А.Д. Кривошеин, к.т.н., доцент,
Д.А. Харламов, с.н.с., СибАДИ (г. Омск)

Оценка теплотехнической эффективности дистанционных рамок различного конструктивного решения

Повышение требований к теплозащитным качествам светопрозрачных конструкций, введение в СНиП 23-02-2003 [1] ограничения по минимальной температуре внутренней поверхности остекления обусловливает интерес к стеклопакетам с так называемой «тёплой кромкой» – дистанционными рамками типа TPS, Termix, Swiggle Strip, рамками из нержавеющей стали, ПВХ и т.п. Результаты ряда теоретических и экспериментальных исследований [2, 3, 4] свидетельствуют о возможности существенного повышения температуры внутренней поверхности остекления в краевых зонах и определённом увеличении приведённого сопротивления теплопередаче стеклопакетов с подобными дистанционными рамками.

В качестве примера на рис. 1 приведены результаты тепловизионной съёмки двухкамерных стеклопакетов с рамками из алюминия (алюминиевых сплавов) и TPS. Здесь же показан внешний вид этих стеклопакетов: в первом случае – изморозь по периметру стеклопакета, во втором – небольшой конденсат (и это при температуре наружного воздуха t_{ext} = - 27,5 °С).

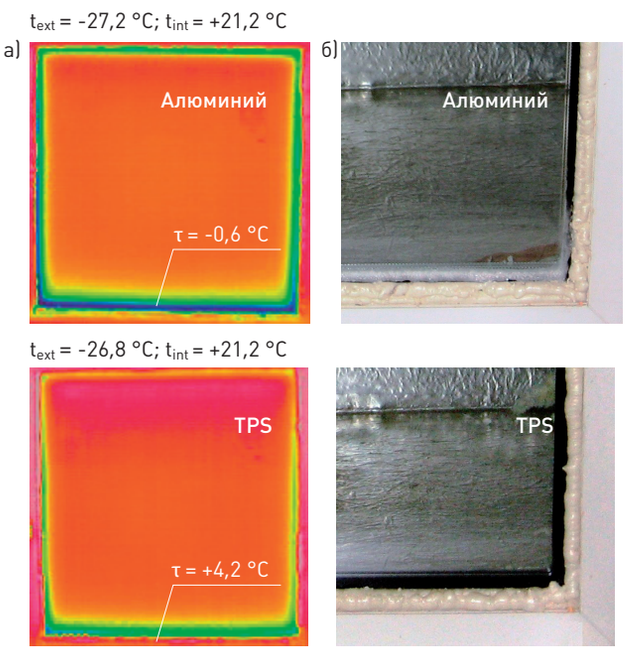

Рис. 1.
Результаты тепловизионной съемки по внутренней поверхности (а) и внешний вид (б) двухкамерных стеклопакетов с дистанционными рамками из алюминия и TPS при проведении испытаний в климатической камере
(стеклопакет СПД 4М1–14–4М1–14–4М1 780х805х40)

Особенно актуальны «тёплые кромки» в однокамерных стеклопакетах с низкоэмиссионным покрытием внутреннего стекла. При достаточно высоком сопротивлении теплопередаче центральной зоны данных стеклопакетов остаётся нерешённой проблема их обмерзания по периметру, особенно в нижней зоне.

Естественно возникают вопросы: как оценить теплотехническую эффективность тех или иных дистанционных рамок, по каким показателям их можно сопоставить между собой.

На первый взгляд критерий вроде бы очевиден – коэффициент теплопроводности материала рамки. И разброс величин здесь достаточно большой – от 160 Вт/(м·°С) для алюминиевых сплавов до 0,17 Вт/(м·°С) для ПВХ (табл. 1).

Таблица 1

Расчётные значения коэффициента теплопроводности ряда материалов

Материал	Плотность, кг/(м³)	Коэффициент теплопроводности, Вт/(м·°С)
Алюминий	2600	221*
Сплав алюминия	2800	160**
Сталь	7850	58*
Нержавеющая сталь	7900	17**
Стекло	2500	0,76*
ПВХ	1390	0,17**
Бутил горячего плавления	1200	0,24**
Полиуретан	1200	0,25**
Полисульфид	1700	0,40**
Силикон	1200	0,35**
Молекулярное сито	650-700	0,10**

* По данным СП 23-101-2004.
** По EN ISO 10077-2:2003.

Однако испытания и результаты расчётов температурного режима стеклопакетов различного конструктивного решения показывают, что дело не только в коэффициенте теплопроводности.

На передачу тепла, помимо теплопроводности, оказывают влияние толщина стенок рамок, их ширина (ширина межстекольного пространства), толщина и коэффициент теплопроводности слоя вторичной герметизации.

Поскольку в некоторых типах дистанционных рамок вторичный слой герметизации является их неотъемлемой частью, необходимо рассмотрение комбинации «рамка + слой герметика». Иначе сопоставление получается некорректным.

Для комплексной оценки теплотехнической эффективности дистанционных рамок различного конструктивного решения предлагается введение понятия приведённого коэффициента теплопроводности – **ξ**, учитывающего большинство из перечисленных факторов.

Физический смысл данного коэффициента заключается в характеристике линейных потерь тепла по дистанционным рамкам за счёт теплопроводности совместно со слоем вторичной герметизации (рис. 2).

В общем случае количество тепла $\mathbf{Q_o}$, теряемого через дистанционную рамку в краевой зоне за счёт теплопроводности (например, TPS), может быть представлено в виде суммы потерь тепла через отдельные слои:

$$Q_o = Q_1 + Q_2 + ... + Q_i. \quad (1)$$

В свою очередь, для каждого слоя можно записать:

$$Q_i = \frac{(\tau_{int} - \tau_{ext})}{b/\lambda_i} \cdot d_i \cdot L, \quad (2)$$

где τ_{int}, τ_{ext} – температуры наружной и внутренней поверхности слоя конструкции, °С;

$\mathbf{d_i}$ – толщина слоя, м;

$\boldsymbol{\lambda_i}$ – коэффициент теплопроводности материала **i**-го слоя, Вт/(м·°С);

b – ширина рамки, м;

L – длина, м.

Это же уравнение можно представить в виде:

$$Q_i = (\tau_{int} - \tau_{ext}) \cdot L \cdot \xi_i, \quad (3)$$

где

$$\xi_i = (d_i \cdot \lambda_i / b). \quad (4)$$

Соответственно, для комбинации «рамка + слой герметика» можно записать:

$$\xi = \sum (d_i \cdot \lambda_i / b). \quad (5)$$

Аналогичные расчёты, проведённые для дистанционных рамок из алюминия (Swiggle Strip, Termix и др. (рис. 3)), показывают возможность применения приведённого коэффициента теплопроводности **ξ** для характеристики дистанционных рамок различного конструктивного решения.

И для традиционных дистанционных рамок замкнутого сечения с заполнением внутреннего пространства молекулярным ситом, с учётом небольшой погрешности, также можно записать:

$$\xi = (2d_1 \cdot \lambda_1 + d_2 \cdot \lambda_2) / b, \quad (6)$$

где $\mathbf{d_1}$, $\mathbf{d_2}$ – толщина стенок рамки, м;

$\boldsymbol{\lambda_1}$ – коэффициент теплопроводности материала стенок рамки, Вт/(м·°С).

Таким образом, приведённый коэффициент теплопроводности **ξ** может быть определён по формуле (4) для различных дистанционных рамок как сумма коэффициентов отдельных слоёв по направлению теплового потока.

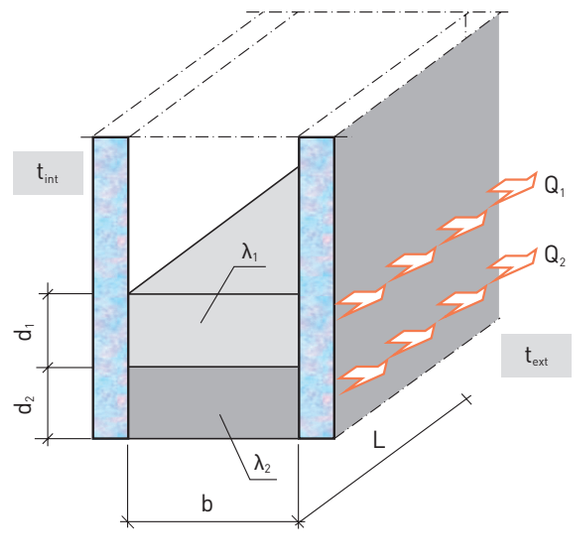

Рис. 2.
Схема к определению приведённого коэффициента теплопроводности дистанционных рамок

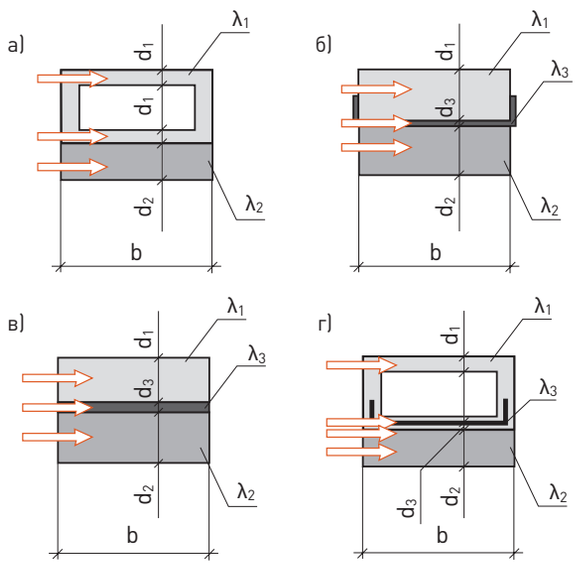

Рис. 3.
Расчётные схемы для определения приведённого коэффициента теплопроводности различных дистанционных рамок:
а – замкнутого сечения; б – типа SuperSpacer;
в – типа Swiggle Strip, Dura Seal; г – типа Termix

Пример 1. Определить величину **ξ** для дистанционных рамок из алюминия шириной 16 мм со слоем вторичной герметизации из полисульфида.

Толщина стенок рамки $\mathbf{d_1}$ = 0,3 м; коэффициент теплопроводности $\boldsymbol{\lambda_1}$ = 160 Вт/(м·°С); толщина герметика $\mathbf{d_2}$ = 4,0 мм; коэффициент теплопроводности $\boldsymbol{\lambda_2}$ = 0,4 Вт/(м·°С).

ξ = (2·0,0003·160 + 0,004·0.4)/0,016 = 6,1 Вт/(м·°С).

Пример 2. Определить величину **ξ** для дистанционных рамок TPS шириной 16 мм.

Толщина слоя с влагопоглотителем $\mathbf{d_1}$ = 6 мм; коэффициент теплопроводности $\boldsymbol{\lambda_1}$ = 0,25 Вт/(м·°С); толщина герметика $\mathbf{d_2}$ = 4,0 мм; коэффициент теплопроводности $\boldsymbol{\lambda_2}$ = 0,4 Вт/(м·°С).

ξ = (0,006·0,25 + 0,004·0.4)/0,016 = 0,19 Вт/(м·°С).

Результаты расчёта величины **ξ** для ряда дистанционных рамок различной ширины представлены в табл. 2.

Анализ результатов расчётов позволяет сделать следующие выводы:

· приведённый коэффициент теплопроводности для дистанционных рамок различного конструктивного решения изменяется в достаточно широких пределах – от 0,1 Вт/(м·°С) для рамок из ПВХ до 10–12 Вт/(м·°С) для рамок из алюминиевых сплавов;

· к «тёплым» дистанционным рамкам можно отнести конструктивные решения с **ξ** < 0,4; такой показатель характерен для дистанционных рамок типа Termix, Super Spacer, TPS, рамок из ПВХ;

· для традиционных металлических рамок на величину **ξ** существенное влияние оказывает как коэффициент теплопроводности, так и толщина стенок и ширина рамок;

· для комбинированных рамок с металлическими лентами или фольгой определяющее значение имеют толщина и коэффициент теплопроводности ленты; в частности, для рамок Swiggle Strip наличие ленты из стали толщиной 0,1 мм обусловливает величину **ξ** ~ 0,7–0,4.

При выполнении этой ленты из алюминия (**λ** = 160) величина **ξ** возрастает до ~ 1,9–4,0, что уже мало отличается от традиционных металлических рамок.

Сопоставление полученных значений с результатами расчётов температурных полей (рис. 4) и испытаниями подтверждает правомерность использования данного коэффициента для сопоставительной и оперативной оценки дистанционных рамок различного конструктивного решения.

Расчётные значения приведённого коэффициента теплопроводности ряда дистанционных рамок — Таблица 2

Тип дистанционной рамки	Приведённый коэффициент теплопроводности дистанционных рамок, **ξ** Вт/(м·°С)			
	b = 8 мм	**b** = 12 мм	**b** = 16 мм	**b** = 20 мм
Замкнутого сечения из алюминиевых сплавов, **d** = 0,3 мм, λ_1 = 160 Вт/(м·°С)	12,2	8,1	6,1	4,9
То же, **d** = 0,2 мм, λ_1 = 160 Вт/(м·°С)	8,2	5,8	4,1	3,3
То же, из оцинкованной стали, **d** = 0,2 мм, λ_1 = 58 Вт/(м·°С)	3,1	2,1	1,5	1,2
То же, из легированной стали, **d** = 0,2 мм, λ_1 = 17 Вт/(м·°С)	1,0	0,7	0,5	0,4
То же, из твёрдого ПВХ, **d** = 1,0 мм, λ_1 = 0,17 Вт/(м·°С)	0,2	0,1	0,1	0,1
TPS, d_1 = 4 мм, λ_1 = 0,25 Вт/(м·°С), d_2 = 4 мм, λ_1 = 0,4 Вт/(м·°С)	0,3	0,3	0,2	0,1
Termix, d_1 = 1 мм, λ_1 = 0,17 Вт/(м·°С), d_2 = 0,1 мм, λ_2 = 17 Вт/(м·°С)	0,4	0,3	0, 2	0,2
Swiggle Strip, d_1 = 4 мм, λ_1 = 0,25 Вт/(м·°С), d_2 = 0,1 мм, λ_2 = 17 Вт/(м·°С), d_3 = 3 мм, λ_1 = 0,4 Вт/(м·°С)	0,7	0,5	0,4	0,3

* Значения определены с учётом слоя вторичной герметизации **d** = 4 мм.

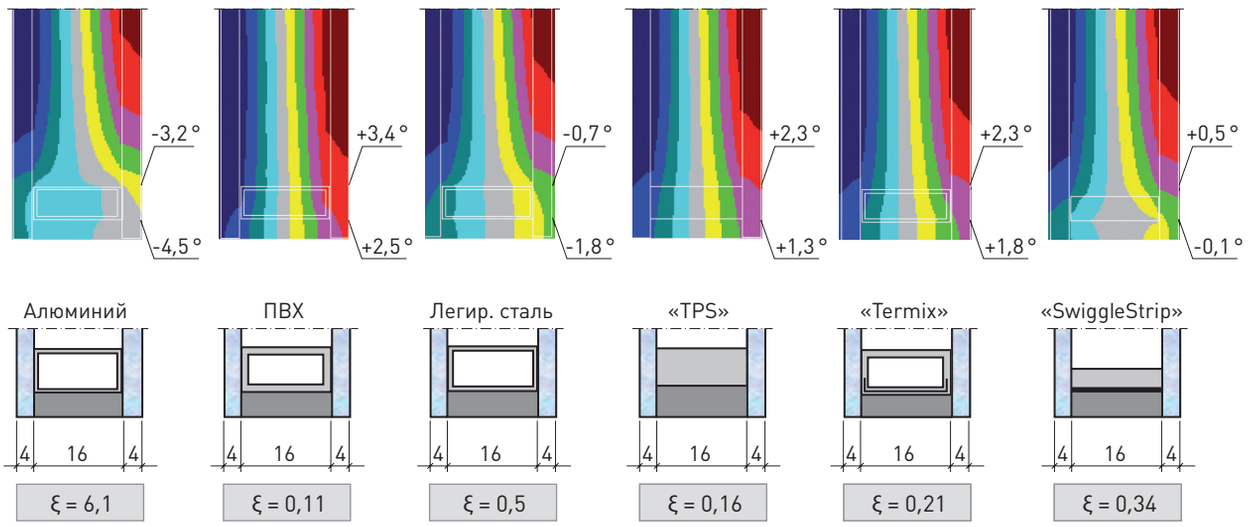

Рис. 4.
Результаты расчёта температурного режима однокамерных стеклопакетов с дистанционными рамками различного конструктивного решения (t_{ext} = - 20,0 °С; t_{int} = + 20,0 °С)

Литература

1. СНиП 23-02-2003. Тепловая защита зданий.
2. Кривошеин А.Д., Пахотин Г.А. Особенности теплового режима современных окон в краевых зонах// Окна и двери. 1999. № 5.
3. Спиридонов А.В. и др. Три или два? Или ещё раз о современных стеклопакетах// СК. 2002. № 5–6.
4. Кривошеин А.Д., Харламов Д.А. К вопросу об улучшении температурного режима современных окон в краевых зонах// СК. 2005. № 1. ■