

О развитии систем фасадного остекления гражданских зданий

А.С. Кудасова, В.Э. Нуриев, И.С. Морева, В.А. Турянская

Донской государственный технический университет, Ростов-на-Дону

Аннотация: Был проведен сравнительный анализ эволюции развития систем фасадного остекления при проектировании общественных зданий как за рубежом, так и в России. Установлено, что как за рубежом, так и в России характерно появление зданий со сплошным остеклением, производство стекла и стеклопакетов нового поколения: с магнетронным нанесением теплоотражающих покрытий и с энергосберегающими характеристиками. Форма, размер, размещение остекленных поверхностей фасада были обусловлены природно-климатическими условиями, экономическим и научно-техническим развитием стран.

Ключевые слова: Фасадное остекление, светопрозрачные конструкции фасадов, баухауз, Ле Корбюзье, витраж, холодногнутое стекло, холодный фасад, вытяжной фасад, внешние природные факторы .

Фасадное остекление стало одним из важных элементов современной архитектуры, благодаря существенным преимуществам: создают художественно-композиционную привлекательность здания, играют роль светопрозрачных конструкций, защищают от внешних природных факторов (солнечной радиации, осадков, ветра, низких температур, шума). Кроме того, фасадное остекление играет ключевую роль при создании уникальных композиций и образов разнообразных объектов. Во всем мире светопрозрачные конструкции, как внешний вид отделки, получили широкое распространение при создании торговых и развлекательных центров, объектов коммерческого назначения, административных объектов, став неотъемлемой частью мегаполиса. Светопрозрачные конструкции фасадов общественных зданий практичны при эксплуатации, устойчивы к коррозии, не изменяют характеристик под воздействием ультрафиолетовых лучей солнца, высокоустойчивы к изменению температур и воздействию ветра, технологичны, благодаря легким конструкциям снимают нагрузку на фундамент, пожароустойчивы, эстетичны, обладают широкой гаммой колористических решений, имеют низкую теплопроводность, возможность

модификации и интерпретации разнообразных объемных, геометрических форм, неограниченный срок использования, высокопрочны, экологичны.

Различные системы фасадного остекления появились не так давно. История архитектуры и строительной техники демонстрирует, что человек с древних времен всегда стремился исключить грань между ограждающими конструкциями. До XII века остекление больших оконных проемов применялось в качестве убранства некоторых церквей Византии, Франции, Германии. Окна как наиболее важный элемент фасадной композиции появляются в Европе с XII века. Венеция и Франция являлись крупнейшими центрами разнообразного высокохудожественного стеклоделия Европы вплоть до XVII - веков. Витражи были как наиболее важный элемент фасада. Сюжеты витражей носили повествование о жизни, о текстах Библии. Витражи отличались техникой гризайли, красивыми орнаментальными рисунками. В церквях широко использовалось стекло для изготовления витражей.

С позиции определения степени остекления фасада, светопропускания стекла низкие показатели в наибольшей мере присущи для периода XII-XVII вв. За рубежом эти показатели значительно выше, чем в России, составляют около 30%. В России отсутствовало производство стекла, а сырье, используемое для закрытия оконных проемов, имело низкий показатель светопропускания. Кроме того, для исследуемого периода свойственны большие тепловые потери остекленных поверхностей в силу отсутствия методов утепления оконных проемов.

Археологические находки Торчелло в 1961 г. позволяют утверждать о существовании стекольных мастеров в середине XVII в. Старинные мастера старались использовать пластические и цветовые возможности стекла. Венецианские мастера создавали удивительной прозрачности изделия, без "единого пузырька".

В конце XVII в. венецианский мастер Джорджо Балларин продал секрет изготовления стекла французам и был наказан за "государственную измену". Позже стеклодувы Франции конкурировали с венецианскими мастерами. Характерные витражные рисунки сохранились в храмах и дворцах аристократии: витражи окон дворца Дожей XVI век, витражи Шартрского собора, 1194 г., собора св. Марко XVIII века. Светопрозрачные конструкции имели большие размеры и разнообразные формы, позволяющие создавать эффект обилия света внутри помещений.

В средневековых русских постройках XVIII века остекление больших оконных проемов в виде витражей в России не получило такого широкого распространения, как в Европе, из-за природно-климатических условий. История витражного остекления в России началась с 1820 годов. В 1630-е годы появились первые стеклянные заводы. В связи с этим, витражное остекление в России было редким явлением.

С XIX века остекление фасадов получило развитие, архитекторы получили возможность создавать интересные объекты. Торговые помещения, как правило, располагались на первых этажах жилых зданий [1-3]. Для привлечения покупателей появились витрины, позволяющие остеклить большие площади ограждений. Устройство витрин, светопрозрачных ограждений и перегородок осуществлялось за счет использования легких металлических конструкций и остекления. Внутренние пространства визуально расширялись за счет отсутствия каких-либо опор. Примерами удачного эксперимента устройства широких светопрозрачных конструкций стали: верхние торговые ряды в Москве (ГУМ, архитектор П.П. Щекотов, начало строительства XVIII в. - 1953 г.), центральный рынок в Париже (архитектор В. Бальтар, 1854-1870 гг.), пассаж-галереи имени Виктора Эммануила II в Милане (архитектор Дж. Менгони, 1865-1877 гг.).

Европеизация России в петровскую эпоху предопределила развитие производства стекла. Активизация русско-немецких контактов в 1870-е годы способствовали формированию неоренессанского стиля в архитектуре петербургских дворцов. Остекление приобрело активный характер в зданиях культового и светского характера. В 1917 году революция в России приостановила развитие витражного остекления. Потребность в рекламе и создании привлекательных общественных зданий стимулировали изготовление разноцветных окон. Первые окна были простыми и рисунок имитировал живопись на стекле. В 1820-1840-е годы витражное остекление получило популярность среди особняков дворян. Витражное искусство во второй четверти XIX века в России было неразрывно связано с романтическими представлениями, пришедшими из Европы [4].

Светопрозрачные конструкции фасадов создают привлекательность общественному зданию, связывая воедино остов и фасад здания. Примером русского витражного остекления могут служить сохранившиеся памятники архитектуры в Санкт-Петербурге XIX - начала XX веков: павильон Ферма в Павловске, цветные окна церкви св. Александра Невского (Петергоф, архитектор К.Ф. Шинкель, 1883 г.

Стиль барокко и рококо, появившиеся в архитектуре Италии в XVI-XVIII вв. явился результатом стиля Ренессанса, вследствие влияния церкви, а также новой философии. Стиль барокко отличался декоративностью, монументальностью, оригинальностью. Стиль рококо, несмотря на криволинейность поверхностей, парадную роскошь, стал одним из первых безордерных стилей. Архитекторы создавали разнообразные пластические фасады, наполненные декором с выпуклыми и вогнутыми поверхностями, применяли игру света и теней, арочные оконные проемы: Палатца Кариньяно. (Арх. Г. Гварини. 1679 г), «стеклянный дом» (Maison de Verre) в Париже, 1928-1931 годов [5]. В России светопрозрачные конструкции получили

развитие в период эклектики. Первые русские светопрозрачные конструкции в виде витража были представлены примитивной мозаикой из цветного стекла. Строительство зданий со сплошным остеклением было реализовано в Здании Верхних торговых рядов в г. Москва, проект А.Н. Померанцева, В.Г. Шухова и А.Ф. Лолейта, 1889-1893 гг. со светопрозрачными галереями пассажирами в виде металлической арки с затяжкой с пролетом 14 м. На покрытие каждого пролета ушло более 20 000 кв. м. стекла.

Уникальные свойства стекла были использованы при строительстве гостиницы «Метрополь» в Москве, (1898-1903 гг.), которая имела светопрозрачные конструкции. Ленточные окна в наружных стенах цехов стали устраиваться английскими строителями в последней четверти XIX века. Одним из первых промышленных зданий с остекленными большими поверхностями стал: турбинный завод AEG (архитектор П. Беренс, 1909 г.).

Бурный рост научно-технической революции стимулировал строительство зданий из металлических каркасных и железобетонных конструкций. Стекло стало строительным материалом в технологии производства листового стекла. При возведении зданий с необычными объемно-пространственными решениями активно использовались стальные профили и железобетон: купол Палаты депутатов (Франция, 1829-1833 гг.), Орлеанская галерея (архитектор Фонтэн, Франция, 1829 г [6,7]).

Воплощением новых идей возведения здания с большими остекленными плоскостями стала фабрика «Фагус», архитектора В. Гропиуса, 1911 г. Сооружение представляло собой цельный прозрачный объем. В ограждающих конструкциях использовали листовой материал, изготавливаемый в заводских условиях.

Серия проектов Мис ван дер Роэ, архитектора, который имел влияние на современную архитектуру, в 1919 г. была посвящена созданию высотных зданий с новой конструктивной основой, с ограждениями из

стекла: проект небоскреба в Берлине (1919 г.). Мис ван дер Роэ удивительным способом использовал архитектурно-строительные свойства стекла, превратив фасады высотных зданий в гигантские зеркала, которые отражали окружающий ландшафт. Примером реализации здания из железобетонного каркаса с заполнением из стекла является проект административного здания Мис ван дер Роэ, 1922 г. Участки навесного стенового фасада были выдвинуты вперед от ленточного остекления, что создавало эффект легкости. Павильон был облицован черным стеклом, перегородки были выполнены из серого и бутылочного стекла, две плоскости - из трапленого стекла.

Интерес представляет концепция проекта комплекса Баухауз (Дессау, 1926 г.) В. Гропиуса, где окна были представлены в виде сплошного светопрозрачного ограждения с узкими непрозрачными участками в верхней и нижних частях здания. Данный подход создавал ощущение взаимопроникновения наружного и внутреннего пространств. Стены были закреплены к несущему каркасу консолью с наружной части. Принцип открытой архитектуры Ле Корбюзье в 30-е годы был реализован в проекте здания Центрсоюза (здание Госкомитета) в Москве (архитектор Н. Колли). В основе конструктивной системы сооружения был заложен каркас с несущими колоннами, главный фасад был полностью остеклен.

Идея рациональности и практичности Франк Ллойд Райта (архитектор США) была воплощена в создании ленточного и панорамного остекления в виде обильного остекления с большими солнцезащитными козырьками. Профессиональное кредо Райта выражалось в единстве человека и окружающей среды. Часто в проекте просматриваются приемы использования верхнего или верхнебокового естественного освещения за счет световых проемов в кровле и в местах перепада уровней: Дом Мильком Вилли (штат Миннесота, США, 1933-1934 гг.), архитектора Ф.Л. Райт.

Проекты Райта относятся к периоду освоения промышленного производства широкоформатного стекла. В своих работах он использует витражи, выполненные из мелких кусков стекла, окрашенные в массу: Дом Дарвина Д. Мартина, Буффало, штат Нью-Йорк, 1904 - 1905 гг. Арх. Ф.Л. Райт.

В 1920-х годах в США и Японии компаниями Питсбург Плэйт Гласс (Pittsburg Plate Glass — PPG) и Асахи (Asahi) налажено производство широкоформатного строительного стекла, в основе которого лежал метод вертикального вытягивания стеклянной ленты. Данный метод был изобретен в конце XIX века Фурко и Колбурном. Промышленный выпуск такого стекла создал новые возможности для архитектурного дизайна. В 30-е годы Райт создает полностью стеклянные стены, которые отражают основное кредо архитектора - единство природы и внутреннего пространства.

В Европе отреагировали на изобретение широкоформатного стекла развитием направления в виде Интернационального стиля. Начало философии свободного внутреннего пространства с использованием ленточного остекления было положено такими проектами, как Виллы в Гарше (1926 - 1928 гг.) и в Савойе (1928 - 1931 гг.) Арх. Ле Корбюзье. Родоначальником «стеклянных небоскребов» стал немецкий архитектор Мис Ван дер Роэ, которому принадлежит идеология новой архитектуры создания абсолютной формы: Фарнсвортс Хаус, «стеклянный дом», 1951 год. 1930-е годы - период широкого использования ленточных светопрозрачных конструкций со сплошными ограждениями из стекла. В основе конструкций зданий был использован каркас с навесными ограждениями. Большие площади ограждений облицовывали сплошным остеклением как из бесцветного стекла, так и из цветного, цветного непрозрачного покрытия (эмелированного).

В 1994 г. архитектурная антигравитация нашла отклик в уникальных нестандартных зданиях: офисный комплекс «Ворота Европы» в стиле

постмодернизма, высотой 114 м (Мадрид, 1994 г., проект Филиппа Джонсона и Джона Берджи). Комплекс представлен двумя 24-этажными призматическими башнями со сплошным фасадным остеклением, которые резко наклонены друг к другу под углом 30°. Крестообразные несущие конструкции, обеспечивающие устойчивость, сильно акцентированы на фасаде. Мистическая концепция Ричарда Бакминстера Фуллера, касающаяся создания «климатической оболочки» над Манхэттеном была исполнена в проекте павильона США на Всемирной выставке в Монреале EXPO'67. Купол сооружения состоял из крашенных прозрачных панелей, имел диаметр 75 м. Эта же идея была реализована в шарообразном куполе покрытия над центральным залом Театра - Музея Сальвадора Дали в г. Фигейрас, архитектор Э. Пинеиро, 1974 г.

В России период с 1997 по 2002 года был ознаменован переходом к производству стекла нового поколения. В 1970-1980-е годы ознаменовались прорывом в оконной отрасли, было разработано на уровне заводского производства магнетронное нанесение теплоотражающих покрытий на большеформатные листовые стекла. Остекленные наружные стены в современном европейском понимании стали трактоваться как конструктивные элементы наружной оболочки здания, которые наделены изменяемыми техническими характеристиками при эксплуатации [7,8]. С 1990-х годов такого рода стекла станут основным элементов светопрозрачных конструкций с энергосберегающими характеристиками. К 2003 году Китайская Народная Республика вышла на лидирующее место по производству светопрозрачных конструкций. Усиленное строительство высотных общественных зданий стимулировало светопрозрачных панелей, обустройство которых было экономически оправдано.

Активно стали развиваться проекты в области расширения световых проемов и увеличения естественного освещения. Инженер Rick Silas в 1990 г.

согнул закаленное стекло при комнатной температуре, так было изобретено *холодногнутое стекло*. Способ, придуманный Cold Bent Shattered, позволил гнуть стекла вокруг практически любых разнообразных конструкций. Одним из первых объектов в России построенных с использованием технологии холодногнутого стекла стало здание ОАО «Банк «Санкт-Петербург», площадь остекления которой составила 20 000 м². (Рис. 1)



Рис. 1 Стеклопанельная 22-этажная башня банка «Санкт-Петербург»

Следующий объект - *башня «Эволюция»* в Москва-Сити высотой 255 м. Легендарный *небоскрёб Swiss Re* в Лондонском Сити — «Мэри-экс» высотой в 180 м (40 этажей), 2001-2004 гг. был построен из гнутого стекла, стеклянной «линзой» сверху. Листовое стекло крепится на основные конструкции. Опорный каркас здания выполнен из стальных труб, пересекающихся по треугольной схеме.

Широкое распространение получило устройство герметичных светопрозрачных конструкций с энергосберегающими свойствами. Инновационные технологии позволили совместить фасадные конструкции с солнечными батареями, интегрируя с дополнительными устройствами в единую автоматическую управляемую систему. Кроме того, системы фасадного остекления имеют функции охлаждения в ночное время

внутренних помещений, дымоудаления. Улавливание солнечной энергии позволяет создавать энергонезависимые общественные здания круглогодичного цикла жизнеобеспечения объекта. Здания со светопрозрачными ограждениями стали видоизменять свой облик: появлялись объемы со скругленными углами, далее с геометрическими четкими объемами, где выявляется каркасная структура [9,10].

Массовое производство новых строительных материалов дало возможность применения эффективного тонкопленочного солнечного элемента, фотоэлектрических систем в фасадной индустрии. Финансовый кризис 1930-х годов позволил оставаться на твердых позициях компаниям, выведшим на рынок новые технологии, которые имели лучшие потребительские характеристики, несмотря на их дороговизну. В России затратные проекты были заморожены и компании перешли на выпуск дешевой и менее качественной продукции в области светопрозрачных конструкций. Все большее внимание стало уделяться глобальным проблемам энергосбережения. В 2009 году Европейскими нормами "EnEV 2009 - Energieeinsparverordnung für Gebäude" был введен в действие коэффициент теплопередачи светопрозрачных конструкций равный не более $1,3 \text{ Вт/мм}^2 \cdot ^\circ\text{C}$ (сопротивление теплопередаче - не менее $0,769 \text{ м}^2 \cdot ^\circ\text{C/Вт}$), с 2012 года коэффициент теплопередачи должен быть не более $0,8-0,9 \text{ Вт/мм}^2 \cdot ^\circ\text{C}$ (сопротивление теплопередаче не менее $1,11-1,25 \text{ м}^2 \cdot ^\circ\text{C/Вт}$).

Спустя годы компаниями VEKA, SCHUECO, Profine, Rehau, и др. создаются новые системы фасадного остекления:

«холодный фасад», где внешний слой из панелей стекла, конструкция стены здания выполняет функцию теплоизоляции, а на нее крепится внешний слой стекла с воздушным зазором;

«вытяжной фасад», при котором внешний слой - стекло со стеклопакетом, установленным на расстоянии 15-20 см. Воздушное

пространство выполняет роль вентиляции, отвода воздуха и нагрева поступающего свежего воздуха; «структурное остекление», где в единую конструкцию объединены металлический профиль, керамика и стекло с целью создания гладкого цельного стеклянного фасада. При такой конструкции используется силиконовый герметик.

Последующее развитие систем фасадного остекления общественных зданий было направлено на улучшение технических показателей стеклопакета посредством применения инновационных конструктивных и инженерных решений: уменьшение затрат на энергоресурсы, улучшение параметров микроклимата помещений, повышение показателей остекления фасада, светопропускания стекол, уменьшение тепловых потерь.

Новые виды крепления позволили создавать сплошное остекление фасадов: *рамное крепление* стекла - профильные системы остекления, *точечное*. При рамной системе остекления на горизонтальных и вертикальных металлических профилях крепятся элементы светопрозрачной конструкции. Несущие профили бывают видимыми (стоечно-ригельная система) или не видимыми (структурная система остекления). Точечное крепление остекления является дорогостоящей системой. Такое крепление подвешивается к стальному несущему каркасу при помощи стальных коннекторов с болтами на шарнирных креплениях. Данная конструкция позволяет создать объем и эффект заполнения светом. *Планетарная* система включает стеклопакеты и одинарные стекла, где через специальные отверстия они крепятся к несущей конструкции посредством коннектора из нержавеющей стали.

Литература

1. 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

2. Борискина И.В., Плотников А.А. Светопрозрачные конструктивные элементы гражданских зданий – часть 1. Архитектурно-конструктивное проектирование оконных блоков и деталей установки их в наружных стенах. – М.: МГСУ, 2008. – 41 с.

3. Штайнер В.Ю., Питык А.Н., Архипова Е.С., Колотиенко М.А. Энергосбережение в России: основные проблемы и перспективы // Инженерный вестник Дона, 2017, №4. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2017/4564

4. Лицкевич В. К., Макриненко Л. И., Мигалина И. В. и др.; Под редакцией Оболенского Н. В. Архитектурная физика: Учебник для вузов: Спец. «Архитектура». — Москва: «Архитектура-С», 2007. - 310 с.

5. Diao Eric Weiguang, Chen Peter Chaoyu. Perovskite Solar Cells: Principle, Materials And Devices. Series On Chemistry, Energy And The Environment // World Scientific, 2017. pp.10-11

6. Juan Bisquert. The Physics of Solar Cells: Perovskites, Organics, and Photovoltaic Fundamentals // CRC Press, 2017. pp. 11-20

7. Евтушенко А.И., Олейникова Е.В., Агеева В.А., Барамия А.Л., Хван О.П., Нор-Аревян С.Л. Развитие высотного строительства в Ростове-на-Дону // Инженерный вестник Дона, 2017, №4. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2017/4404

8. Шеина С.Г., Миненко Е.Н. Разработка алгоритма выбора энергоэффективных решений в строительстве // Инженерный вестник Дона, 2012, №4. URL: ivdon.ru/magazine/archive/n4p1y2012/1099.

9. Дэвид Фишер. Динамическая архитектура будущего. Лекции на англ.яз. // Институт "Стрелка", 2015 URL: strelka.com/ru.



10. Renewable Energy Policy in Russia: Waking the Green Giant // IFS Russia renewable energy program In Partnership with the Global Environment Facility (GEF), Washington (United States of America) // ifc.org URL: ifc.org/wps/wcm/connect/bf9fff0049718eba8bcaaf849537832d/PublicationRussia RREP-CreenGiant-2011-11.pdf?MOD=AJPERES

References

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

2. Boriskina I. V., Plotnikov A.A. Svetoprozrachnyye konstruktivnyye ehlementy grazhdanskikh zdaniy – chast' 1. Arhitekturno-konstruktivnoe proektirovanie okonnyh blokov i detalej ustanovki ih v naruzhnyh stenah. [Translucent structural elements of civilian buildings - part 1. Architectural and constructive design of window blocks and their installation details in external walls]. M, MGSU. 2008. 41 p.

3. V.Ju. Shtajner, A.N. Pityk, E.S. Arhipova, M.A. Kolotienko. Inzhenernyj vestnik Dona (Rus), 2017, №4. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2017/4564

4. Liczkevich V. K., Makrinenko L. I., Migalina I. V. i dr.; Pod redakciej Obolenskogo N. V. Arhitekturnaya fizika: Uchebnik dlya vuzov: Specz. «Arhitektura» [Architectural physics: Textbook for high schools: Spec. "Architecture"]. Moskva: «Arhitektura-S», 2007. 310 p.

5. Diao Eric Wei-guang, Chen Peter Chao-yu. World Scientific, 2017. pp. 10-11.

6. Juan Bisquert. CRC Press, 2017. pp. 11-20. Jens Nørkær Sørensen. Springer, 2015. pp. 151-179.

7 Evtushenko A.I., Oleynikova E.V., Ageeva V.A., Baramiya A.L., Hvan O.P., Nor-Arevyan S.L. Inzhenernyj vestnik Dona (Rus), 2017, №4. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2017/4404



8. Sheina S.G., Minenko E.N. Inzhenernyj vestnik Dona (Rus), 2012, №4. URL: ivdon.ru/magazine/archive/n4p1y2012/1099.

9. Devid Fisher. Dinamicheskaya arkhitektura budushchego [Dynamic architecture of the future]. Strelka institute, 2015. URL: strelka.com/ru.

10. .Renewable Energy Policy in Russia: Waking the Green Giant. IFS Russia renewable energy program In Partnership with the Global Environment Facility (GEF), Washington (United States of America). ifc.org. URL: ifc.org/wps/wcm/connect/bf9fff0049718eba8bcaaf849537832d/PublicationRussiaRREP-CreenGiant-2011-11.pdf?MOD=AJPERES