

ТЕМПЕРАТУРНЫЙ РЕЖИМ СТЕКЛОПАКЕТОВ В КРАЕВЫХ ЗОНАХ

Одним из требований, предъявляемых СНиП 23-02-2003 [1] к светопрозрачным конструкциям, является ограничение по минимальной температуры внутренней поверхности окна при расчетных параметрах наружного и внутреннего воздуха – не ниже +3 °С.

В конструкциях с одинарными переплетами и стеклопакетами по ГОСТ 24866-99 [2] данное требование, к сожалению, не обеспечивается на большей части территории РФ.

В холодный период года на поверхности остекления (преимущественно в нижней зоне оконных блоков) имеет место понижение температуры с выпадением конденсата, образованием наледей, изморози (рисунок 1).



Рис. 1. Образование конденсата и наледей на поверхности стеклопакета в краевой зоне

Особенно ярко эта проблема проявляется в конструкциях с однокамерными стеклопакетами. И даже применение стекла с низкоэмиссионным покрытием, при достаточно высоких показателях в центральной части остекления, не обеспечивает выполнения требования [1] при температурах наружного воздуха от минус 20 °С и ниже.

Необходимо отметить, что в последние годы решению данной проблемы уделяется все больше внимания. Известен ряд работ в этой области [3, 4, 5, 6]. Все более широкое применение на практике находят стеклопакеты с дистанционными рамками типа «Termix», «TPS», «Super Spacer», из ПВХ и др.

Естественно возникает вопрос о возможностях стеклопакетов с такими дистанционными рамками, особенно в однокамерных стеклопакетах с применением низкоэмиссионного стекла.

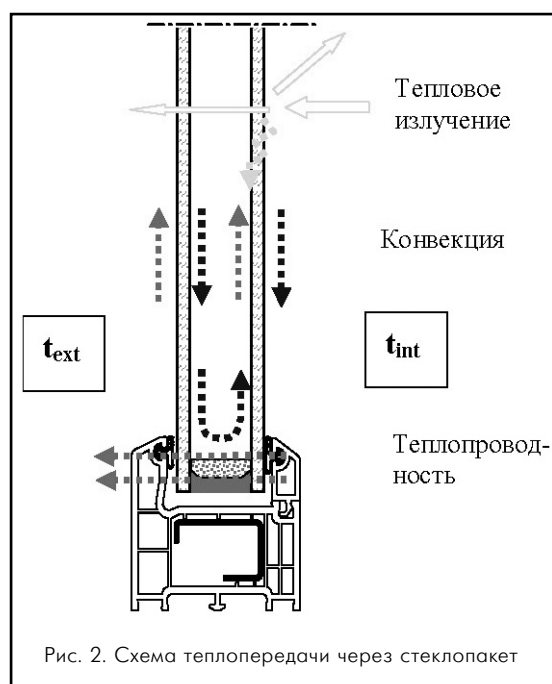


Рис. 2. Схема теплопередачи через стеклопакет



Рис. 3. Факторы, определяющие температурный режим краевых зон стеклопакетов



Факторы, определяющие температурный режим стеклопакетов в краевых зонах.

Температурный режим в зоне сопряжения стеклопакетов с переплетами определяется совместным протеканием ряда взаимосвязанных процессов: передачей тепла теплопроводностью, конвективным теплопереносом в межстекольном пространстве и тепловым излучением (рисунки 2, 3).

Передача тепла теплопроводностью происходит по дистанционным рамкам, герметикам и, частично, через воздух или газ, заполняющий межстекольное пространство.

Тепловое излучение (волны длиной от 0,4 до 800 мкм), падающее на светопрозрачную конструкцию, частично поглощается ею, частично отражается и частично проходит через остекление.

Конвективный теплообмен обусловлен перемещением и перемешиванием воздуха или газа, заполняющего межстекольное пространство, и зависит от расстояния между стеклами, их температуры, свойств газового заполнения и др.

Внутри межстекольного пространства, вследствие разности температур остекления, образуются восходящие и нисходящие потоки, перемещение которых и обуславливает более интенсивное охлаждение нижней части стеклопакета.

Критерии оценки температурного режима краевых зон

В качестве критериев для оценки температурного режима краевых зон приняты два показателя [6]:

– разность температур между центральной зоной стеклопакета и минимальной температурой в зоне расположения дистанционной рамки $\Delta t = t_{ц} - t_{мин}$;

– коэффициент относительного температурного перепада $\Theta = \Delta t / (t_{int} - t_{ext})$, характеризующий степень изменения (неравномерности) температуры по внутренней поверхности остекления.

Оперируя этими показателями можно проводить сравнение различных конструкций при различных условиях их эксплуатации.

Оценка влияния дистанционных рамок различного конструктивного решения на температурный режим краевых зон

Традиционно, при изготовлении стеклопакетов по ГОСТ 24866-99 [2], применяются дистанционные

рамки из сплавов алюминия, имеющие достаточно большой коэффициент теплопроводности ($\lambda \sim 160 - 200 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot\text{°C})$).

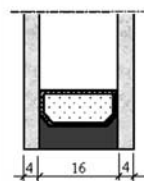
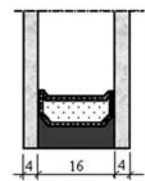
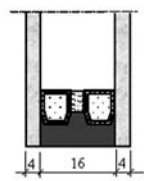
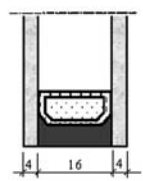
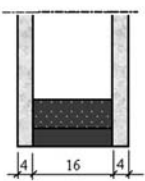
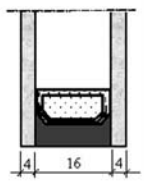
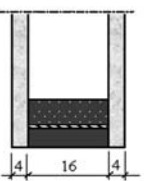
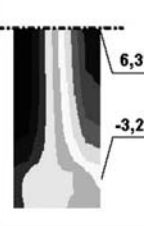
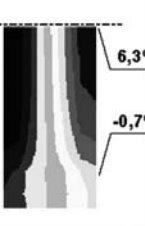
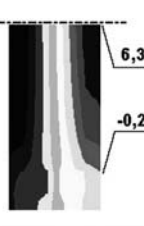
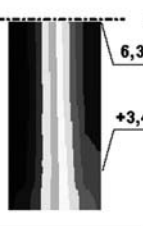
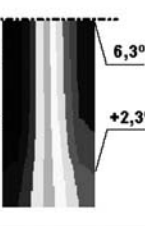
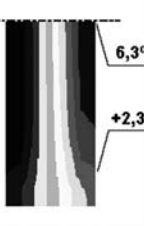
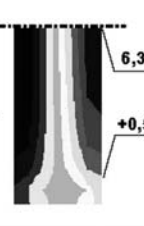
Наряду с рамками из алюминия, отечественными и зарубежными специалистами разработаны и находят все более широкое применение дистанционные рамки из материалов с существенно меньшей теплопроводностью – легированной стали ($\lambda \sim 14 - 17 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot\text{°C})$), ПВХ ($\lambda = 0,17 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot\text{°C})$), «Thermix», «TGI-Wave», «Dura Seal», «Super Spacer», «Swiggle Strip» и др. Все более широко применяется технология изготовления стеклопакетов из термопластичного герметика («TPS»).

Результаты компьютерного моделирования температурного режима однокамерных стеклопакетов из обычного стекла с различными типами дистанционных рамок представлены в таблице 1 (без учета конвекции в межстекольном пространстве).

Анализ представленных результатов показывает, что коэффициент теплопроводности материалов дистанционных рамок оказывает влияние на температурный режим краевых зон; однако, уменьшение коэффициента теплопроводности не дает пропорционального увеличения температуры в краевой зоне. Так, при использовании рамки из легированной стали, температура в зоне размещения дистанционной рамки повышается на 2,5°, тогда как теплопроводность уменьшается более чем в десять раз. Необходимо отметить, что существенное влияние на температуру в краевой зоне оказывает сток тепла по слою вторичной герметизации, поэтому улучшение температурного режима становится заметным при использовании материалов с $\lambda < 1,0 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot\text{°C})$, таких как ПВХ ($\lambda = 0,17 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot\text{°C})$), «TPS» ($\lambda \sim 0,3 - 0,34 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot\text{°C})$), «Thermix». Для комбинированных рамок, даже из относительно малотеплопроводных материалов, имеющих в составе металлическую ленту, определяющее значение на теплотехнические показатели оказывает толщина и коэффициент теплопроводности этой ленты.

Для однокамерного стеклопакета с дистанционными рамками из алюминия коэффициент относительного температурного перепада составляет $\Theta \sim 238$ ($\Delta t \sim 9,5^\circ$); при использовании рамок из ПВХ или «TPS» коэффициент относительного температурного перепада уменьшается до $\Theta \sim 73 - 100$ ($\Delta t \sim 2,9^\circ - 4,0^\circ$).

Таблица 1. Результаты расчета температурного режима однокамерных стеклопакетов с некоторыми типами дистанционных рамок

	Алюминий	Сталь	Алюминий с терм.вст.	ПВХ	«TPS»	«Thermix»	«Swiggle Strip»
Эскиз дистанционной рамки							
Температурное поле							
Δt	9,5	7,0	6,5	2,9	4,0	4,0	5,8
$\Theta \cdot 10^3$	238	175	163	73	100	100	145

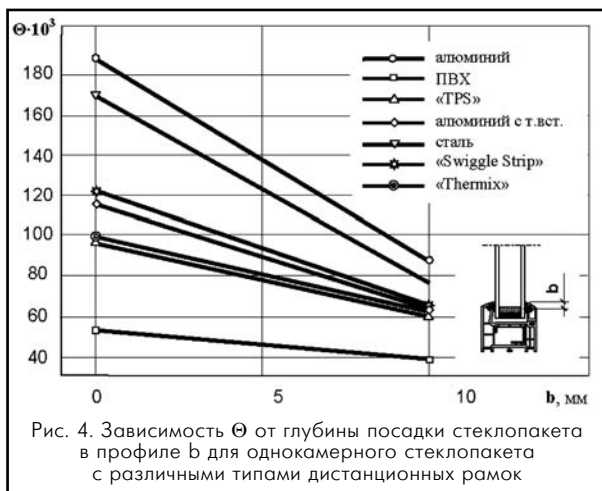
Примечание. Расчеты выполнены при $t_{int} = +20 \text{ °C}$; $t_{ext} = -20 \text{ °C}$



Влияние на температурный режим краевых зон глубины установки стеклопакета в фальц переплета

Одним из простых методов повышения температуры в краевой зоне является заглубление стеклопакета в фальц переплета. Особенность данного метода заключается в смещении дистанционных рамок относительно граней штапика и, соответственно, увеличении пути прохождения теплового потока через дистанционную рамку с герметиком.

Сравнение эффективности заглубления стеклопакета при использовании дистанционных рамок различных типов представлена на рисунке 4.

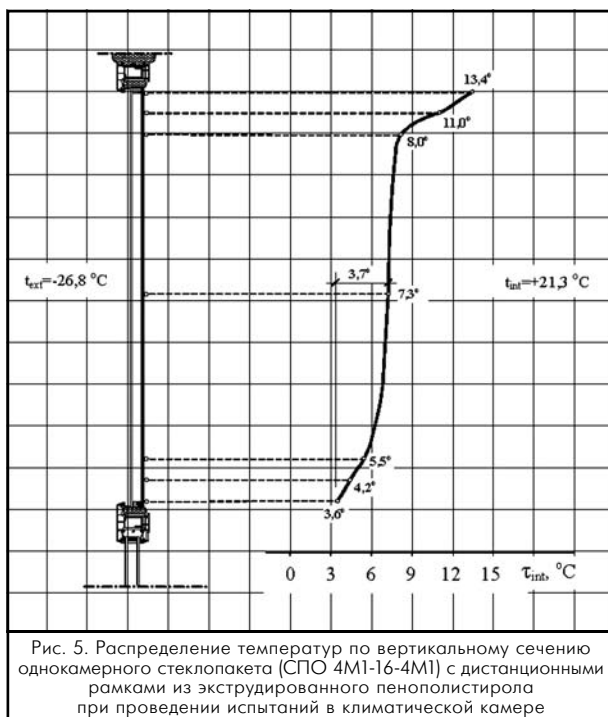


Из графика видно, что наибольший эффект наблюдается при заглублении стеклопакетов с дистанционными рамками из алюминия и стали - величина коэффициента Θ уменьшается вдвое, а увеличение температуры в краевой зоне может составить до 4 - 5°.

Заглубление стеклопакетов с «теплыми кромками» менее эффективно.

Влияние конвекции в межстекольном пространстве стеклопакета на температурный режим краевых зон

Вопрос о влиянии конвективного теплообмена на температурный режим остекления в краевых зонах является наименее изученным.



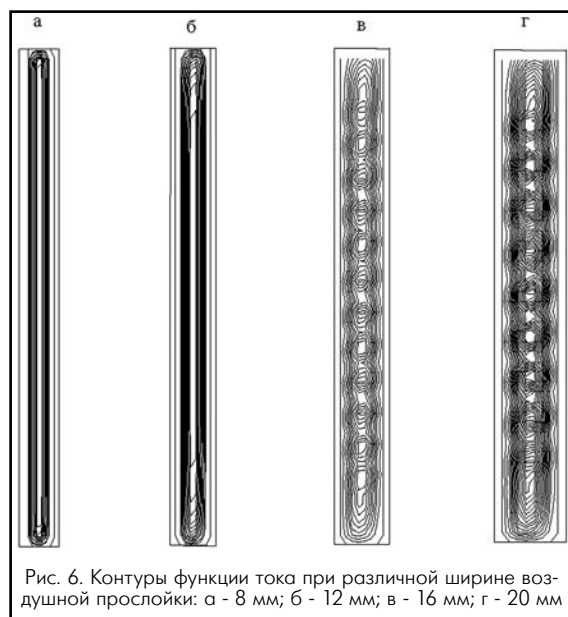
Сопоставление результатов испытаний различных конструкций однозначно свидетельствует о существенном понижении температуры в нижней части остекления по сравнению с аналогичным понижением между центральным и боковыми участками стеклопакета.

Например, для оконного блока с однокамерными стеклопакетами СПО 4М1-16-4М1, разность температур по вертикальному сечению составляет $\Delta t_{vert} = 11,4 \text{ }^\circ\text{C}$, по горизонтальному сечению - $\Delta t_{гор} = 4,7 - 5,4 \text{ }^\circ\text{C}$. Таким образом, «вклад» конвекции в понижении температуры поверхности остекления в нижней части стеклопакета составляет ~ 50 - 60%.

Для оценки конвекции в межстекольном пространстве были проведены испытания стеклопакета, у которого дистанционные рамки между стеклами заменены полосками эффективного утеплителя (экструдированный пенополистирол, $\lambda = 0,033 \text{ Вт/(м}\cdot\text{}^\circ\text{C)}$).

Опытный образец устанавливался в верхнюю часть оконного блока с заполнением швов монтажной пеной. Испытания проводились в климатической камере.

На рисунке 5 представлено распределение температур по внутренней поверхности стеклопакета. Как видно, разность температур между центральной и нижней зонами, обусловленная конвекцией воздуха в прослойке, составила 3,7°. Это подтверждает предположение о том, что перемещение воздуха в камерах стеклопакетов является важным фактором в формировании температурного режима нижних краевых зон.



Для оценки влияния ширины межстекольного пространства и свойств газа, заполняющего стеклопакет, была проведена серия расчетов по специальной компьютерной программе, разработанной сотрудниками института теплофизики СО РАН (г.Новосибирск).

Некоторые результаты расчетов представлены на рисунке 6 и таблицах 2, 3.

Анализ результатов показывает, что ширина межстекольного пространства существенно влияет на характер течения воздуха внутри стеклопакетов и соответственно распределение температур.

При температурном перепаде 40 °C ($t_{int} = +20 \text{ }^\circ\text{C}$; $t_{ext} = -20 \text{ }^\circ\text{C}$) в прослойках толщиной до 12 мм наблюдается однопучковый режим течения, а начиная с 14 мм имеет место переход к многоячейковому режиму (рис.6).



Таблица 2. Зависимость температур внутренней поверхности однокамерного стеклопакета от ширины межстекольного пространства

Ширина межстекольного пространства	Температура на внутренней поверхности стеклопакета		Коэффициент $\Theta \times 10^3$
	в центральной зоне $\tau_{ц}$, °С	в нижней краевой зоне τ_{min} , °С	
8	4,7	1,9	70
10	5,4	3,1	58
12	6,2	1,3	123
14	6,2	1,5	118
16	6,3	1,3	118
20	6,3	0,8	138

В таблице № 2 представлены значения температур на внутренней поверхности однокамерных стеклопакетов из обычного стекла.

Таблица 3. Сводная таблица результатов расчета замкнутых прослоек при различных газовых заполнениях

Тип газового заполнения	Температура внутренней поверхности, °С		$\Theta \times 10^3$
	τ_{min}	$\tau_{ц}$	
4-8-4			
воздух	1,9	4,7	70
аргон	4,4	5,8	35
криптон	4,3	7,1	70
4-14-4			
воздух	1,5	6,2	118
аргон	2,6	6,8	105
криптон	3,7	7,5	95
4-20-4			
воздух	0,8	6,3	138
аргон	2,2	7,1	123
криптон	4,3	6,2	48

Режим течения воздуха в прослойке существенно влияет на температурный режим краевой зоны, но распределение температуры в нижней части прослойки имеет различный характер. Наилучшие результаты наблюдаются при ширине межстекольного пространства от 8 до 10 мм (рост температуры в краевой зоне составляет от 1,9 до 3,1°). При дальнейшем увеличении межстекольного пространства происходит падение температуры поверхности - до 0,8° при $\delta = 20$ мм.

Необходимо отметить, что представленные расчеты выполнены без учета теплопроводности по дистанционным рамкам и герметику, и характеризуют идеальную картину - влияние конвекции на температурный режим остекления в чистом виде.

Определенный интерес представляет вопрос о влиянии на температурный режим краевых зон стеклопакетов заполнения межстекольного пространства инертными газами - аргоном, криптоном и др.

Результаты расчетов, представленные в таблице 3, для прослойки шириной 8 мм показывают, что при использовании криптона температура в краевой зоне может быть повышена ~ на 2,5 °С по сравнению с заполнением осушенным воздухом. В центральной части наблюдается рост температуры внутренней поверхности соразмерно значению коэффициента теплопроводности газа.

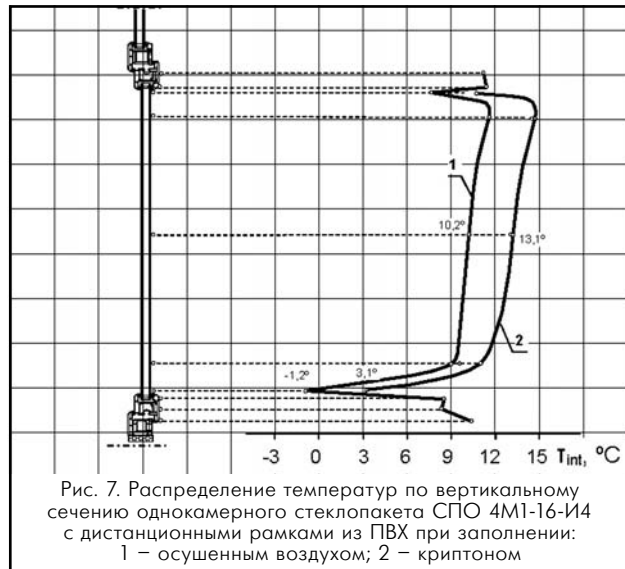


Рис. 7. Распределение температур по вертикальному сечению однокамерного стеклопакета СПО 4М1-16-И4 с дистанционными рамками из ПВХ при заполнении: 1 - осушенным воздухом; 2 - криптоном

Полученные результаты расчетов подтверждают результаты испытаний в климатической камере (рис. 7). Для однокамерного стеклопакета с дистанционными рамками из ПВХ, мягким низкоэмиссионным покрытием внутренней поверхности стекла при заполнении межстекольного пространства криптоном наблюдается повышение температуры в нижней краевой зоне ~ на 4,3 °С. Соответственно коэффициент относительного температурного перепада уменьшился от $\Theta^{возд.} = 242$ до $\Theta^{Kr} = 214$. Полученные результаты объясняются особенностями конвективного теплообмена: в прослойках малой ширины перенос тепла определяется преимущественно теплопроводностью газового заполнения. По мере увеличения ширины межстекольного пространства, начинается развитие конвективных течений с переходом на многоячейковый режим, и соответственно увеличение теплообмена и понижение температуры в нижней зоне.

Заключение. Использование дистанционных рамок из ПВХ, «TPS», «Swiggle Strip» и т.п. позволяет повысить температуру в краевых зонах на 4 - 5°, но не дает полного решения проблемы краевых зон, особенно в однокамерных стеклопакетах. Даже при использовании стекол с низкоэмиссионным покрытием, нормативные требования по ограничению температуры остаются невыполнимыми. Конвекция воздуха в межстекольном пространстве является важнейшим фактором в формировании температурного режима краевых зон стеклопакета. Уменьшение конвективного теплообмена в стеклопакетах возможно при заполнении межстекольного пространства инертными газами. Причем наибольший эффект имеет место при расстоянии между стеклами 10 - 12 мм и заполнении межстекольного пространства криптоном.

Литература

1. СНиП 23-02-2003. Тепловая защита зданий // Госстрой России.-М.:ФГУП ЦПП, 2004. - 26 с.
2. ГОСТ 24866-99. Стеклопакеты клееные строительного назначения // Госстрой России, ГУП ЦПП, 2000. - 38 с.
3. Кривошеин А.Д., Пахотин Г.А. Результаты испытаний теплового режима стеклопакетов с дистанционными рамками типа «Swiggle Strip», «TPS», «Thermix»// ИБ «Окна и двери», №10. - 1999. - С.21-24.
4. Мурадян М.Б. и др. Некоторые новые тенденции развития производства современных клееных стеклопакетов / Мурадян М.Б., Саркисов М.М., Спиридонов А.В., Морозов А.М. // Окна и двери.-2001.-№ 3.-с. 32-36.
5. Спиридонов А.В. и др. Три или два? Или еще раз о современных стеклопакетах // Светопрозрачные конструкции. 2002. №5-6 - с. 84-88.
6. Кривошеин А.Д., Харламов Д.А. К вопросу об улучшении температурного режима современных окон в краевых зонах // Светопрозрачные конструкции. 2005.- №1.- с.10-14.
7. Квель И. Малая деталь с большим значением // BauelementeBAU. 2/2005. Выпуск 18.-с.55-59.