

Криволинейные витражные фасады зданий: проблемы и пути их решения

А.Р. Лебединская

Южный федеральный университет, Ростов-на-Дону

Аннотация: Данная работа посвящена актуальной проблеме применения криволинейных витражных фасадов зданий в современной городской среде. Витражное остекление радиусных фасадов зданий является одним из характерных элементов современной архитектуры благодаря существенным преимуществам, таким, как снижение ветровой и климатической нагрузки на здание, экологичность, энергоэффективность, улучшение параметров микроклимата, повышение художественно-композиционной привлекательности и др. В статье рассмотрен комплекс задач, решение которых позволит исключить негативные последствия от использования криволинейных светопрозрачных конструкций в наружной оболочке здания путем максимального учета технологических климатических, физических и эстетических факторов при проектировании современных систем остекления высотных зданий с криволинейными фасадами.

Ключевые слова: светопрозрачные ограждающие конструкции, радиусные фасады, климатическая нагрузка, высотные здания, линзование стеклопакета, фокусирование, городская среда, энергосбережение, экологичность.

Стекло – это один из самых древних и, благодаря своим свойствам, универсальных материалов, но свою популярность он начал набирать к концу XX века, когда начался этап «дематериализации» архитектуры. На данном этапе здания уже не автономные, изолированные от окружающей среды объекты, они стали «растворяться» в пространстве, становясь частью городской среды. Большие площади остекления дают возможность взаимного перетекания внутреннего и внешнего пространств архитектурного объекта, придавая ему некоторую визуальную прозрачность и невесомость, что делает городскую среду психологически легкой для восприятия при сохраняющейся высокой плотности городской застройки [1,2].

Изначально основное назначение витражных конструкций при строительстве зданий – это заполнение светопроемов на фасаде зданий, хотя по своим характеристикам стекло является тем материалом, из которого могут быть выполнены и другие элементы строительных конструкций.

Городские здания сегодня продолжают расти стремительно ввысь, инициируя поиск новых конструктивных и инженерных задач, которые будут соответствовать требованиям создаваемого объекта [3,4]. Витражные фасады стали одним из самых распространенных и востребованных решений современной архитектуры [5-7].



Рис.1. – Примеры криволинейных витражных фасадов зданий: Здания башни «Эволюция» в Москве, Россия [8], Жилой комплекс в районе Аташехир Стамбул, Турция (фото автора); Здание (проект) штаб-квартиры компании ОРРО в Шэньчжэне, Китай [9].

Сегодня активно решается задача интегрирования стекла в структуру здания, поиска технологических и инженерных решений, позволяющих произвести и применить несущие элементы, формирующие современный стеклянный фасад [4,10]. Сегодня витражное остекление фасадов зданий имеет ряд преимуществ, повышающих привлекательность принятия таких решений в организации фасада. Светопрозрачные ограждающие конструкции позволяют архитекторам максимально использовать солнечную энергию для естественного освещения помещений в зданиях, создать благоприятный инсоляционный режим жилых и общественных пространств [6,7]. Благодаря применению стекла в современных объемно-планировочных решениях проявляются такие качества, как открытость, распахнутость пространства, насыщенность светом и взаимодействие внутреннего пространства здания с городской средой. Панорамное остекление помещений позволяет наслаждаться видами современного городского пейзажа.

На архитектурный облик объекта существенное влияние оказывают размер и пропорции светопроемов, крепление и пропорции членения светопропускающих конструкций. Конструктивные решения сплошных стеклянных фасадов могут осуществляться с помощью профильных систем (видимых и невидимых, горизонтальных и вертикальных профилей) и планарных систем (точечное крепление) с шарнирно закрепленными болтами. Монтаж стекла может происходить под разными углами, что позволяет осуществить практически любой замысел архитектора [4,7]. Сборка витражных конструкций может выполняться из геометрических элементов: треугольных и четырехугольных, в зависимости от требуемого конечного результата (рис.2).



Рис. 2 – Сборка криволинейных витражных конструкций из плоских треугольных[11] и четырехугольных[12] элементов.

На начальных этапах создания витражных фасадов зданий многие решения в России были заимствованы из Европы [3,13]. Эксплуатация построенных жилых и общественных зданий в так называемом, каркасно-монолитном варианте, выявило следующие серьезные недостатки: искажение изображения отражающих фасадов, нестабильность геометрии крупноформатных стеклопакетов, возможность фокусирования солнечного света в энергетический луч, зависимость от сложных климатических условий района строительства, влияние ветровой нагрузки [10]. Однако в российских климатических условиях витражная конструкция подвержена гораздо

большим климатическим испытаниям, особенно в переходные (весна-осень) периоды. Годовая амплитуда температурных колебаний достигает за летний-зимний периоды + 60 °С на южных и юго-западных фасадах, а весной и осенью уже в течение одних суток изменение температуры может доходить до 40 °С. Температурные колебания, как правило, сопровождаются колебаниями наружного атмосферного давления, вызывающими изменение ветрового режима. Частым выходом из такой ситуации является увеличение толщины стекла витражной конструкции. Однако стекло является плохим теплоизоляционным материалом, поэтому с увеличением толщины стекла, теплотери с поверхности витражей, расположенных на верхних уровнях здания, высотности строительства не уменьшаются. В период производства строительных работ стеклопакет оказывается длительно в экстремальных условиях, так как продолжительность строительства высотных домов в России часто продолжается не один год.

Разрушение стеклопакетов может быть обусловлено воздействием перепадов температуры и атмосферного давления на стадии зимнего монтажа, а также в период эксплуатации стеклопакетов, особенно в период незавершенного или замороженного строительства [14]. Неоспоримым достоинством при строительстве высотных зданий с витражными фасадами по каркасно-монолитной технологии возведения является то, что в этом случае фасад не является несущей конструкцией и возводится на финальном этапе строительства в сжатые сроки в схожих климатических условиях [15].

При использовании стекла как материала для фасада, важны не только декоративные качества, но и несущие способности стекла, а также теплотехнические качества [16]. Анализ современных российских и европейских требований в области повышения энергетической эффективности зданий позволяет сделать вывод о том, что в России и Европе наблюдается значительное ужесточение требований по снижению

потребления топливно-энергетических ресурсов (ТЭР) на энергообеспечение зданий. В Европе величина сопротивления теплопередаче окон установлена на уровне $1,67-2,0 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$. Российские требования к сопротивлению теплопередаче окон также пересмотрены в сторону увеличения, что будет способствовать сокращению годовой удельной величины расхода энергетических ресурсов в зданиях, строениях и на 40 % по отношению к базовому уровню [15]. Все мероприятия по обеспечению энергоэффективности в строительной отрасли поддерживаются на государственном уровне во многих странах [2,13].

Компенсация теплопотерь с помощью увеличения толщины стекол влечет за собой рост стоимости витражной конструкции за счет стоимости самого стекла и дополнительных затрат на фурнитуру и элементы несущей конструкции в целом. Использование газовых прослоек в заполнении межстекольного пространства в стеклопакетах оказывают большое влияние на теплотехнические характеристики светопрозрачных конструкций [16,17]. Газ, находящийся внутри замкнутого пространства стеклопакета, реагирует на температурные колебания, вызывая деформации ограничивающих его стекол [18,19]. Данные искажения визуально легко заметны на фасадной поверхности (рис.3).

В случае криволинейных фасадов, при увеличении толщины стекла обязательно необходимо учитывать тепловое линейное и объемное расширение стекла, при температурных колебаниях, наблюдаемое в разное время года. Часто при изготовлении радиусных витражных конструкций стекло жестко закрепляется на фасаде (спайдерная система крепления). При температурных колебаниях может меняться не только длина, но и толщина стекла, что создает дополнительное нежелательное механическое напряжение в месте крепления и в границах соседних стекол. Делать дополнительные «припуски» в размерах стекол часто не представляется

возможным из-за нарушения герметичности всей конструкции. Поэтому выбор технологии остекления особенно в случае криволинейных фасадов – достаточно сложная задача, решаемая с учетом многих факторов [4]. Стеклопакет в своем составе имеет наружное и внутренние стекла, которые отличаются по своим физико-химическим характеристикам вследствие различия выполняемых функций (обычно наружное стекло более толстое со специальным покрытием специальными добавками в составе, а внутреннее стекло намного тоньше и обычное оконное). Использование низкоэмиссионного покрытия на внешних поверхностях стекла позволяет сократить теплотери здания в холодные периоды года через светопрозрачные конструкции [16]. Реакция на изменение температуры самих стекол в составе стеклопакета может отличаться, что может привести как к изгибу (линзованию) стеклянных пластин, так и к их полному выпадению из стеклопакета. Эффект линзы заметен при прогибе стекла, равном $1/350$ [17,18]. Расчет на линзование стеклопакета обязательно проводится для ситуации экстремального режима (до ввода в эксплуатацию) и нормального режима эксплуатации (при температуре внутреннего воздуха $+20^{\circ}\text{C}$) [18,19]. (рис.3)



Рис.3 – Примеры деформации (линзования) стеклопакетов на фасадах зданий, г. Ростов-на-Дону (фото автора).

При значительных размерах стеклопакетов и их неравномерном по поверхности нагреве может возникать термошок. Опасная ситуация может возникнуть, во-первых, вследствие разности температур в центре стекла (стеклопакета) и в кромке стекла (стеклопакета), закрытых профилем; во-вторых, вследствие тени, падающей на часть стекла (стеклопакета) [10,14].

Министерством строительства и ЖКХ РФ подготовлен проект изменения строительных правил об использовании фасадных светопрозрачных конструкций СП 426 «Конструкции фасадные светопрозрачные зданий и сооружений. Правила проектирования», в котором содержится целый перечень передовых технологий и материалов, разработанных представителями отечественной и зарубежной науки и стекольной промышленности.

При эксплуатации зданий с радиусным стеклянным фасадом возникает вероятность фокусирования солнечного света в энергетический луч, способный привести к возгоранию окружающих или включенных в объем объектов. Первый случай был зафиксирован в 2013 году в Лондоне, Великобритания. (рис.4).

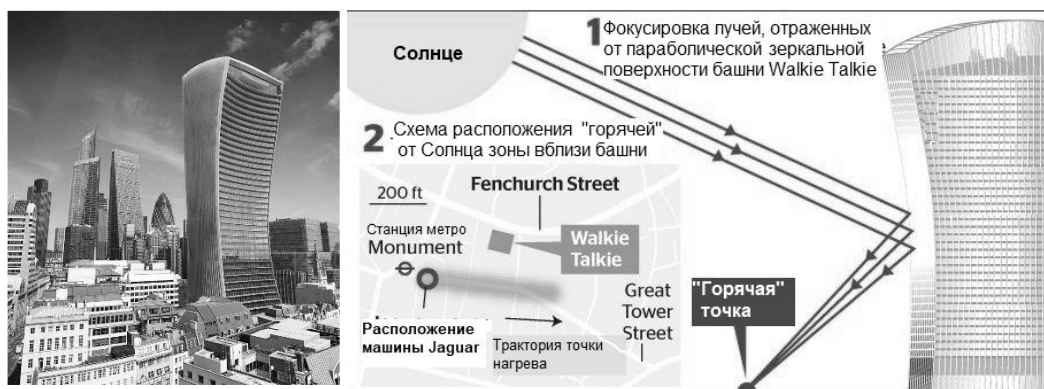


Рис.4 – Башня «Walkie Talkie» (Рация)[20] и схема фокусировки солнечных лучей от зеркальной поверхности башни на земле вблизи станции метро «Monument» [21]

Сфокусированный солнечный луч от вогнутого фасада 160-метрового небоскреба, расположенного на Фенчерч-стрит, 20, получившего такое

название благодаря своей форме, напоминающей рацию, расплавил автомобиль марки Jaguar и вызвал разрушение плитки на тротуаре вблизи входа в станцию метро «Monument» и обугливание краски на фасаде здания [21]. Подобные случаи негативных последствий фокусировки солнечных лучей, отраженных от вогнутых частей фасадов зданий, зафиксированы в других городах (г. Лос-Анжелес, США, г. Ростов-на-Дону, РФ) [22]. Данные случаи позволяют сделать заключение о том, что при проектировании зданий с криволинейными витражными фасадными конструкциями необходимо принимать во внимание не только технологические особенности фасадных систем, но и правильное расположение здания по сторонам горизонта, чтобы не инициировать негативные последствия от воздействия природно-климатических факторов на строительный объект.

Литература

1. Спиридонов А.В. Светопрозрачные конструкции России вчера и сегодня // Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века. 2015. № 1 (192). С. 46-51.
2. Иконописцева О.Г. Эко-дизайн энергоэффективной архитектуры. Анализ основных направлений и тенденций высотного строительства // Гуманитарные науки. 2018. №20. С. 41–50.
3. Новоселова И.В., Страбыкина С.И., Бойко Н.С., Данилейко И.Ю. Перспективы «зеленого» строительства и применения энергосберегающих мероприятий в современной России // Инженерный вестник Дона, 2017, №4. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2017/4521.
4. Витражное остекление фасадов зданий. Особенности и преимущества витражного остекления. Виды стоечно-ригельной системы. URL: walls-club.ru/wall/stained-glass-glazed-facades-of-buildings-features-and-benefits-of-stained-glass.html (Дата обращения 05.11.2021).

5. Лебединская А.Р. Архитектурное фасадное остекление: проблемы и перспективы в сборнике: архитектура, дизайн и изобразительное искусство на Северном Кавказе в общекультурном пространстве России // Материалы Международной научно-практической конференции, посвященной 25-летию кафедры «Архитектура» Грозненского государственного нефтяного технического университета имени академика М.Д. Миллионщикова. 2018. С. 32-34.

6. Евтушенко А.И., Карамышева А.А., Колотиенко М.А., Брижанов Е. А. Инновационные разработки в области конструктивных и архитектурных решений светопрозрачных кровель аэропортов из стеклянных материалов // Инженерный вестник Дона, 2019, №1. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2019/5563

7. Кудасова А.С., Нуриев В.Э., Морева И.С., Турянская В.А. О развитии систем фасадного остекления гражданских зданий // Инженерный вестник Дона, 2018, №4. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2018/5234

8. Башня Эволюция. Фото Москва-Сити. URL: gasfokus.ru/ images/photos/medium/67890f4ab5e763be35986e7b8db21d2e.jpg (Дата обращения 12.11.2021).

9. Современная архитектура Zaha Hadid Architects. URL: fasady.pro/articles/sovremennaya-arkhitektura-zaha-hadid-architects-2021-02-05 (Дата обращения 13.11.2021).

10. Zolotareva L.A., Lebedinskaya A.R., Komarova S.E. Analysis of wind load impact on the high-rise buildings glass facade // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 2019, 698(2), 022046. Doi:10.1088/1757-899X/698/2/022046.

11. Криволинейные светопрозрачные фасады. URL: odfevents.ru/articles_end.php?id=117 (Дата обращения 13.11.2021).



12. Что такое фасадный витраж. Мировой опыт использования. URL: bazafasada.ru/fasad-zdaniy/vitrazhnoe-osteklenie-fasadov.html#i-4. (Дата обращения 13.11.2021).

13. Подковырина К.А., Подковырин В.С. Энергоэффективные светопрозрачные ограждающие конструкции (современная историография вопроса) // Урбанистика. 2016. № 3. С. 49 - 60.

14. Лебединская А.Р., Черниченко А.Е. Особенности фасадного остекления зданий повышенной этажности // Архитектура, строительство, транспорт. Материалы Международной научно-практической конференции (к 85-летию ФГБОУ ВПО «СибАДИ»). 2015. С. 324-330.

15. Бомон С., Хольтсвейлер Э., Захаров В.М., Смирнов Н.Н., Яблоков А.А., Лаптев Д.А. Разработка и испытание автоматизированных окон с теплоотражающими экранами, отвечающих Российским и Европейским требованиям в области энергосбережения // Вестник Ивановского государственного энергетического университета. 2013. № 5. С. 13-24.

16. Корепанов Е.В. Анализ путей повышения сопротивления теплопередаче окон // Фундаментальные и прикладные исследования: проблемы и результаты. 2015. № 20. С. 84-88.

17. Черниченко А.Е., Лебединская А.Р. Проблемы линзования крупноформатных стеклопакетов при перепадах температур // Актуальные проблемы науки и техники глазами молодых ученых. Материалы Международной научно-практической конференции. 2016. С. 212-216.

18. Плотников А.А., Борискина И. В., Стратий П.В. Климатическая нагрузка на стеклопакеты // Вестник МГСУ, 2011, №2. Том 2. - М.; МГСУ. С. 262 - 267.

19. Плотников А.А., Борискина И.В., Стратий П.В. Исследование прогибов стекол пакета при действии атмосферной составляющей

климатической нагрузки // Жилищное строительство. 2011. №4. - М.: «Стройматериалы». С. 33 - 36.

20. Башня Walkie-Talkie в Лондоне. URL: pikabu.ru/story/neobyichnyiy_neboskryobwalkie_talkie_7591130 (Дата обращения 15.11.2021).

21. Схема фокусирующихся лучей. URL: i.ucrazy.ru/files/pics/2014.10/1414168822_31.jpg (Дата обращения 15.11.2021).

22. «Лучи смерти»: здания с фокусирующими солнечный свет фасадами-линзами. URL: realty.rbc.ru/news/5b20f5909a794779e13b9c4f (Дата обращения 15.11.2021).

References

1. Spiridonov A.V. Stroitel'nye materialy, oborudovanie, tehnologii XXI veka. 2015. № 1 (192). pp. 46-51.

2. Ikonopisceva O.G. Gumanitarnye nauki. 2018. №20. pp. 41–50.

3. Novoselova I.V., Strabykina S.I., Bojko N.S., Danilejko I. Ju. Inzhenernyj vestnik Dona, 2017, №4. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2017/4521.

4. Vitrazhnoe osteklenie fasadov zdaniy. Osobennosti i preimushhestva vitrazhnogo osteklenija. Vidy stoechno-rigel'noj sistemy. [Stained-glass glazing of building facades. Features and benefits of stained glass. Types of rack-and-girder system]. URL: walls-club.ru/wall/stained-glass-glazed-facades-of-buildings-features-and-benefits-of-stained-glass.html (accessed 05/11/2021).

5. Lebedinskaya A.R. Materialy Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii, posvjashhennoj 25-letiju kafedry «Arhitektura» Groznenskogo gosudarstvennogo neftjanogo tehničeskogo universiteta imeni akademika M.D. Millionshhikova. 2018. pp. 32-34.

6. Evtushenko A.I., Karamysheva A.A., Kolotienko M.A., Brizhanov E. A. Inzhenernyj vestnik Dona, 2019, №1. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2019/5563.

7. Kudasova A.S., Nuriev V.Je., Moreva I.S., Turjanskaja V.A. Inzhenernyj vestnik Dona, 2018, №4. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2018/5234.
 8. Bashnja Revoljucija. Foto Moskva-Siti. [Tower Evolution. Photo of Moscow City]. URL: rasfokus.ru/images/photos/medium/67890f4ab5e763be35986e7b8db21d2e.jpg (accessed 12/11/2021).
 9. Sovremennaja arhitektura Zaha Hadid Architects [Modern architecture. Zaha Hadid Architects]. URL: fasady.pro/articles/sovremennaya-arkhitektura-zaha-hadid-architects-2021-02-05 (accessed 13/11/2021).
 10. Zolotareva L.A., Lebedinskaya A.R., Komarova S.E. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 2019, 698(2), pp. 022046.
 11. Krivolinejnye svetoprozrachnye fasady. [Curved translucent facades]. URL: odfevents.ru/articles_end.php?id=117 (accessed 13/11/2021).
 12. Chto takoe fasadnyj vitrazh. Mirovoj opyt ispol'zovanija. [What is a facade stained-glass window. World experience of use]. URL: bazafasada.ru/fasad-zdaniy/vitrazhnoe-osteklenie-fasadov.html#i-4. (accessed 13/11/2021).
 13. Podkovyrina K.A., Podkovyrin V.S. Urbanistika. 2016. № 3. pp. 49 - 60.
 14. Lebedinskaja A.R., Chernichenko A.E. Arhitektura, stroitel'stvo, transport. Materialy Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoj konferencii (k 85-letiju FGBOU VPO «SibADI»). 2015. pp. 324-330.
 15. Bomon S., Hol'tsvejler Je., Zaharov V.M., Smirnov N.N., Jablovkov A.A., Laptev D.A. Vestnik Ivanovskogo gosudarstvennogo jenergeticheskogo universiteta. 2013. № 5. pp. 13-24.
 16. Korepanov E.V. Fundamental'nye i prikladnye issledovaniya: problemy i rezul'taty. 2015. № 20. pp. 84-88.
 17. Chernichenko A.E., Lebedinskaja A.R. Aktual'nye problemy nauki i tehniki glazami molodyh uchenyh. Materialy Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoj konferencii. 2016. pp. 212-216.
-



18. Plotnikov A.A., Boriskina I. V., Stratij P.V. Vestnik MGSU, 2011. №2. М.; MGSU. pp. 262 - 267.

19. Plotnikov A.A., Boriskina I.V., Stratij P.V. Zhilishhnoe stroitel'stvo. 2011. №4. М.: «Strojmaterialy». pp. 33 - 36.

20. Bashnja Walkie-Talkie v Londone. [Walkie-Talkie Tower in London]. URL: pikabu.ru/story/neobyichnyiy_neboskryobwalkie_talkie_7591130 (accessed 15/11/2021).

21. Shema fokusirujushhihsja лучej. [Scheme of focusing beams]. URL: i.ucrazy.ru/files/pics/2014.10/1414168822_31.jpg (accessed 15/11/2021).

22. «Luchi smerti»: zdaniya s fokusirujushhimi solnechnyj svet fasadami-linzami. ["Death Rays": buildings with facades-lenses focusing sunlight]. URL: realty.rbc.ru/news/5b20f5909a794779e13b9c4f (accessed 15/11/2021).