

Королевство кривых зеркал, или Что отличает архитектурную идею красивого фасада от реальности



Леонид Лазебников
Игорь Щедрин
ООО «ПИК Групп», Киев

Представители среднего и старшего возраста хорошо помнят детский фильм «Королевство кривых зеркал». Если отбросить идеологическую подоплеку фильма, то все жители королевства смотрелись в кривые зеркала и никогда не могли увидеть настоящее отражение.



Park Inn



Почему вспомнился этот фильм? Прогуливаясь по Киеву, да и по другим городам не только нашей страны и рассматривая здания, в которых использованы современные архитектурные решения с применением крупноформатного фасадного остекления, ощущаешь себя жителем именно королевства кривых зеркал. Особенно это проявляется в последнее время, когда на рынок светопрозрачных систем буквально революционно ворвались стекла multifunctional назначения. При прекрасных теплотехнических характеристиках они имеют повышенную зеркальность, которая связана с многослойным напылением различных энергоэффективных слоев на основе различных металлов и их солей. Соответственно эти стекла по всем законам оптики начинают отражать окружающий мир, а если они имеют определенные искривления, то не только отражают, но и искажают эту самую окружающую действительность.

Оптические дефекты могут иметь технологическое происхождение при закаливании стекла, так называемый шифер, когда стекло при некорректно выбранной температуре в закалочной машине проседает на валах и принимает определенную синусоидальную форму. И тут уж ничем не поможешь. Такой вид брака имеет место в конструкциях низкой ценовой категории или временных конструкциях неответственного назначения и в последнее время встречается все реже, так как качество самих закалочных машин улучшается вместе с квалификацией персонала.

А вот об оптических дефектах, которые возникают как при сборке стеклопакетов, так и при их эксплуатации, поговорим более конкретно.

Оптические дефекты

Начнем со сборки стеклопакетов, выбора числа камер и того, как это все повлияет на оптику (а скажем по секрету, и на теплофизику).

Для определения геометрических параметров стеклопакетов был использован прибор английской ком-



пании MERLIN, позволяющий с помощью лазерного луча получать абсолютные значения толщин стекол, положения напыления, межстекольного расстояния в различных зонах стеклопакета.

Приведем несколько примеров значительных оптических искажений на стеклопакетах. Как видно на фото, значительные оптические искажения приводят к потере основного архитектурного требования — получения отражения без искажений. И остекленный фасад выглядит не столь презентабельно и пафосно, как ожидалось. Эти искажения видны уже при относительно небольших размерах стеклопакетов, а при увеличении их размеров, что является сегодня определенным трендом (архитекторы закладывают в проекты стеклопакеты площадью более 10 кв. м), оптические искажения, являющиеся результатом изменения межстекольного пространства, приводят к катастрофическим последствиям вплоть до «схлопывания» стекол в стеклопакете или их разрушения.



Безригельный фасад высотой 15 м



Бесстоечный фасад – стеклопакеты 10,2 кв. м

Почему же искажения

Специалистами компании «ПИК Групп» были проведены эмпирические и расчетные исследования причин оптических искажений как в стандартных стеклопакетах, так и в стеклопакетах повышенной жесткости (СПЖ), являющихся разработкой компании «ПИК Групп» и ориентированных на использование в светопрозрачных фасадных системах с крупноформатной фрагментацией.

Эффекты «линзования» и «схлопывания» стекла в стеклопакетах напрямую связаны с «климатической» (внутренней) нагрузкой. Под данной нагрузкой понимается повышенное или пониженное по сравнению с начальным (в момент изготовления) давление газа в стеклопакете. Изменение давления газа в стеклопакете обусловлено климатическими условиями эксплуатации стеклопакетов (температурой воздуха, изменением давления с высотой, колебанием барометрического давления).

В Европейских стандартах (EN) большое внимание уделено величине климатической нагрузки, а также необходимости ее учета в различных случаях. Согласно EN13474-1 климатическая нагрузка может достигать +20,4 кПа и -23,4 кПа. Эти показатели рассчитаны для европейских климатических условий. А при совокупности факторов внутренняя нагрузка в наших климатических условиях может достигать -33,7 кПа в зимний период и +20,8 кПа в теплое время года.

С момента герметизации стеклопакета внутренняя нагрузка оказывает давление на стекла и деформирует

их. По мере деформации стекол происходит изменение внутреннего объема. Изменение внутреннего объема связано с внутренним давлением и описывается уравнением Менделеева — Клапейрона. Поскольку при изменении объема и давления в данном случае температура изменяется незначительно, можно считать температуру константой. Следовательно, при увеличении внутреннего объема снижается внутреннее давление. То есть наличие деформаций влияет на величину нагрузки. Нагрузка воспринимается одновременно двумя способами. Часть нагрузки воспринимается за счет сопротивления стекол деформациям, а часть компенсируется за счет изменения объема газа при деформациях стекол.

Принято считать, что в обычных стеклопакетах ветровую нагрузку воспринимает только наружное стекло (внутренние стекла с точки зрения несущей способности являются «паразитными» и призваны влиять только на теплофизические характеристики стеклопакета), и при условиях шарнирного закрепления по всем сторонам стеклопакета данное утверждение справедливо. Идея стеклопакета повышенной жесткости (СПЖ) заключается в том, чтобы заставить «паразитные» внутренние стекла стеклопакета участвовать в общем сопротивлении ветровому потоку. Другими словами, обычный стеклопакет превращается из слоеного, где стекла могут свободно скользить друг относительно друга, в трубчатый, когда стекла жестко склеены между собой через усилительную дистанцию на основе профильных композитных решений и специальных высокоадгезивных клеевых составов. Таким образом, конструктивное увеличение жесткости стеклопакета достигается доработкой обычного стеклопакета путем замены объема вторичной герметизации на жестко вклеенный композитный профиль прямоугольного сечения.

Методы расчета напряженно-деформированного состояния стекол в обычном стеклопакете (например, SJ MEPLA) основаны на предположении о шарнирном закреплении кромок и не применимы для расчета СПЖ, производимых ООО «ПИК Групп», так как при расчете

СПЖ следует использовать практически жесткое закрепление. Однако в любом случае перед началом расчета стеклопакета следует рассчитать климатическую нагрузку — избыточное давление в стеклопакете.

На основании данных, полученных по методике расчета избыточного давления в стеклопакете, приведенной в статье А.Ю. Куренковой, А.В. Кузьменко и О.М. Куренковой «Формула стеклопакета для зданий повышенной этажности» (Инженерно-строительного журнал, № 8, 2011), определена статическая прочность стеклопакетов под воздействием климатической нагрузки для ОС и СПЖ и определено:

- Характер распределения напряжений в однокамерных стеклопакетах сильно различается: для обычных стеклопакетов (ОС) более нагруженными являются угловые зоны, а для стеклопакетов повышенной жесткости (СПЖ) — краевые зоны.
- Уровень напряжений во внутреннем стекле СПЖ выше, чем у ОС приблизительно на 20%, что подтверждает идею задействия внутреннего стекла в общее сопротивление нагрузке.
- Под воздействием климатической нагрузки у СПЖ наружное стекло (большей толщины) прогибается приблизительно на 20% меньше, чем у ОС, а внутреннее стекло (меньшей толщины) СПЖ прогибается приблизительно на 10% больше, чем у обычного стеклопакета.

Следовательно, уменьшения степени линзования можно достичь либо за счет увеличения толщины наружного стекла в ОС, либо за счет применения СПЖ.

Подтверждением этому являются фасадные системы от компании «ПИК Групп», в которых применены крупноформатные стеклопакеты повышенной жесткости.

Пониженный уровень линзования позволяет реальной конструкции соответствовать архитектурному решению и обеспечить отражение окружающей среды практически без видимых искажений.

Еще один важный фактор, который нельзя не отметить и который скрыт от глаз потребителя, — это технология сборки стеклопакетов.

Пример (Рис. 1): при обследовании одного из объектов было выявлено значительное уменьшение межстекольного пространства при температуре наружного воздуха 25 градусов. Это говорит только о том, что стеклопакет (достаточно большого размера — около 4 кв. м) собирали в горизонтальном положении без компенсации прогиба верхнего стекла. А что будет зимой? О какой теплофизике можно будет говорить?

Однокамерный или двухкамерный стеклопакет?

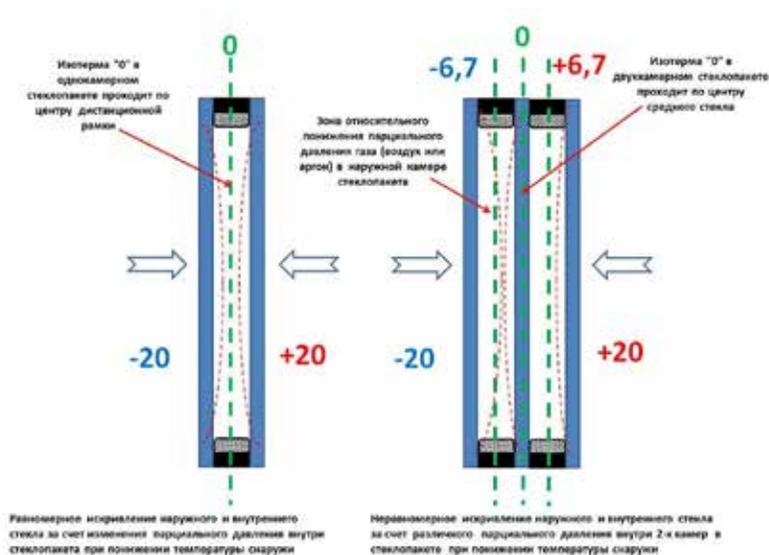
Также следует сказать о специфике работы двухкамерного стеклопакета в сложных климатических условиях и увеличенном линзовании двухкамерного стеклопакета относительно однокамерного из-за резкого понижения парциального давления газа (воздуха или аргона) в первой камере при низких температурах (эффект температурного перекоса).



Рис. 1

Эффективность работы двухкамерного стеклопакета при пониженных температурах и относительно тонких стеклах резко снижается при площади стеклопакета более 3 кв. м и соотношении сторон менее чем 2:1. Отсюда и эффект слипания при пониженных температурах. А в теплое время года все хорошо. И на образцах 350x350 мм все выглядит просто замечательно. Вот только, опять же, законы физики отменить нельзя.

Для понимания предлагаем рассмотреть упрощенную схему работы однокамерного и двухкамерного стеклопакетов. Для простоты пояснения взяты одинаковые стекла и одинаковые размеры дистанционной рамки. В реальности стекла могут быть разные, в том числе с различными покрытиями и тонировками, дистанционные рамки, как правило, тоже разные, но для понимания процесса схема упрощена до минимума.



В последнее время наблюдается скачкообразный рост теплотехнических характеристик однокамерных стеклопакетов, которые в большинстве случаев могут составить прямую конкуренцию по энергоэффективности двухкамерным, но при этом имеют меньший вес, пониженное линзование, снижают затраты на монтаж и профильные системы.

Мы ни в коем случае не призываем полностью отказаться от использования двухкамерных стеклопакетов, однако рекомендуем подходить к вопросам остекления на принципах разумной достаточности. Но об этом поговорим в следующей статье.