

Проектирование остекления высотных зданий для сложных климатических условий
Чесноков А.Г., Черемхина Е.А., ОАО «Институт стекла», Москва

Ключевые слова: проектирование, остекление, климат

В применении стекла в современной архитектуре отчетливо просматриваются тенденции к возрастанию площадей остекления, увеличению этажности зданий, увеличению размеров применяемых элементов остекления. С увеличением высоты здания особенно при сплошном остеклении фасадов значительно увеличивается площадь остекления, меняются условия его эксплуатации, а также действующие на него нагрузки и воздействия.

Проектирование остекления высотных зданий представляет собой сложную, комплексную задачу, при решении которой необходимо одновременно обеспечивать как безопасность, так и оптические и энергетические характеристики остекления. Кроме того, приходится учитывать ограничения по весу и цене остекления, возможностям его монтажа при строительстве здания или в процессе эксплуатации.

В докладе рассматриваются климатические факторы, влияющие на прочность и эксплуатационные характеристики остекления, которые изменяются с высотой здания, что необходимо учитывать при проектировании.

Современное строительство стремительно меняет облик больших и малых городов в разных регионах России и среду обитания человека. Если сравнительно недавно остекление зданий было представлено исключительно стандартными окнами и витринами (магазинов, кафе, ресторанов, некоторых общественных зданий), то в строящихся зданиях видны следующие изменения по сравнению с традициями:

- увеличение количества этажей в зданиях;
- возрастание доли остекления в поверхности фасада (в современных зданиях площадь остекления занимает до 80 % и более площади фасада);
- увеличение размеров применяемых изделий из стекла.

В этих условиях проектирование остекления становится важнейшей составной частью работ по проектированию зданий и сооружений и требует значительно более высокой квалификации. Сегодня от проектировщика, воплощающего замысел архитектора, который, как правило, ограничивается пространственным и цветовым решением остекления фасада здания, требуются обширные знания в различных областях, в том числе по видам остекления, профильным системам, способам крепления, применяемым герметикам и материалам, действующим нагрузкам и воздействиям, методам расчета, программному обеспечению для проектирования конструкций остекления.

Проектирование остекления следует производить с учетом архитектурно-планировочных решений здания или сооружения, климатических и геологических особенностей района, в котором предполагается строительство, назначения, расположения, функциональных особенностей и предполагаемых условий эксплуатации здания, сооружения или помещения. Регионы России очень сильно различаются по своим климатическим условиям. В таблице приведены примеры параметров климата некоторых городов России по данным [1, 2].

Таблица

Город	Абсолютная минимальная температура воздуха, °С	Температура воздуха наиболее холодной пятидневки, °С	Абсолютная максимальная температура воздуха, °С	Средняя максимальная температура воздуха наиболее теплого месяца, °С	Барометрическое давление, гПа	Максимальная из средних скоростей ветра по румбам, м/с,	Нормативное значение ветрового давления, кПа
Москва	-42	-28	+37	+23,6	995	4,9	0,23
Санкт-Петербург	-36	-30	+34	+22	1010	4,2	0,30
Волгоград	-35	-28	+44	+30	1000	8,1	0,38
Дербент	-19	-11	+38	+28,2	1015	5,2	0,60
Новосибирск	-50	-42	+38	+24,6	995	5,7	0,38
Якутск	-64	-57	+38	+25,2	995	2,6	0,30

Что касается наружного остекления зданий, то его основной функцией было и остается обеспечение естественного освещения помещений и визуального контакта с окружающей средой. Правда в последнее время стекло в наружном остеклении все чаще применяют как декоративный облицовочный материал, поэтому в тех местах, где не требуется светопрозрачность, основной функцией остекления можно считать его декоративность. Однако для того, чтобы стекло могло с успехом применяться в современном строительстве, помимо выполнения своих основных функций оно должно удовлетворять установленным требованиям по целому ряду показателей, таких как:

- безопасность;
- прочность (стойкость к нагрузкам и воздействиям);
- оптические характеристики (коэффициенты пропускания, отражения и поглощения света, солнечной энергии, ультрафиолетового излучения, оптические искажения, цвет);
- тепловые характеристики (сопротивление теплопередаче, температура внутренней поверхности остекления, воздухо- и водопроницаемость);
- звукоизоляция;
- долговечность;
- специальные характеристики (в том числе огнестойкость, стойкость к ударам, взрывобезопасность, пулестойкость, стойкость к пробиванию отверстий и др.).

Требования по этим показателям устанавливаются вне зависимости от количества этажей в здании, а в зависимости от назначения помещения. Однако с увеличением высоты здания меняются воздействующие на него внешние климатические факторы и условия эксплуатации, что необходимо учитывать при проектировании остекления. Изменение температуры, атмосферного давления и ветрового давления с высотой в относительных единицах показано на рис. 1.

Зависимость атмосферного давления, температуры воздуха и ветрового давления от высоты

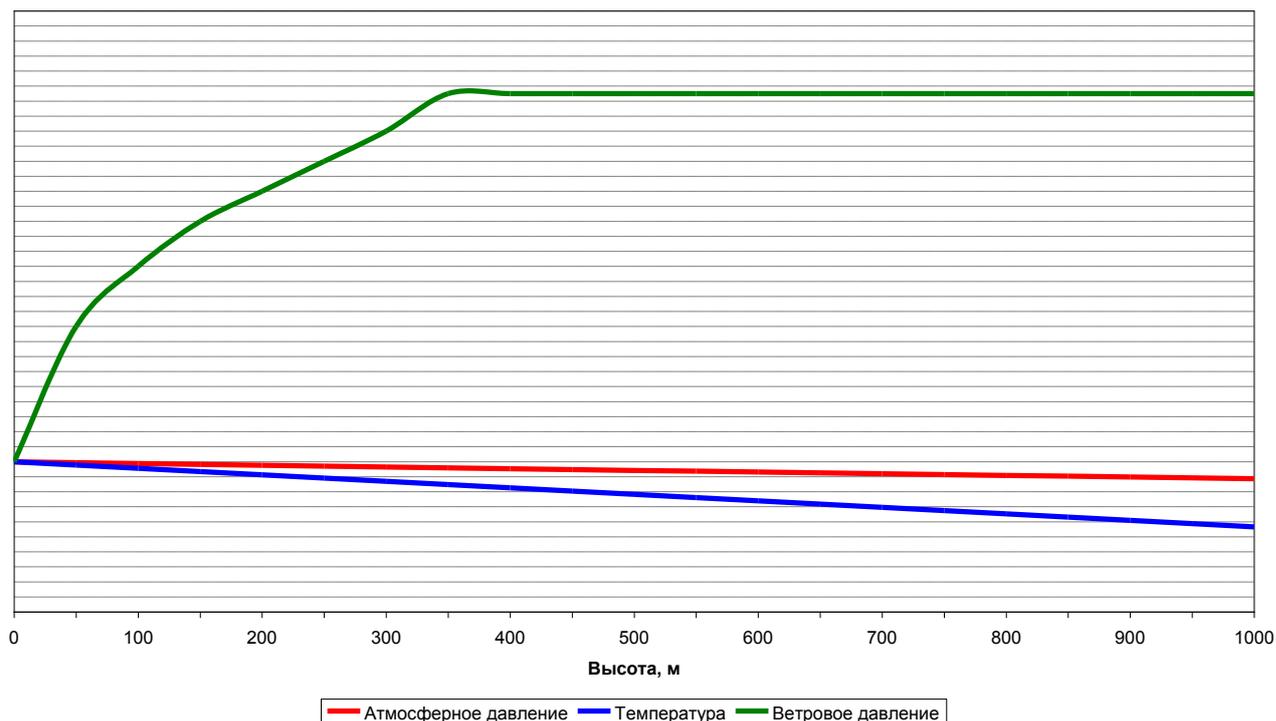


Рис.1.

В общем случае можно выделить три основные особенности проектирования остекления высотных зданий. Во-первых, это возрастание рисков, возникающих при монтаже, эксплуатации и техническом обслуживании остекления, что вызывает необходимость повышения требований безопасности. Во-вторых, это усложнение условий эксплуатации остекления в связи с возрастанием действующих на него нагрузок и воздействий. В-третьих, это возрастание эстетических требований к остеклению из-за увеличения его общей площади. Рассмотрим эти особенности более подробно.

Под безопасностью остекления обычно подразумевается, что в нормальных условиях эксплуатации, а также при монтаже и техническом обслуживании остекление не должно представлять

угрозы жизни и здоровью людей. В качестве примера опасных ситуаций, связанных с остеклением, которые могут возникнуть в процессе эксплуатации здания, можно назвать ранение осколками и другими фрагментами разрушившегося остекления, падение через разрушившееся остекление. С увеличением высоты здания повышается и степень риска (например, увеличивается зона разлета осколков и высота падения). Поэтому в высотных зданиях необходимо применять только безопасное стекло (закаленное, многослойное, армированное) и / или устанавливать защитные ограждения.

Кроме того, в высотных зданиях повышаются требования к огнестойкости остекления, связанные с тем, что в этом случае усиливается тяга воздуха и удлиняются пути эвакуации [10]. Это приводит к тому, что при разрушении стекла резко возрастает приток воздуха в помещение, ставшее очагом пожара. В этом случае процесс горения резко интенсифицируется, и пожар начинает быстро распространяться по зданию. Огнестойкость остекления должна быть достаточной, чтобы обеспечить время безопасного выхода людей из зоны пожара.

При проектировании остекления необходимо четко определить нагрузки и воздействия, которые будут на него действовать с учетом того, что они могут существенно изменяться в зависимости от высоты над поверхностью земли.

Для наружного остекления при расчете или испытаниях обязательно принимают во внимание [7, 9]:

- установленную эксплуатационную нагрузку;
- вес остекления;
- минимальную возможную температуру и максимальное атмосферное давление места применения остекления;
- максимальное ветровое давление на остекление места применения;
- максимальную снеговую нагрузку (с учетом возможности образования снеговых мешков) для региона применения;
- максимальную температуру и минимальное атмосферное давление места применения остекления;
- интенсивность солнечного излучения, поглощаемого остеклением.

При проектировании остекления высотных зданий необходимо учитывать, что с увеличением высоты возрастает ветровая нагрузка, снижаются минимальная температура окружающего воздуха и атмосферное давление, а также увеличивается интенсивность солнечного излучения.

Следует отметить, что многие программы расчета прочности и коэффициента теплопередачи остекления (особенно, разработанные для Европейских стран и США) не учитывают диапазон изменения температуры окружающей среды, так как для них это не очень актуально: его влияние на прочность и потери тепла остекления в этих странах невелико. В нашей стране это один из основных факторов, определяющих нагрузки на остекление. Причем он действует на остекление четырьмя путями: из-за колебаний температур листы стекла деформируются, что, во-первых, создает в них дополнительные напряжения, во-вторых, они могут сомкнуться (при низких температурах), что может привести к разрушению стекла. В третьих, из-за большой разницы коэффициентов термического расширения стекла и материалов ограждающих конструкций, особенно алюминия, возможно либо ослабление крепления стекол, либо чрезмерное его обжатие. Например, при размерах стеклопакета 3x2 м, изготовленного при температуре + 20 °С, закрепленного по четырем сторонам с помощью алюминиевых профилей и прокладок и находящегося при минимальной для Москвы температуре - 44 °С, прогиб листов стекла в центральной части составит по 3,5 мм, а уменьшение зазоров между алюминиевой конструкцией и стеклом — 3 мм. В четвертых, увеличение разницы температур снаружи и внутри помещения приводит к усилению конвекции внутри остекления и, соответственно, к увеличению потерь тепла. Аналогичные примеры можно привести по колебаниям атмосферного давления, влиянию силы ветра и т.д. Следует заметить, что величины деформаций и напряжений в стекле сильно зависят от его формы, способа его закрепления, а также наличия и вида внутренних и накладных раскладок, что тоже часто не учитывается.

Установлено, что снижение температуры с 20 °С, при которой собирался стеклопакет, до минус 25 °С в условиях эксплуатации приводит к понижению давления в камере стеклопакета на 0,0153 МПа, что превышает величины ветровых нагрузок и может привести к «схлопыванию» стеклопакета при небольших толщинах воздушных камер, то есть к его разрушению. На рис. 2 и 3 приведены зависимости коэффициента теплопередачи некоторых видов стеклопакетов от наружной температуры и скорости ветра.

Зависимость U от уличной температуры

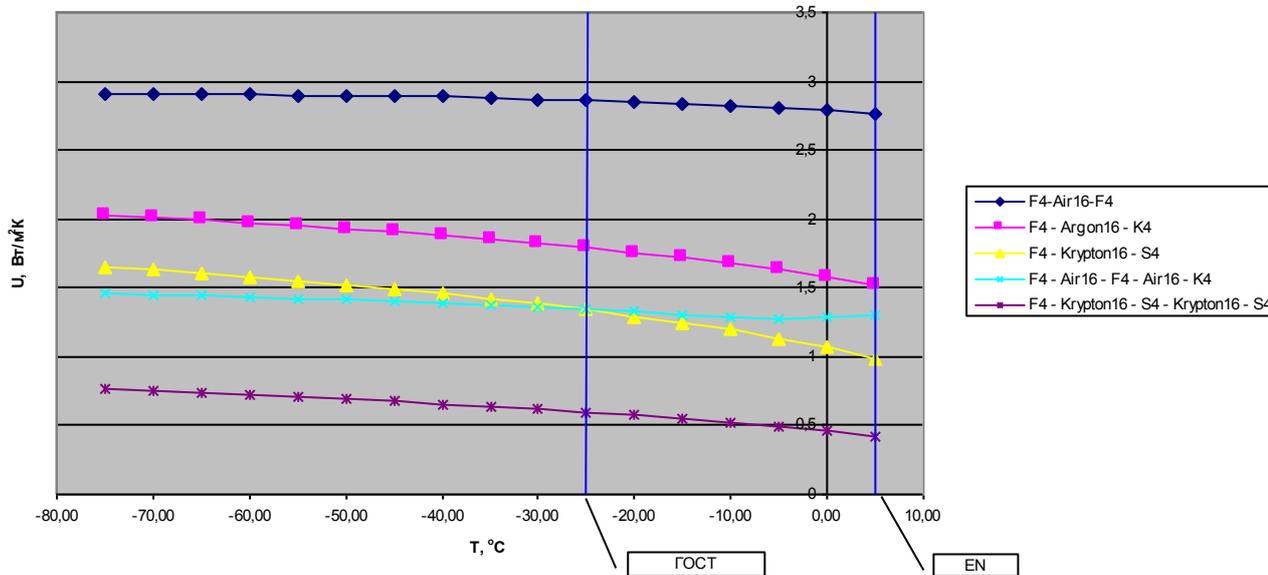


Рис. 2

Зависимость U от силы ветра

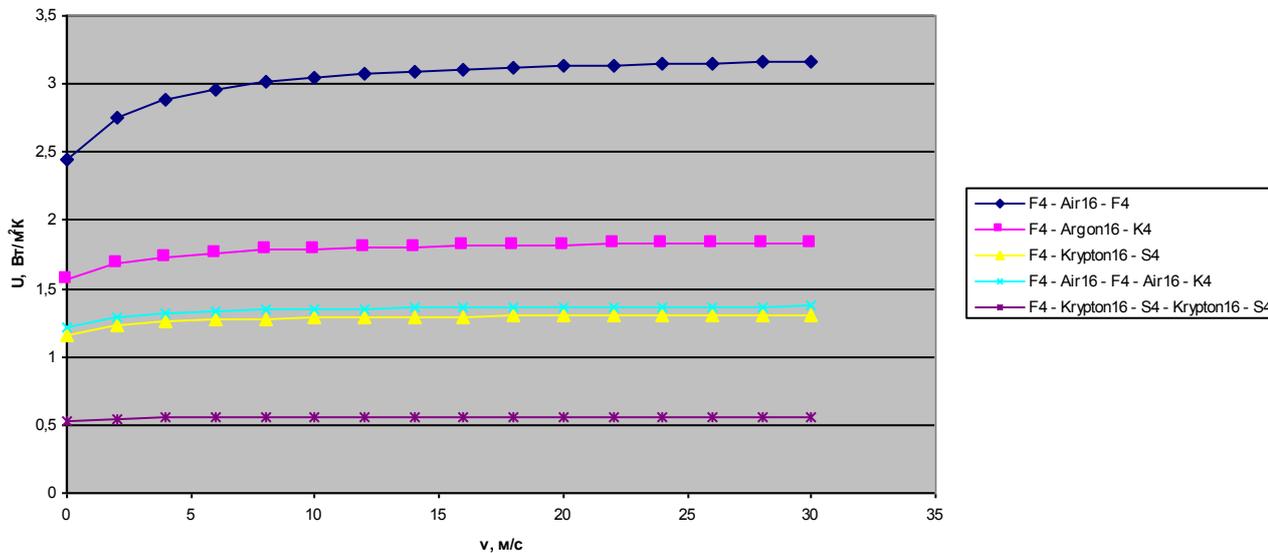


Рис. 3

Таким образом, к остеклению высотных зданий следует предъявлять повышенные требования:

- по сопротивлению ветровым нагрузкам, значения которых значительно превышают нагрузки, предусмотренные ГОСТ 23166-99 [11] для изделий класса А (сопротивление ветровой нагрузке 1000 Па и более);

- по сопротивлению теплопередаче в связи с увеличением потерь тепла через остекление, снижением температуры на поверхности внутреннего стекла и ощущением дискомфорта у людей, находящихся в помещении (ощущение холода вблизи окон в зимнее время);

- по защите от проникновения избыточного солнечного излучения.

Однако следует иметь в виду, что зонирование зданий по высоте носит достаточно условный характер в связи с тем, что климатические воздействия привязаны к конкретной местности, поэтому при

проектировании остекления высотных зданий требуется проводить расчеты прочностных и теплофизических характеристик для каждого объекта индивидуально.

Важным моментом является то, что остекление высотных зданий, удовлетворяющее повышенным требованиям по безопасности, прочности, тепловым характеристикам, представляет собой сложную конструкцию, в которой в различных сочетаниях применяются многослойные, закаленные, огнестойкие стекла и которая имеет существенно больший вес по сравнению с остеклением многоэтажных зданий высотой до 75 м, поэтому строительные конструкции и крепежные элементы должны соответствовать этим нагрузкам.

Что касается оптических характеристик, то при остеклении высотных зданий особое внимание следует уделять оптическим искажениям, видимым в отраженном свете, и цвету применяемого стекла. С повышением этажности здания особенно при сплошном остеклении фасадов значительно увеличивается площадь остекления и в этом случае оптические искажения и цветовая неоднородность остекления существенно ухудшат внешний вид здания.

Оптические искажения стеклопакетов по ГОСТ 24866-99 [4] контролируются при нормальной температуре и давлении. При других их значениях оптические искажения допускаются. Причем они допускаются в определенных пределах и при прочностных расчетах (не более 1/250 наименьшей стороны стеклопакета). Как показывают расчеты, чтобы оптические искажения в отраженном свете в условиях Москвы с достаточно широким диапазоном температур и давлений отсутствовали, необходимо толщину применяемых стекол увеличить примерно в 2 раза по сравнению с прочностным расчетом.

Что касается цветового решения остекления, то здесь сложность заключается в том, чтобы выбрать из реальных стекол те, которые наиболее точно воплощают замысел архитектора, учитывая при этом, что цвет остекления в естественных условиях может изменяться в зависимости от вида применяемых стекол, условий освещения, точки восприятия объекта.

Остекление должно сохранять свои эксплуатационные свойства при соблюдении правил эксплуатации и технического обслуживания в течение срока службы здания. Остекление с меньшим сроком службы, чем предполагаемый срок службы здания, должно быть заменяемым или ремонтнопригодным. В высотных зданиях этот вопрос особенно актуален, поскольку техническое обслуживание, ремонт и замена наружного остекления, расположенного на большой высоте (особенно с учетом того, что по действующим нормам окна, расположенные выше 75 м, должны быть в глухих неоткрываемых переплетах), является сложной инженерной задачей, поэтому при проектировании остекления необходимо предусматривать технические средства для ее решения.

Для увеличения срока службы остекления и сокращения частоты технического обслуживания (мытья) стекол можно порекомендовать применение в наружном остеклении стекла с самоочищающимся покрытием.

Использованные источники:

1. СНиП 2.01.07-85 «Нагрузки и воздействия»
2. СНиП 23-01-99 «Строительная климатология»
3. СНиП 23-02-2003 Тепловая защита зданий
4. ГОСТ 24866-99 «Стеклопакеты клееные строительного назначения. Технические условия»
5. Особенности проектирования силикатных стеклопакетов для жилых и промышленных зданий повышенной этажности. д.т.н., проф. Солинов В.Ф., к.т.н. Успенский А.А., ОАО «НИИТС» /ежеквартальный журнал-каталог «Окна. Двери. Фасады», №17, лето 2006/
6. Создание стеклопакетов для зданий повышенной этажности. В.Г. Мильков, к.т.н., главный специалист, ФГУ «Федеральный центр технической оценки продукции в строительстве», А.А. Успенский, к.т.н., ведущий специалист, НИИ технического стекла /журнал «СтройПРОФиль», №3 (49), 2006/
7. Чесноков А.Г. «Проблемы фасадного остекления». //«Стройпрофиль», № 5 (43), 2005, с. 76–77.
8. Краснопольский Б.И., Чесноков А.Г., Чесноков С.А. «Численное моделирование и расчет прочностных свойств стекла». // «Стекло и керамика», № 12, 2005, с. 14–17.
9. Проблемы применения крупноформатных стеклопакетов. Чесноков А.Г., ОАО «Институт Стекла» /ежеквартальный журнал-каталог «Окна. Двери. Фасады», №17, лето 2006/
10. Пожарная безопасность высотных зданий. Хасанов И.Р., ФГУ ВНИИПО МЧС России. Журнал «Строительная инженерия», №7, 2005.
11. ГОСТ 23166-99 «Блоки оконные. Общие технические условия»