

## ТЕМПЕРАТУРНЫЙ РЕЖИМ СОВРЕМЕННЫХ ОКОН В КРАЕВЫХ ЗОНАХ

Конструктивные решения современных оконных блоков в одинарных переплетах с применением стеклопакетов в последнее время все чаще подвергаются критике в связи с так называемой проблемой «краевых зон» - резким понижением температуры поверхности остекления по периметру стеклопакета и, прежде всего, в его нижней части (рис.1).

Выпадение конденсата на остеклении, пусть даже и узкой полоской, стекающего на подоконник, изморозь и наледи на стекле в холодный период года вызывают закономерные и вполне обоснованные нарекания потребителей.

Все жестче становятся и требования нормативных документов. Согласно СНиП 23-02-2003 «Тепловая защита зданий» минимальная температура внутренней поверхности оконного блока не должна опускаться ниже  $+3\text{ }^{\circ}\text{C}$  - при расчетной температуре наружного воздуха. Территориальные строительные нормы по энергосбережению в зданиях, введенные в действие в большинстве регионов РФ, как правило, либо подтверждают эти требования, либо устанавливают еще более жесткие показатели. В настоящее время, любой покупатель окна с одинарными переплетами (неважно из ПВХ или клееной древесины), при появлении изморози на остеклении и недовольный своим приобретением, через суд может добиться признания такого конструктивного решения не соответствующим требованиям действующих нормативных документов, потребовать замены оконных блоков и компенсации своих издержек.

С необходимостью решения проблемы «краевых зон» в настоящее время столкнулись производители окон самых различных конструкций: из ПВХ, клееной древесины, алюминия. И не только в нашей стране. Это явление имеет место практически в любых климатических условиях, однако в районах с низкими температурами наружного воздуха в холодный период года, которыми отличается Россия, проявляется особенно ярко. И если в Европе эта проблема рассматривается в основном с точки зрения энергосбережения (сокращения теплопотерь через стеклопакеты в краевых зонах), что само по себе не столь уж и существенно в тепловом балансе здания, то в суровых климатических условиях на первый план выходит обеспечение санитарно-гигиенических требований.

Естественно возникает вопрос – как решать эту проблему? Переходить на изготовление оконных блоков со спаренными или раздельными переплетами (стекло плюс стеклопакет) либо искать пути улучшения температурного режима краевых зон стеклопакетов в одинарных переплетах?

Специализированные журналы «Светопрозрачные конструкции» (см. №5-6 2002, №4 2001), «Окна и двери» (№5, №10 1999), уже неоднократно обращались к различным аспектам этой проблемы.

В данной статье сделана попытка обобщения результатов исследований по улучшению температурного режима современных окон в краевых зонах, выполненных сотрудниками кафедры «Городское строительство и хозяйство», испытательного центра «Стройтест-СибАДИ» (г.Омск), с оценкой эффективности некоторых технических решений, реализация которых возможна уже в настоящее время.



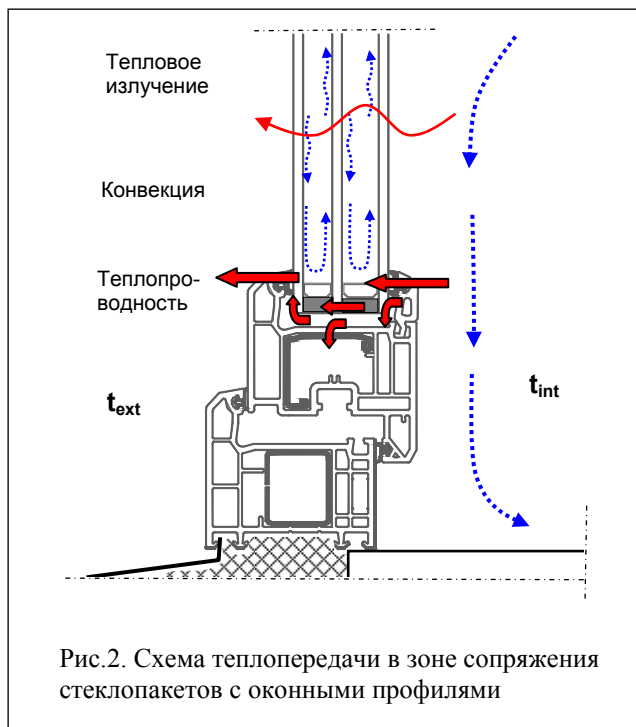
Рис.1. Выпадение конденсата (а) и образование наледей (б) на поверхности стеклопакетов в краевых зонах

### Особенности теплопередачи в краевых зонах стеклопакетов

Температурный режим в зоне сопряжения стеклопакетов с переплетами формируется в результате совместного протекания ряда процессов: передачи тепла через дистанционные рамки, герметик, штапики, стекло и пр. - теплопроводностью, переноса тепла за счет перемещения и перемешивания воздуха (или смеси газов) внутри воздушных прослоек - конвекцией, теплового излучения (рис.2).

В большинстве публикаций по данной теме понижение температуры внутренней поверхности остекления в краевых зонах принято связывать, прежде всего, с материалом дистанционных рамок. Применяемые большинством изготовителей стеклопакетов дистанционные рамки из алюминия харак-

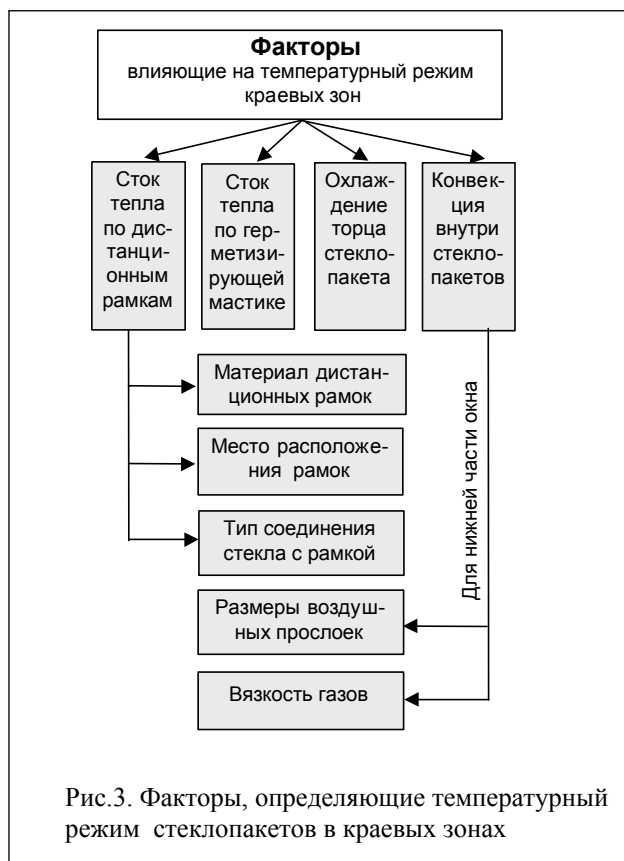
теризуются достаточно большим коэффициентом теплопроводности ( $\lambda = 200-220 \text{ Вт/(м} \cdot \text{°C)}$ ). И, казалось бы, стоит заменить их на рамки из нержавеющей стали ( $\lambda = 14-20 \text{ Вт/(м} \cdot \text{°C)}$ ) или ПВХ ( $\lambda = 0,16 \pm 0,20 \text{ Вт/(м} \cdot \text{°C)}$ ) и проблема решена. Уменьшение коэффициента теплопроводности почти в 1000 раз, например при замене алюминия на ПВХ, должно бы дать и соответствующий эффект. И в некоторых публикациях эта мысль проводится. Однако, к сожалению, далеко не все так просто.



На температурный режим краевых зон оказывает влияние комплекс взаимосвязанных факторов (рис.3):

- коэффициент теплопроводности и размеры дистанционных рамок;
- герметик стеклопакетов (сток тепла идет не только по дистанционным рамкам, но и по слою герметика);
- уменьшение притока тепла к стеклу, закрытому штапиком (охлаждение торца стеклопакета);
- расположение дистанционных рамок относительно штапика (заглубление стеклопакета в профиле);
- конвекция воздуха в воздушных прослойках, которая в свою очередь зависит от ширины и высоты воздушных прослоек, свойств воздуха или газа, заполняющего стеклопакет, температур на поверхностях стеклопакета и пр.); именно охлаждение конвективным потоком воздуха нижней части стеклопакетов и обуславливает, прежде всего, выпадение конденсата в нижней части остекления.

На эти процессы накладывается еще и движение воздуха в приоконной зоне – воздух из помещения соприкасается с более холодной поверхностью остекления и, охлаждаясь, опускается вниз. Градиент температур по высоте оконной ниши может составлять до  $6 \text{ °C}$  – в зависимости от глубины оконной ниши, типа и расположения отопительных приборов.



В качестве примера на рис.4 представлено распределение температур по вертикальному и горизонтальному сечениям оконных блоков различного конструктивного решения – в одинарных переплетах из поливинилхлоридных профилей с двухкамерными стеклопакетами (по ГОСТ 30674-99) и деревянных в раздельно-спаренных переплетах с тройным листовым остеклением (по ГОСТ 11214-2003). Сопоставление распределения температур отчетливо показывает наличие локальных понижений в местах сопряжения стеклопакетов с одинарными переплетами – вследствие повышенного стока тепла на участках расположения дистанционных рамок (особенно отчетливо это видно при сравнении горизонтальных сечений), но в то же время имеет место и общее понижение температуры остекления вследствие конвекции внутри воздушных прослоек (даже при листовом остеклении в раздельных переплетах понижение температуры в нижней зоне по сравнению с центральной частью остекления составляет несколько градусов).

### Критерии оценки температурного режима краевых зон

Наиболее простой и очевидный подход к оценке температурного режима краевых зон – по разности температур в центральной термически однородной зоне -  $\tau_0$  и минимальной -  $\tau^{\min}$  в краевой зоне остекления -  $\Delta\tau = \tau_0 - \tau^{\min}$ .

Однако такой подход позволяет проводить оценку стеклопакетов лишь при одинаковых граничных условиях (неизменных температурах и коэффициентах теплоотдачи поверхностей окружающего воздуха).

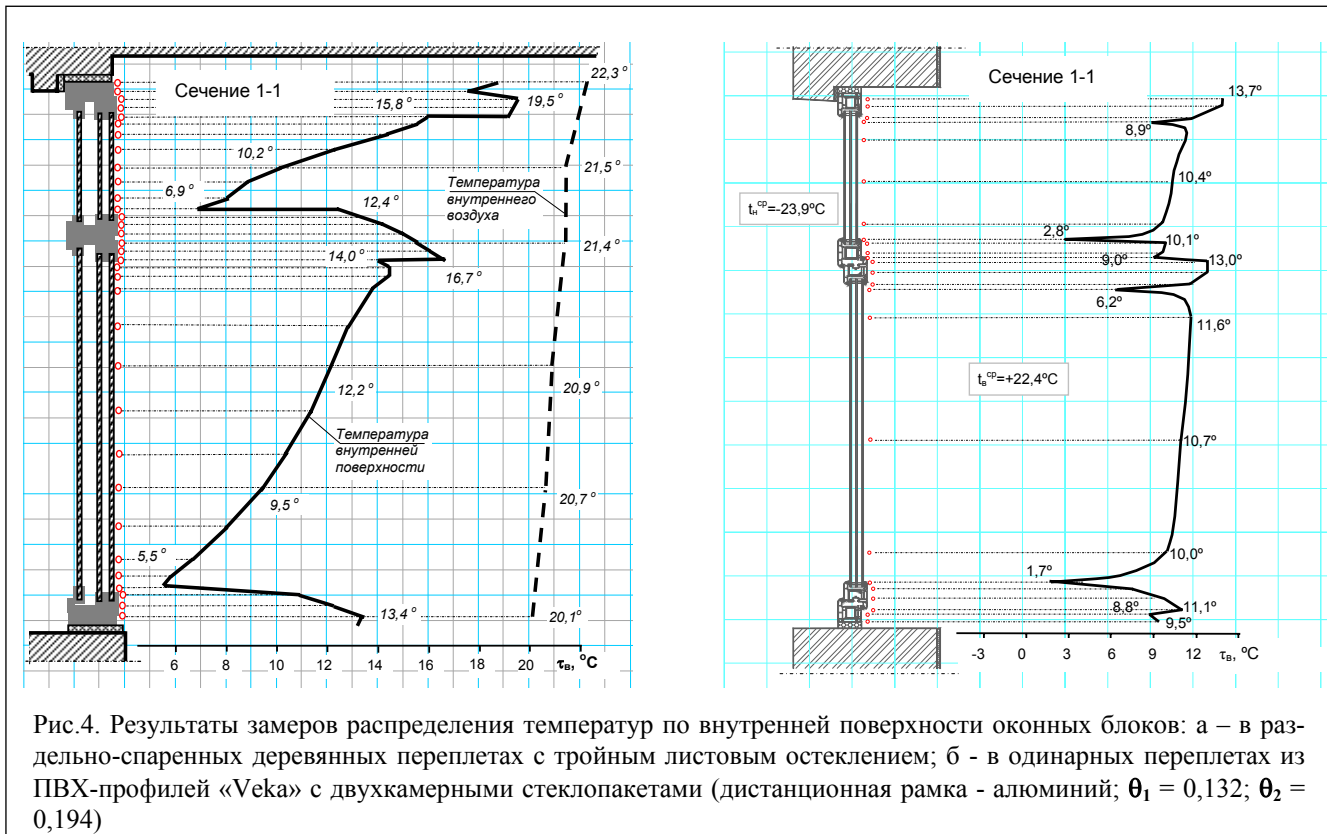


Рис.4. Результаты замеров распределения температур по внутренней поверхности оконных блоков: а – в раздельно-спаренных деревянных переплетах с тройным листовым остеклением; б - в одинарных переплетах из ПВХ-профилей «Века» с двухкамерными стеклопакетами (дистанционная рамка - алюминий;  $\theta_1 = 0,132$ ;  $\theta_2 = 0,194$ )

В качестве универсального показателя предлагается введение коэффициента относительного температурного перепада  $\theta$

$$\theta = \Delta\tau / (t_{int} - t_{ext}),$$

где  $t_{int}$  – средняя температура внутреннего воздуха в помещении, °С;  $t_{ext}$  - температура наружного воздуха, °С.

Величина  $\theta$  характеризует степень изменения (неравномерности) температуры внутренней поверхности остекления относительно центральной термически однородной зоны.

В связи с тем, что понижение температуры поверхности остекления имеет место как по горизонтали, так и вертикали, величина  $\theta$  также предлагается определять (рассчитывать) для горизонтального  $\theta_1$  и вертикального  $\theta_2$  сечений.

Например, для двухкамерного стеклопакета из обычного стекла (4M<sub>1</sub>-12-4M<sub>1</sub>-12-4M<sub>1</sub>) с дистанционными рамками из алюминия (см. рис.4) при температуре наружного воздуха  $t_{ext} = -23,9$  °С, температуре внутреннего воздуха  $t_{int} = +22,4$  °С, температура в центральной части остекления составляет  $\tau_0 = 10,7$  °С, минимальная температура по горизонтальному сечению составляет  $\tau_1^{min} = +4,6$  °С, минимальная температура в нижней части остекления  $\tau_2^{min} = +1,7$  °С, соответственно  $\theta_1 = (10,7 - 4,6) / [22,4 - (-23,9)] = 0,132$ ,  $\theta_2 = (10,7 - 1,7) / [22,4 - (-23,9)] = 0,194$ .

Сопоставление величин  $\theta_1$  и  $\theta_2$  позволяет, кроме всего прочего, проводить оценку степени влияния на температурный режим стеклопакета конвекции воздуха в воздушных прослойках.

#### Оценка влияния на температурный режим краевых зон материала дистанционных рамок

Известны и применяются для изготовления стеклопакетов дистанционные рамки из алюминия

или его сплавов, оцинкованной или нержавеющей стали, твердого ПВХ (производство которых в России открыто ЗАО «БФК»), рамки с термовставками, рамки типа «Termix», «Swiggle Strip» (производства «Tremco»), «Super Speiser» (производства «Edgetech IG»). Кроме того известна и уже достаточно широко применяется технология изготовления стеклопакетов без дистанционных рамок в традиционном понимании этого слова – так называемая технология «Thermo Plastic Speiser» (в Сибири линия производства стеклопакетов «TPS» установлена в ООО «Сургутмебель»). Характеристика и внешний вид некоторых дистанционных рамок представлен в таблице 1.

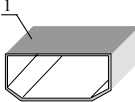
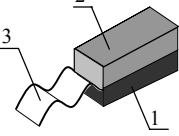
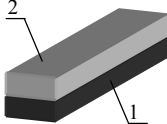
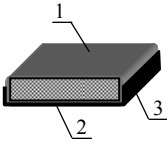
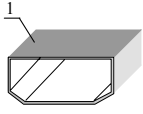
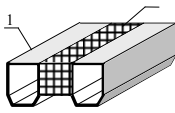
В настоящее время подавляющее большинство изготовителей стеклопакетов сориентировано на применение дистанционных рамок из алюминия или его сплавов, что обусловлено, прежде всего, простой обработкой, хорошим внешним видом, достаточно большим сроком службы, относительно невысокой стоимостью. Однако, при изготовлении стеклопакетов с дистанционными рамками из алюминия по периметру стеклопакетов образуется, так называемый, «мостик холода», по которому идет повышенный сток тепла. Особенно негативно этот «мостик холода» сказывается при расположении дистанционных рамок на уровне штапика (при нулевом заглублении) и изготовлении стеклопакетов с применением двухстороннего скотча.

Оценка влияния материала дистанционных рамок на температурный режим стеклопакетов представлена на рис.5 в виде зависимости относительного температурного перепада  $\theta_1$  от коэффициента теплопроводности материала рамки  $\lambda$ . Результаты сравнительных расчетов и испытаний стеклопакетов

с дистанционными рамками различного конструктивного решения представлены в таблице 2.

Таблица 1

Характеристика некоторых дистанционных рамок

Эскиз	Характеристика материала	Коэффициент теплопроводности, Вт/(м·°С)
 <p>Металлическая рамка</p>	Алюминий Оцинкованная сталь Нержавеющая сталь	~200÷220 ~58 ~14÷20
 <p>«Swiggle Strip»</p>	1 – герметик 2 – слой с осушителем 3 – алюминиевая лента	~ 0,4÷0,5 ~ 0,3÷0,4 ~200÷220
 <p>«Thermo Plastic Spacer» (TPS)</p>	1 – герметик 2 – слой с осушителем	~ 0,4÷0,5 ~ 0,3÷0,4
 <p>«Super Speiser»</p>	1 – вспененный герметик с осушителем 2 – алюминиевая лента 3 – клеевая полоса	~ 0,4÷0,5 ~ 0,3÷0,4 -
 <p>Рамка из ПВХ (ЗАО «БФК»)</p>	Твердый ПВХ	~0,16÷0,18
 <p>Рамка с термовставкой</p>	1 – алюминий 2 – термовставка из пластмассы	~200÷220 ~0,16÷0,18

Анализ результатов расчетов позволил сделать следующие выводы:

- коэффициент теплопроводности материала дистанционных рамок оказывает влияние на температурный режим краевых зон, однако его влияние ограничено стоком тепла по герметизирующей мастике, охлаждением торца стеклопакета и пр., и становится заметным лишь при использовании материалов с коэффициентом теплопроводности  $\lambda < 1,0$  Вт/(м·°С);

- переход от алюминия к оцинкованной или нержавеющей стали малоэффективен; несмотря на

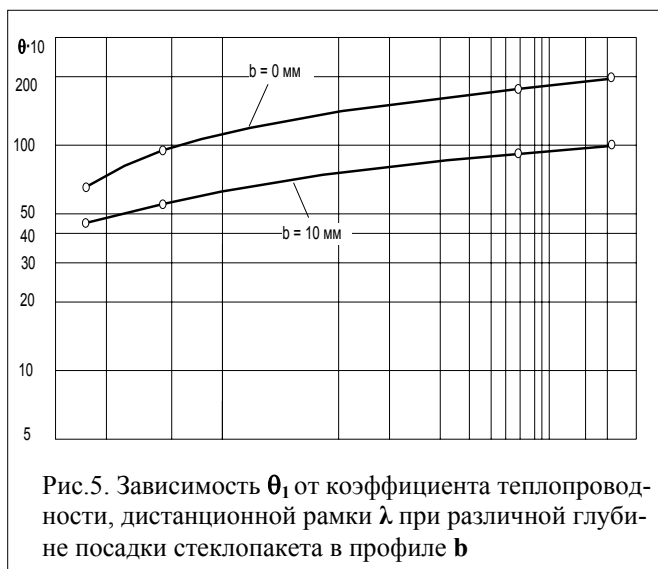


Рис.5. Зависимость  $\theta_1$  от коэффициента теплопроводности, дистанционной рамки  $\lambda$  при различной глубине посадки стеклопакета в профиле  $b$

Таблица 2

Результаты расчета (в числителе) и испытаний (в знаменателе) температурного режима краевых зон стеклопакетов с дистанционными рамками различного конструктивного решения

Характеристика дистанционной рамки	Величина $\theta_1$ для стеклопакета	
	однокамерный (4M <sub>1</sub> -16-4M <sub>1</sub> )	двухкамерный (4M <sub>1</sub> -14-4M <sub>1</sub> -14-4M <sub>1</sub> )
Алюминий	0,126 0,114	0,190 0,132*
Оцинкованная сталь	0,100 -	0,179 -
Нержавеющая сталь	0,082 -	0,146 -
«Swiggle Strip»	0,084 0,076	0,130 -
«Thermo Plastic Spacer» (TPS)	0,060 0,072	0,092 0,088
«Super Speiser»	0,036 -	0,072 -
Рамка с термовставкой	0,088 0,078	0,138 -
Рамка из ПВХ (ЗАО «БФК»)	0,038 -	0,076 0,042*

\* получено при испытаниях стеклопакета с заглублением дистанционной рамки на 7 мм относительно грани штапика

то, что коэффициент теплопроводности материала снижается в десять с лишним раз, относительный температурный перепад  $\theta_1$  изменяется всего лишь на 15-20%;

- наилучшие результаты получаются при использовании дистанционных рамок из твердого ПВХ, «TPS» или «Super Speiser»; эффективность этих дистанционных рамок приблизительно одинакова и позволяет повысить минимальную температуру в зоне сопряжения стеклопакетов с переплетами на 2,5 – 3,5 °С (при замене алюминия на ПВХ величина  $\theta_1$  уменьшается с 0,190 до 0,076, то есть на 60%);

- применение дистанционных рамок из ПВХ, «TPS» или «Супер Спейсер» особенно эффективно в стеклопакетах с низкоэмиссионным покрытием внутреннего стекла (низкоэмиссионное покрытие обеспечивает улучшение теплового режима светопрозрачной части стеклопакета за счет уменьшения отдачи тепла тепловым излучением, однако в крайних зонах наличие мостиков холода в виде дистанционных рамок обуславливает сток тепла за счет теплопроводности, не зависящей от покрытия, что и приводит к снижению температуры);

- в однокамерных стеклопакетах из обычного стекла влияние материала рамок на температурный режим остекления, вследствие низкой температуры поверхности остекления, более существенно, чем в двухкамерных.

В качестве примера, иллюстрирующего приведенные цифры, на рис.6 показаны результаты испытаний в климатической камере оконного блока с дистанционными рамками из ПВХ.

### Оценка эффективности заглубления стеклопакета в профиле

Одним из эффективных и наиболее доступных способов улучшения температурного режима стеклопакетов в крайних зонах является их заглубление в оконном профиле. По этому пути уже пошли многие производители оконных профилей.

Эффективность заглубления в профиле обусловлена, прежде всего, увеличением пути для прохождения теплового потока (см. рис.2) и, кроме того, частичным подогревом воздуха, циркулирующего в воздушной прослойке - за счет теплообмена с прилегающими элементами профилей.

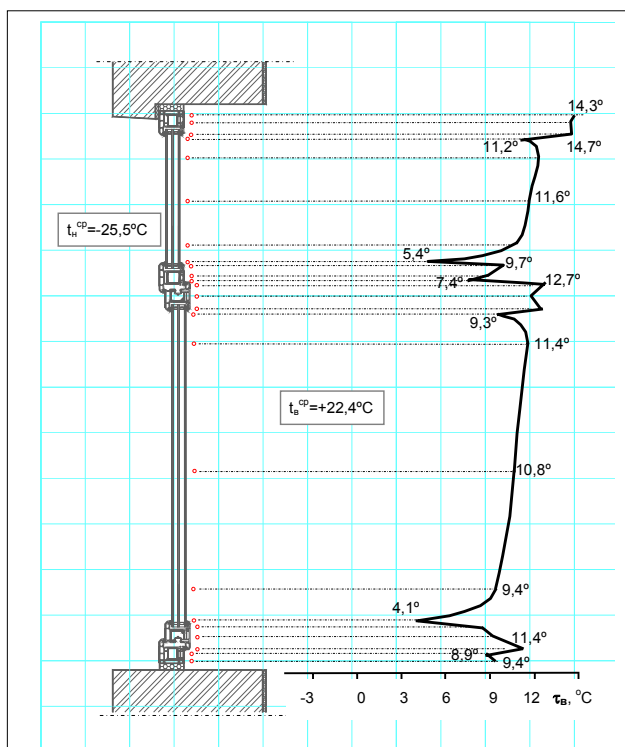


Рис.6. Распределение температур по внутренней поверхности оконного блока из ПВХ-профилей «Века» с двухкамерными стеклопакетами (дистанционная рамка - твердый ПВХ производства ЗАО «БФК»);  $\theta_1 = 0,042$ ;  $\theta_2 = 0,140$ )

Оценка сравнительной эффективности заглубления стеклопакетов представлена на рис.7 в виде зависимости  $\theta_1$  от величины  $b$  - расстояния от грани штапика до внешней поверхности дистанционной рамки.

Результаты испытаний и расчетов показывают:

- при заглублении стеклопакетов с дистанционными рамками из алюминия - на расстояние до 16 мм от грани штапика повышение минимальной температуры внутренней поверхности может составлять до 4 °С; величина  $\theta_1$  при этом может уменьшаться от 0,20 до 0,10;

- наибольший эффект отмечается при заглублении стеклопакетов с дистанционными рамками из алюминия; это объясняется тем, что при рамках из ПВХ определяющее влияние на температурный режим крайних зон оказывают уже не столько материал рамок, сколько теплопроводность герметизирующего слоя, охлаждение торца стеклопакета и др. факторы.

Результаты экспериментальной проверки этого решения представлены на рис.8 - в виде распределения температур по горизонтальному сечению оконного блока из ПВХ-профилей с двухкамерным стеклопакетом при различной степени его заглубления.

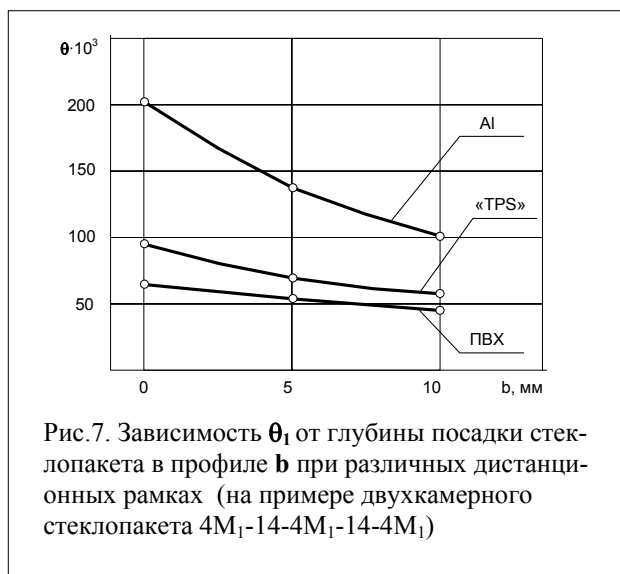


Рис.7. Зависимость  $\theta_1$  от глубины посадки стеклопакета в профиле  $b$  при различных дистанционных рамках (на примере двухкамерного стеклопакета 4M<sub>1</sub>-14-4M<sub>1</sub>-14-4M<sub>1</sub>)

### Оценка влияния конвекции внутри стеклопакетов

Анализ результатов испытаний и сопоставление коэффициентов  $\theta_1$  и  $\theta_2$  свидетельствует о том, что перемещение воздуха внутри стеклопакетов является одним из важнейших факторов, определяющих температурный режим. Даже при использовании дистанционных рамок из ПВХ или «Super Sпейсер» ( $\theta_1 \rightarrow 0$ ) величина  $\theta_2$  остается достаточно большой. Охлаждение нижней части однокамерного стеклопакета за счет конвекции воздуха в прослойке ограничивает область его применения даже при использовании низкоэмиссионного стекла и дистанционных рамок с низким коэффициентом теплопроводности.

Сопоставление результатов расчетов и испытаний стеклопакетов с дистанционными рамками различного конструктивного решения позволило ори-

ентировочно определить степень влияния отдельных конструктивных параметров на величину  $\theta_2$ :

- для двухкамерного стеклопакета из обычного стекла с дистанционными рамками из алюминия: доля влияния дистанционных рамок – 25-30%, герметика стеклопакета – 5-8%, заглубления рамок относительно штапика – 15-20%, конвективного теплопереноса – 40-60%;

- для однокамерного стеклопакета с низкоэмиссионным покрытием внутреннего стекла: доля дистанционных рамок – 30-35%, герметика стеклопакета – 6-9%, заглубления рамок относительно штапика – 15-20%, конвективного теплопереноса – до 50-60%.

Соответственно и изменение (улучшение или ухудшение) температурного режима стеклопакета в зависимости от того или иного фактора, может быть лишь в пределах влияния этого фактора. В этой связи необходимо подчеркнуть, что кардинальное решение проблемы краевых зон может быть только комплексным.

Исследования температурного режима стеклопакетов с заполнением прослоек вязкими инертными газами (криптоном или ксеноном), применение стеклопакетов с узкими воздушными прослойками и ряд других решений свидетельствуют о возможности дальнейшего повышения температуры внутренней поверхности в нижней зоне на 2,0 - 2,5 °С и выравнивании коэффициентов  $\theta_1$  и  $\theta_2$ .

Детальное изложение результатов этих исследований - тема отдельной статьи.

### Заключение

Применение дистанционных рамок из твердого ПВХ, «Super Speiser» или «TPS» позволяет существенно улучшить температурный режим стеклопакетов в краевых зонах и в сочетании с заглублением стеклопакетов в оконных профилях в состоянии обеспечить выполнение требований СНиП 23-02-2003 по минимальной температуре внутренней поверхности в климатических районах с расчетной температурой наружного воздуха до минус 30 °С.

Для дальнейшего улучшения температурного режима в краевых зонах, в том числе расширения области применения однокамерных стеклопакетов с низкоэмиссионным покрытием стекла, необходимо решение задачи уменьшения конвективного теплопереноса в воздушных прослойках.



Рис.8. Распределение температур по горизонтальному сечению окна из ПВХ-профилей со стеклопакетом 4М<sub>1</sub>-12-4М<sub>1</sub>-8-4М<sub>1</sub> при различном заглублении стеклопакета в фальце оконной коробки; материал дистанционной рамки – алюминий.