ∞
  while Δd > prec
    n ← n + 1
    dn ←  $\left( \frac{\Delta T \cdot S_{n-1}}{W} - \frac{1}{\alpha_e} - \frac{1}{\alpha_i} \right) \cdot \lambda$ 
    LEn ← LI + 2·dn
    WEn ← WI + 2·dn
    Wen ← Wi + dn
    HEn ← HI + 2·dn
    Sn ← S(LI, WEn, Wen, HEn, LI, WI, Wi, HI)
    coefK_Cn ←  $\frac{W}{\Delta T \cdot S_n}$ 
    Δd ← |dn - dn-1|
  return (d LE WE We HE S coefK_C)

```

Примечание – Список дополнительных параметров:

prec=10⁻³ м – точность подбора средней толщины изоляции;

n - номер итерации, начиная с 0 (особенность индексации массивов в MathCAD);

d_n – средняя толщина изоляции, полученная в итерации n, м;

LE_n – расчетная наружная длина кузова вагона, полученная в итерации n, м;

WE_n – то же, ширина, м;

We_n – то же, высота по боковой стенке, м;

HE_n – то же, высота по центральной продольной оси, м;

S_n – расчетная площадь средней поверхности кузова вагона, полученная в итерации n, м;

coefK_C_n – расчетное значение коэффициента К, полученное в итерации n методом С, Вт/(м²К);

Δd – модуль абсолютного изменения расчетной средней толщины изоляции, м (Δd > prec).

Итоги подбора параметров (столбцы: d | LE | WE | We | HE | S | coefK_C) в итерациях (строки):

$$\text{proc}(LI, WI, Wi, HI, W, \Delta T, \lambda, \alpha_e, \alpha_i) = \begin{bmatrix} \begin{pmatrix} 0.000 \\ 0.067 \\ 0.069 \\ 0.069 \end{pmatrix} & \begin{pmatrix} 15.341 \\ 15.476 \\ 15.480 \\ 15.480 \end{pmatrix} & \begin{pmatrix} 2.468 \\ 2.602 \\ 2.606 \\ 2.606 \end{pmatrix} & \begin{pmatrix} 2.630 \\ 2.697 \\ 2.699 \\ 2.699 \end{pmatrix} & \begin{pmatrix} 2.900 \\ 3.035 \\ 3.039 \\ 3.039 \end{pmatrix} & \begin{pmatrix} 172.785 \\ 177.672 \\ 177.810 \\ 177.814 \end{pmatrix} & \begin{pmatrix} 0.371 \\ 0.361 \\ 0.360 \\ 0.360 \end{pmatrix} \end{bmatrix}$$
