

РАЗМЕР ИМЕЕТ ЗНАЧЕНИЕ?

О красоте больших пакетов или, что мешает архитекторам строить стеклянные дворцы.

Современное градостроение невозможно представить без светопрозрачных фасадов. Архитекторы умело пользуются свойствами остекленных элементов зданий и сооружений, позволяющих придать создаваемым объектам воздушность и легкость. Однако, технологические ограничения, которые накладываются на пожелания архитекторов, в большей степени связаны с размерами элементов остекления и методов их крепления в алюминиевых фасадных системах. Это связано, как с несущей способностью алюминиевых конструкций и методов их механического крепления, так и с толщиной стекол, используемых для изготовления стеклопакетов, особенно для зданий повышенной этажности. В таких случаях, из-за значительных ветровых нагрузок и повышенных требований к прочности ограждающих конструкций, приходится принимать компромиссные решения, значительно ограничивающие размер элементов остекления. Наиболее распространенным размером стеклопакетов для офисных зданий с высоким процентом остекления является размер 3x1,1 м, что приводит к появлению значительного количества алюминиевых стоек внутри здания, которые не улучшают ни внешний

вид, ни теплофизические характеристики фасадной системы.

Примером может служить следующее фото, где хорошо просматриваются стойки, перекрывающие внутреннее помещения светопрозрачные конструкции.



Большинство современных фасадных систем, призванных обеспечить внешнюю привлекательность здания, скрывают за структурными или полуструктурными решениями все ту же задекорированную традиционную ригельно-стоечную систему.

Особое внимание следует обратить на сложности, возникающие при претворении в жизнь архитектурных решений, предусматривающих фасадные конструкции сложных форм – криволинейные, ломаные, наклонные и т.п.

В таких случаях, стоимость решений может возрастать в несколько раз и в значительной мере увеличиваются сроки выполнения работ.

Примером такого решения может служить проект известной украин-

ской архитектурной компании «Крамалл Студио», заложившей в архитектурный облик здания элементы ломаных линий.

Выполнение такого фасада на типовых элементах существующих алюминиевых систем сопряжено со значительными технологическими трудностями, что в свою очередь, приведет к увеличению стоимости.

Группа специалистов компании «ПИК Групп», на основании собственных инженерных разработок и проведенных расчетов, подтвержденных сериями испытаний и протоколами от ведущих организаций в области сертификации светопрозрачных конструкций, предлагает универсальное решение, позволяющее, в значительной степени, устранить ограничения для архитекторов и повысить эксплуатационные характеристики светопрозрачных систем на основе крупноформатного остекления.

В основу предлагаемого решения заложена технология производства стеклопакетов повышенной жесткости (СПЖ) на основе композитных дистанционных рамок из пултрузионных профилей (пултрузия - метод получения профилей из стеклопластика путем протягивания предварительно напряженного стеклянного волокна, пропитанного смолой, через формообразующую установку) и разработанные методы их крепления для различных типов фасадного и купольного остекления.

Разработанная совместно со специалистами архитектурной компании «Крамалл Студио» и компанией «ПИК Групп», система ригельного бесстоечного фасадного остекления позволяет реализовать вышеуказанный проект по конкурентной стоимости с соблюдением всех сложных архитектурных решений и требований действующих нормативных документов, касательно теплофизических и прочностных характеристик фасадных систем.

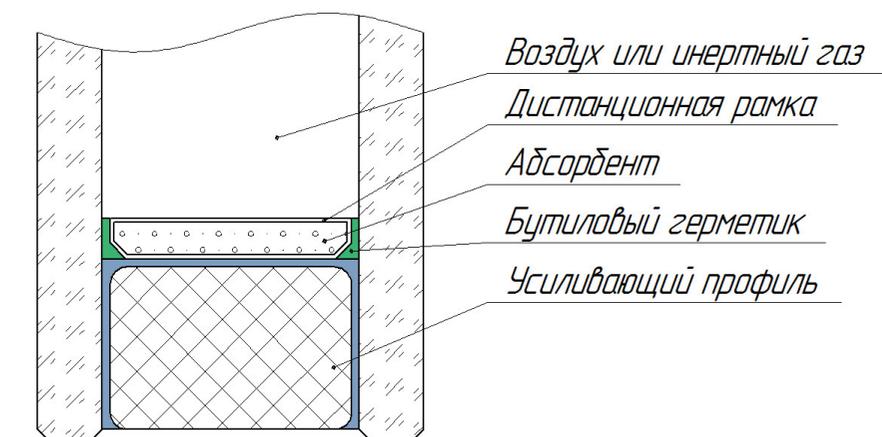
О конструктивных особенностях стеклопакетов повышенной жесткости

Что же такое стеклопакет повышенной жесткости? Всем известно, что стеклопакет, используемый в фасадном остеклении, помимо архитектурного и теплозащитного назначения, должен выдерживать температурные и ветровые нагрузки. Каждый раз при проектировании фасадного остекления возникает вопрос о формуле стеклопакета, другими словами – стекла какой толщины использовать в стеклопакетах? 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 закрепления по всем сторонам стеклопакета, данное утверждение справедливо. Решается данная задача достаточно просто с помощью нехитрых формул, представленных в каталогах и методических руководствах для расчета типовых ригельно-стоечных систем.

Идея стеклопакета повышенной жесткости заключается в том, чтобы «паразитные» внутренние стекла стеклопакета заставить участвовать в общем сопротивлении ветровому потоку в фасадных конструкциях или снеговой нагрузке, применительно к купольным системам.

Другими словами, задача состоит в том, чтобы превратить обычный стеклопакет из слоеного, где стекла могут относительно свободно перемещаться друг относительно друга в плоскости стеклопакета, в трубчатый, когда стекла жестко склеены между собой через усиленную дистанцию на основе профильных композитных решений и специальных высокоадгезивных клеевых композиций.

Таким образом, конструктивное увеличение жесткости стеклопакета



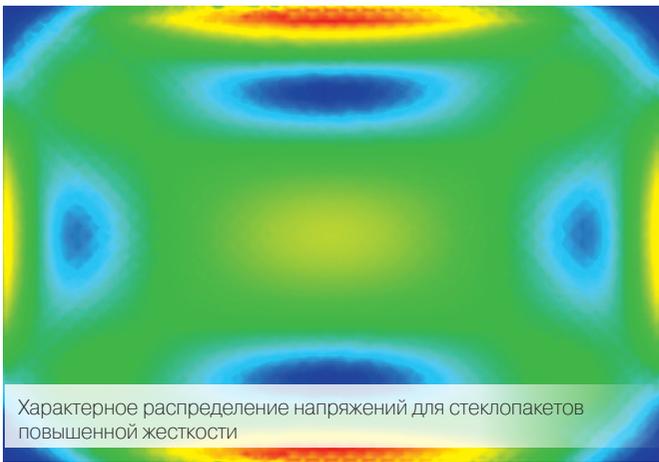
достигается доработкой обычного стеклопакета путем замены объема вторичной герметизации на жестко клеенный композитный профиль прямоугольного сечения.

Технология производства стеклопакетов повышенной жесткости требует определенных дополнительных затрат, но при этом позволяет добиться значительного повышения жесткости, что в свою очередь, позволяет либо снизить толщины используемых стекол, либо значительно увеличить размеры фрагментов остекления.

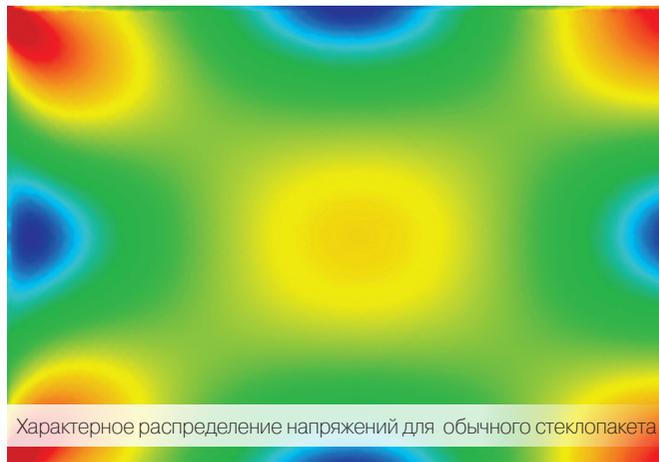
Материалы, используемые для производства стеклопакетов повышенной жесткости как и стеклопакет в целом, должны отвечать нижеперечисленным требованиям:

1. Герметичность стеклопакета – отсутствие проникновения газов, водяных паров и воды.
2. Долговечность стеклопакета – до 40 условных лет эксплуатации.
3. Стойкость стеклопакета к нагреву до 80°C при относительной влажности воздуха до 100%.
4. Стойкость стеклопакета к охлаждению до -50°C.
5. Стойкость стеклопакета к ультрафиолетовому облучению в диапазоне длин волн 280 - 400 нм интенсивностью 80 Вт/м² при температуре до 50°C.
6. Стойкость стеклопакета к солевым растворам (3%-ный водный раствор NaCl) при температуре раствора 20°C.





Характерное распределение напряжений для стеклопакетов повышенной жесткости



Характерное распределение напряжений для обычного стеклопакета

7. Стойкость стеклопакета к щелочным растворам (3%-ный водный раствор NaHCO_3) при температуре раствора 20°C .
8. Стойкость стеклопакета к кислотным растворам (3%-ный водный раствор H_2SO_4) при температуре раствора 20°C .
9. Экологическая чистота стеклопакета – отсутствие токсичных веществ в стеклопакете.
10. Стойкость стеклопакета к кислороду и озону.
11. Стойкость стеклопакета к инфракрасному облучению.
12. Стойкость стеклопакета к макро- и микробиологическому воздействию (насекомые или грибки).

Дополнительно можно выделить требования к жесткой дистанции:

1. Коэффициент теплопроводности дистанционной рамки $\sim 0,4 \text{ Вт/(м}^\circ\text{C)}$.
2. Высокая адгезия к стеклу: не менее $2 \times 10^8 \text{ Н/м}^2$ (200 МПа).

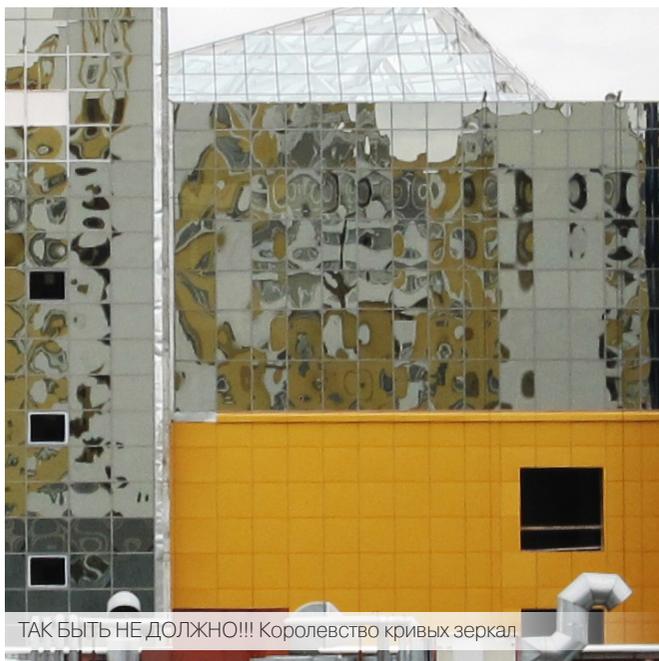
3. Модуль упругости материала рамки: не менее $1 \times 10^8 \text{ Н/м}^2$ (300 МПа) и не более $3 \times 10^9 \text{ Н/м}^2$ (3000 МПа).
4. Предел прочности не менее $2 \times 10^7 \text{ Н/м}^2$ (20 МПа).
5. Стойкость жесткой дистанции к силиконовым герметикам.
6. Адгезия жесткой дистанции к силиконовым герметикам.

Применительно к стеклопакетам повышенной жесткости, отдельно остановимся на таком, казалось бы, малозначительном требовании, как стойкость к нагреву и охлаждению. Скрытой угрозой нарушения целостности СПЖ является разница коэффициентов линейного расширения стекла и жесткой дистанции.

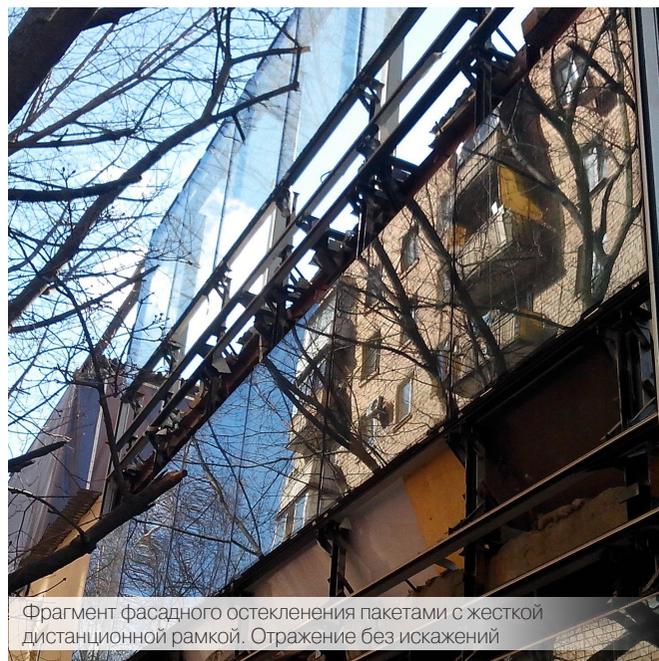
Справедливости ради, стоит отметить, что подобные проблемы в большей или меньшей степени, существуют и у стандартных стеклопакетов на алюминиевых и ПВХ дистанционных рамках, особенно для использования в структурных и полуструктурных крупноформатных фасадных системах.

Представим себе, что СПЖ размером $2,5 \times 1,7 \text{ м}$ был изготовлен зимой в цеховых условиях при температуре $+20^\circ\text{C}$, после чего был доставлен к месту монтажа открытым грузовым автомобилем при уличной температуре -20°C . Таким образом, перепад температур составит 40°C . При таких условиях стекло изменит размер по длинной стороне на $0,72 \text{ мм}$, дистанция из пултрузии (состоит на 80% из стеклянных нитей-«ровинг») – на $0,70 \text{ мм}$, дистанция из заливного ультрафиолетового (УФ) отверждаемого акрила – на $18,72 \text{ мм}$, а на эпоксидной смоле – на $4,4 \text{ мм}$. Типовые дистанционные рамки из алюминия и ПВХ изменяют размер, соответственно, на $1,76 \text{ мм}$ и $4,00 \text{ мм}$.

Выводы напрашиваются сами собой: такие значительные колебания размеров стекла и материала дистанционных рамок при длительной эксплуатации приводят к нарушению герметичности и несущей способности стеклопакета. Исключение составляет только усиленная дистанционная



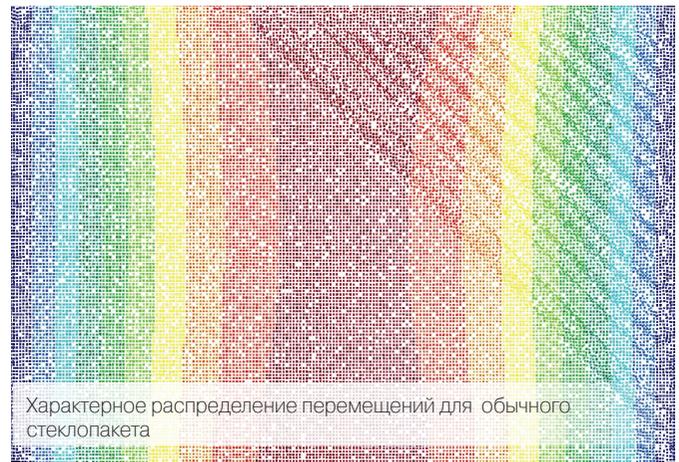
ТАК БЫТЬ НЕ ДОЛЖНО!!! Королевство кривых зеркал



Фрагмент фасадного остекления пакетами с жесткой дистанционной рамкой. Отражение без искажений



Характерное распределение перемещений для стеклопакета повышенной жесткости



Характерное распределение перемещений для обычного стеклопакета

рамка из пултрузии, коэффициент линейного расширения которой максимально приближен к стеклу.

Однако, использование материалов с большими коэффициентами линейного расширения допустимо в конструкциях стеклопакетов при соблюдении специальных температурных условий производства, перевозки, монтажа и эксплуатации (например – внутри помещений).

Следует так же отметить, что, несмотря на добавленные материалоемкость и трудоемкость при изготовлении СПЖ, применение их в крупноформатном фасадном остеклении экономически целесообразно.

Рассмотрим пример. Предположим, что необходимо установить стеклопакет, выдерживающий ветровую нагрузку в 60 кг/м², размером 2,5x1,7 м в ригельно-стоечную конструкцию. Таким требованиям удовлетворяет обычный стеклопакет формулой 10M1-18-8M1 (вес: 191 кг), или стеклопакет повышенной жесткости, изготовленный по технологии клеивания пултрузионного профиля, формулой 6M1-18-5M1 (вес: 117 кг), который в 1,6 раза легче обычного. В данном случае использование обычного стеклопакета приведет к использованию усиленных ригелей, в то время как использование стеклопакета повышенной жесткости такого усиления не потребует.

При этом характер распределения напряжений в стеклах сильно различается: для обычного стеклопакета более нагруженными являются угловые зоны, а для СПЖ – краевые зоны.

Рассмотрим другой пример. Предположим, что необходимо установить стеклопакеты в ряд без применения вертикальных стоек – только с использованием горизонтальных ригелей (ригельный фасад).

При этом стеклопакеты размером 2,5x1,7 м должны выдерживать ветровую нагрузку в 60 кг/м². Таким требованиям удовлетворяет обычный

стеклопакет формулой 12M1-18-10M1 весом в 234 кг, или эквивалентный стеклопакет повышенной жесткости, изготовленный по технологии клеивания пултрузионного профиля, формулой 6M1-18-6M1 (вес: 126 кг), который в 1,9 раза легче обычного и на 30% дешевле при использовании обычных закаленных стекол M1 и значительно дешевле при использовании энергоэффективных стекол.

Следует также отметить, что при использовании стеклопакета повышенной жесткости не требуется использование ригелей повышенной несущей способности.

В данном примере обычный стеклопакет формулой 12M1-18-10M1 при изгибе ведет себя, как триплекс 12.10.3 или эквивалентное стекло толщиной 14 мм и точно так же ведет себя СПЖ формулой 6M1-18-6M1, и здесь нетрудно заметить, что толщину эквивалентного стекла для СПЖ можно рассчитывать, как сумму толщин стекол умноженную на коэффициент Кэкв, который в нашем случае равен 1,2. В результате серии численных расчетов на прочность, оказалось, что Кэкв может колебаться в пределах от 1,1 до 2 в зависимости от соотношения сторон стеклопакета, размеров и физических свойств усилительной дистанции.

При этом характер распределения перемещений в стеклах сильно различается: для обычного стеклопакета максимальные перемещения наблюдаются в краевых зонах, а для СПЖ – в центральной зоне.

В случае применения сплошного пултрузионного профиля сечением 16x16 мм и модулем упругости 5*10⁸ N/м² в качестве жесткой дистанции в СПЖ для расчета толщины эквивалентного стекла с точностью +/- 8% применима формула:

$$\delta_{\text{экв}} = (\delta_1 + \delta_2) / \sqrt{1/H}$$

Где $\delta_{\text{экв}}$ – эквивалентная толщина закаленного стекла (мм),

δ_1 – толщина стекла стеклопакета с лицевой стороны (мм),

δ_2 – толщина стекла стеклопакета с тыльной стороны (мм),

I – ширина стеклопакета (мм),

H – высота стеклопакета (мм).

Для стандартного однокамерного стеклопакета эквивалентная толщина стекла рассчитывается по формуле аналогичной расчету эквивалентной толщине триплекса, а именно:

$$\delta_{\text{экв}} = \sqrt[3]{(\delta_1^3 + \delta_2^3)}$$

Где $\delta_{\text{экв}}$ – эквивалентная толщина закаленного стекла (мм),

δ_1 – толщина стекла стеклопакета с лицевой стороны (мм),

δ_2 – толщина стекла стеклопакета с тыльной стороны (мм).

После сравнения расчетов по вышеуказанным формулам можно с полной уверенностью заявить, что весовая отдача по несущей способности СПЖ в 1,5-2 раза выше, чем у обычных стеклопакетов, а это предусматривает существенное сокращение затрат на реализацию фасадного остекления за счет снижения весовых характеристик стеклопакетов, несущих конструкций фасадной системы и здания в целом, а также снижение стоимостей транспортировки и монтажных работ.

По нашему мнению, использование стеклопакетов повышенной жесткости – это новый шаг в создании современных энергоэффективных, долговечных и безопасных фасадных систем, сочетающих в себе реализацию смелых архитектурных решений и высокие эксплуатационные характеристики.

Игорь Щедрин
Леонид Лазебников



ООО «ПИК Групп»

02140, г. Киев

ул. Л.Руденко, 6а, оф. 622

тел. +380 44 238 83 84

www.pic-g.com