

научно-технический журнал

ВЕСТНИК



МГСУ

2/2011
Т.2



материалы оборудование технологии

Научно-технический журнал Вестник МГСУ

ПЕРИОДИЧЕСКОЕ НАУЧНОЕ ИЗДАНИЕ

№2/2011

Т. 2

Москва

КЛИМАТИЧЕСКАЯ НАГРУЗКА НА СТЕКЛОПАКЕТЫ

CLIMATE LOAD ON IGU

П. В. Стратий, И. В. Борискина, А. А. Плотников

P. V. Stratiy, I. V. Boriskina, A. A. Plotnikov

ГОУ ВПО МГСУ

В статье рассмотрены вопросы влияния климатической нагрузки на стеклопакет, которая приводит к деформации стекол в пакете, оптическим искажениям фасада, а также нарушению герметичности и, в некоторых случаях, разрушению стекол пакета.

This article contains information about the impact of climate load on insulating glass unit, which leads to deformation of IGU, optical distortion of a facade as well as violation of integrity and, in some cases, the destruction of IGU.

Стеклопакет, с так называемым «двойным контуром герметизации» применяется для остекления большинства современных зданий и представляет собой объемное изделие, состоящее из двух или трех листов стекла, соединенных между собой по контуру с помощью дистанционных рамок и герметиков, которые образуют герметически замкнутые камеры, заполненные осушенным воздухом или другим газом [3]. Конструкция однокамерного стеклопакета представлена на рис 1.

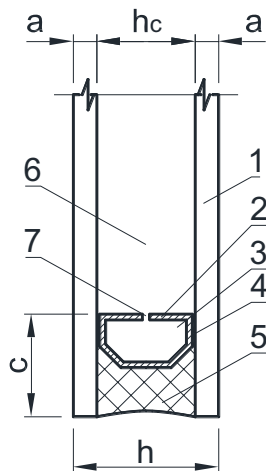


Рис 1. Конструкция однокамерного стеклопакета
1 – стекло; 2 – дистанционная рамка (спейсер); 3 – внутренняя полость спейсера, заполняемая влагопоглотителем; 4 – нетвердеющий герметик; 5 – отверждающийся герметик; 6 – воздушная прослойка (межстекольное расстояние); 7 – дегидратационные отверстия (перфорация); a – толщина стекла; h – толщина стеклопакета; h_c – расстояние между стеклами; c – ширина герметизирующего слоя.

Однако стеклопакет имеет ряд недостатков, основным из которых является деформации стекол, вызывающие оптические искажения и влияющие на архитектурный облик здания. Рис 2.



Рис 2. Сильные оптические искажения в остеклении здания банка, г. Розенхайм

А при достижении величины деформаций слишком больших значений, также не редкость разрушение стекол пакета. Причиной этих деформаций является климатическая нагрузка на стеклопакеты.

Отличительной особенностью стеклопакета от других видов остекления является герметичность воздушной прослойки между стеклами. Она является причиной высоких теплотехнических показателей стеклопакета, однако имеет некоторые «побочные эффекты»: во время производства СП, его заполняют осушенным воздухом и герметизируют. Внутри СП создается замкнутая среда с тем давлением и температурой, которые были в месте производства на момент герметизации. В дальнейшем, при хранении, транспортировании и эксплуатации стеклопакета, температура и давление окружающей среды изменяются. Изменение наружной температуры влечет за собой изменение внутренней температуры газа в СП и атмосферного давления снаружи, создает разницу давлений, которая воздействует на стекла СП и деформирует их (рис. 3).

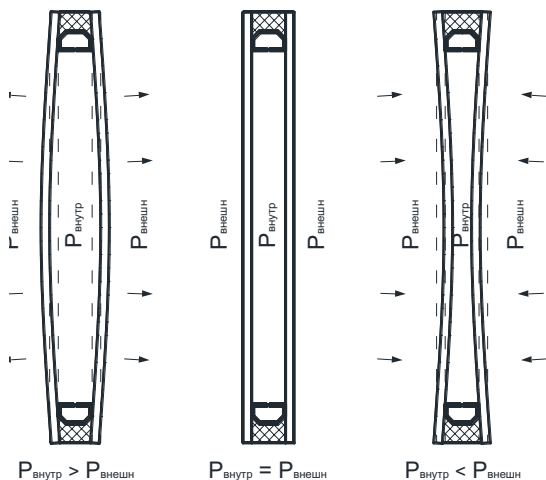


Рис 3. Деформации стеклопакета под действием климатических нагрузок

Так, согласно определениям европейских нормативных документов, под климатической нагрузкой, действующей на стеклопакет, понимается положительное или отрицательное избыточное давление (по сравнению с атмосферным), возникающее во внутренней герметичной камере при изменении атмосферного давления и температуры наружного воздуха.

Любой газ в замкнутом объеме можно рассматривать как термодинамическую систему. По закону Менделеева-Клапейрона это выражается:

$$P \cdot V = T \quad (1)$$

где P – давление газа;

V – объем газа;

T – абсолютная температура газа.

При изменении атмосферного давления и температуры приходится соответственное изменение объема воздушной прослойки, которая реализуется через прогиб стекол:

$$\frac{P_1}{P_2} = \frac{V_1}{V_2} \text{ и } \frac{T_1}{T_2} = \frac{V_1}{V_2} \quad (2)$$

где P_1 , T_1 и V_1 – значения соответствующие начальному (при изготовлении и герметизации стеклопакета) состоянию газа в СП;

P_2 , T_2 и V_2 – значения состояния газа в СП в расчетный момент времени.

Оценим изменение объема воздушной прослойки в климатических условиях Московского региона. Температура может изменяться от 20 °С (293 °К) – при изготовлении, до -30 °С (243 °К) – при транспортировке конструкции, что составляет 17%. Атмосферное давление изменяется от 720 до 770 мм.рт.ст., что составляет 6,5%. К этому можно добавить уменьшение давления по высоте здания, что примерно составляет 1 мм.рт.ст. на 10 м высоты. На 30 этаже, при высоте 100 м это составляет еще 10 мм.рт.ст. или 1.3%. Таким образом, при сочетании неблагоприятных условий, изменение объема воздушной прослойки может достигнуть порядка 25%.

Рассмотрим данную климатическую нагрузку на примере круглого однокамерного стеклопакета, в котором отсутствуют напряжения в угловых зонах. Форму изгиба круглого стекла легко представить в виде сферического сегмента. Тогда объем газовой камеры равен:

$$V = \pi \cdot r^2 \cdot h \quad (3)$$

А изменение объема газовой камеры можно приблизительно вычислить как объем шарового сегмента по формуле:

$$\Delta V = \frac{\pi \cdot f}{6} \cdot (3 \cdot r^2 + f^2) \quad (4)$$

где r – радиус круга основания (радиус стеклопакета), м;

f – прогиб в центре пластины, м

При изменении объема СП с радиусом $R=0,6$ м и межстекольным расстоянием в 12 мм на 25%, верно следующее:

$$\begin{aligned} 25\% \cdot V &= \Delta V \\ 0,25 \cdot \pi \cdot r^2 \cdot h &= \frac{\pi \cdot f}{6} \cdot (3 \cdot r^2 + f^2) \\ \frac{0,25 \cdot \pi \cdot 0,6^2 \cdot 0,012}{2} &= \frac{\pi \cdot f}{6} \cdot (3 \cdot 0,6^2 + f^2) \end{aligned} \quad (5)$$

* - деление на 2 объясняется распределением объема между прогибами двух стекол в однокамерном СП.

Решив уравнение 5 относительно f , получим зависимость, показанную на граф. 1.

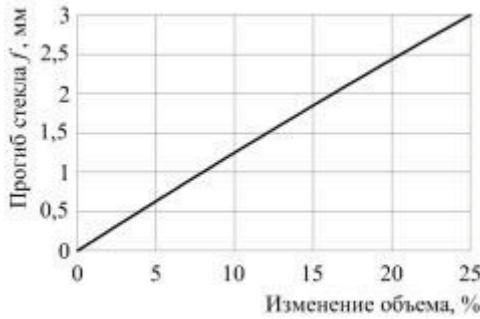


График 1. Зависимость прогиба стекол в СП с изменением объема

В предложенной расчетной модели не учитывается влияние жесткости стекла на прогиб пластины. Расчеты показали, что это влияние при малой толщине пластины (4 мм) и небольших прогибах (до 1/200) незначительно и составляет не более 5%.

Задавшись прогибом, можно вычислить нагрузку $q(f)$, приходящуюся на стекла и деформирующую их.

$$q(f) = \frac{64 \cdot f}{r^4 \cdot A} \quad (5)$$

где q – нагрузка на стекло, кН/м^2
 f – прогиб в центре круглой пластины, м;

r – радиус круглой пластины, м;

A – характеристическая жест-

кость стеклянной пластины;

$$A = \frac{(5+\nu)}{(1+\nu)} \cdot \frac{1}{D} \quad (6)$$

, где ν – коэффициент Пуассона, для стекла $\nu = 0,23$;

D – цилиндрическая жесткость пластины;

$$D = \frac{E \cdot t^3}{12 \cdot (1-\nu^2)} \quad (7)$$

, где E – модуль упругости (Юнга), для стекла $E = 7,3 \cdot 10^7 \text{ кН/м}^2$;

t – толщина стеклянной пластины, м.



График 2. Зависимость нагрузки на стеклянную пластину от прогиба

Соответственно нагрузка на круглую стеклянную пластину $R=0,6$ м; $t=4$ мм, с прогибом в центре до 3 мм, будет действовать (см. граф. 2):

$$q = \frac{64 \cdot f}{r^4} \cdot \frac{E \cdot t^3}{12 \cdot (1-\nu^2)} \cdot \frac{(1+\nu)}{(5+\nu)}$$

$$q = \frac{64 \cdot 0,003}{0,6^4} \cdot \frac{7,3 \cdot 10^7 \cdot 0,004^3}{12 \cdot (1-0,23^2)} \cdot \frac{(1+0,23)}{(5+0,23)} = 0,143 \text{ кН/м}^2$$

Для расчета и анализа деформаций стёкол пакета при учёте влияния климатических нагрузок на внешний облик сооружения, необходимо ввести характерный показатель искривления стеклянной пла-

стины. Установлено, что человек зрительно не замечает изгиба при соотношении $f/l \leq 1/200-1/300$. При превышении этого показателя, прогибы конструкций, а также оптические искажения становятся заметными при восприятии общей архитектурной эстетики здания. Эту границу можно считать пределом видимых искажений – **искажающей кривизной** стеклопакета.

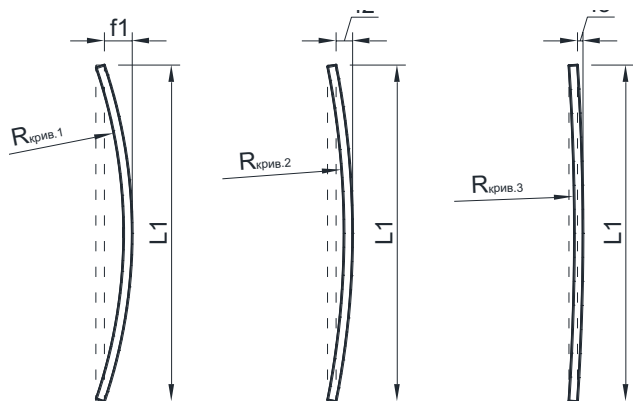


Рис 3. Радиус искажающей кривизны - $R_{крив}$

Физически более правильным критерием представляется **радиус искажающей кривизны** $R_{крив}$ стекла (рис. 3).

По предварительным данным, степень кривизны стекла в пакете можно разделить на 3 области: незаметные искажения при $R_{крив} > 50$ м; слабозаметные искажения при $50 \geq R_{крив} > 30$ м и сильнозаметные искажения при $R_{крив} \leq 30$ м.

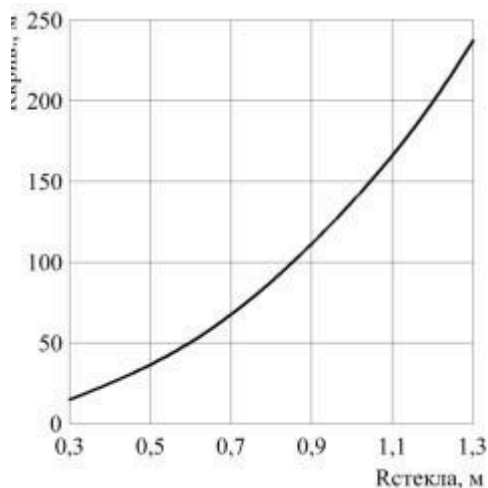


График 3. Зависимость радиуса искажающей кривизны от размеров СП

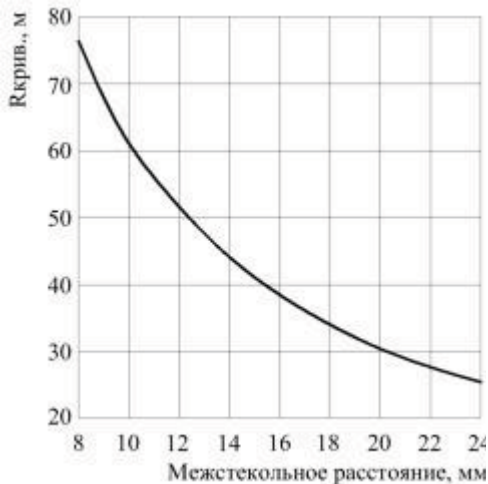


График 4. Зависимость радиуса искажающей кривизны от межстекольного расстояния

В рамках данного исследования был проведен анализ различных факторов и характеристик стеклопакета с точки зрения влияния их на видимые оптические искажения от климатических нагрузок.

Проведенные расчеты показали, что размер стеклопакета напрямую влияет на искажающую кривизну. Например, при прочих равных параметрах, увеличение радиуса стеклопакета $R_{стекла}$ с 0,3 до 1,3 метра увеличивает радиус кривизны $R_{крив}$ с критических 15 м до неразличимых 238 м (граф. 3).

Различные расстояния между стеклами также оказывают сильное влияние на искривление стекол в пакете (граф. 4).

Выводы

Предложена методика расчёта стеклопакетов на действие климатической нагрузки, которые, в отличие от обычных нагрузок, изменяют свое значение за счет изменения объема воздуха внутри стеклопакета.

При сочетании неблагоприятных условий изменение объема воздушной прослойки может достигнуть порядка 25% в климатических условиях Московского региона.

Выделен критерий теоретической оценки зрительных искажений стекол в СП – радиус искажающей кривизны стекла $R_{\text{искаж.крив.}}$, м. Расчетные значения прогибов стёкол были соотнесены с показателями геометрической кривизны стеклянных пластин для качественной оценки влияния тех или иных параметров.

Проведённые расчеты показали, что зрительные искажения, вызываемые климатической нагрузкой, в значительной степени зависят от геометрических размеров стеклопакета, межстекольного расстояния и толщин стекол.

Литература:

1. И. В. Борискина, А. А. Плотников, А. В. Захаров «Проектирование современных оконных систем гражданских зданий» Учебное пособие. Третье издание. С-П, изд-во «Выбор», 2008
2. В. И. Феодосьев «Сопротивление материалов» Десятое издание. МГТУ им. Баумана, М., 1999
3. Техническое руководство по проектированию плоского остекления (TRLV), Сентябрь 2005
4. DIN 1055 «Воздействия на сооружения»

Literature:

1. I. V. Boriskina, A. A. Plotnikov, A. V. Zaharov “Designing modern windows systems of civil buildings” Tutorial. 3rd edition. St.-P., Publishing of Choice, 2008
2. V. I. Feodos'ev “Resistance of materials” 10th edition. M., Publishing of MSTU n.a. Bauman, 1999
3. Technische Regeln für Verwendung von linienförmig gelagerten Verglasungen (TRLV), Entwurfsfassung September 2005
4. DIN 1055 “Action on structures”

Ключевые слова: Стеклопакет, деформации стеклопакета, разрушение стеклопакета, климатические нагрузки, расчет стеклопакета

Keywords: Insulating glass unit, IGU, deformation of IGU, destruction of IGU, climate load, climatic loads, calculation of IGU.

129337 г. Москва, Ярославское шоссе, 26, МГСУ,
кафедра «Архитектура гражданских и промышленных зданий»
Стратий Павел Васильевич Тел. 916 430-02-96 e-mail: limited@list.ru
Борискина Ирина Васильевна Тел. 985 920-84-29 e-mail: iraborisk@mtu-net.ru
Плотников Александр Александрович Тел. 903 722-34-59 e-mail: plaa@go.ru

Рецензент: Лауреат государственной премии СССР, к.ф.-м.н., доц. МГТУ им. Баумана Щуров А. Н.