

УДК 692

ФАСАДНЫЕ СИСТЕМЫ В ВЫСОТНОМ СТРОИТЕЛЬСТВЕ

С.В. Ли¹, О.С. Гамаюнова²

^{1,2} Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого,
г. Санкт-Петербург (Российская Федерация)

Аннотация. На сегодняшний день высотное строительство развивается небывалыми темпами. Небоскребы стали все чаще появляться в мегаполисах, задавая архитектурный стиль облику города. Одним из важнейших направлений при проектировании высотных объектов является оформление фасадов, которые должны отвечать эстетическим, климатическим и конструктивным требованиям, в виду чего особенно важен выбор материала и конструкции будущего фасада. В статье затрагивается тема высотного строительства в Санкт-Петербурге с точки зрения выбора ограждающих конструкций. В работе представлены существующие виды и конструкции фасадов, их достоинства и недостатки; представлено сравнение фасадов по теплотехническим характеристикам, а также по удобству монтажа в условиях высотного строительства. С точки зрения архитектурных возможностей сборные бетонные конструкции имеют больший спектр форм и решений по сравнению с рассмотренными типами фасадов. Недостатки и ограничения, вызванные весом конструкции, смягчаются при использовании легких бетонов и распределении нагрузки от собственного веса на перекрытия здания. Тем не менее, на данном этапе существующих технологий возведения и эксплуатации зданий из легких сталебетонных конструкций целесообразно применять для высотного строительства светопрозрачные фасады.

Ключевые слова: высотное строительство, фасады, сборные бетонные фасады, навесные фасады, светопрозрачные фасады, «мокрые» фасады, теплотехнические характеристики.

Ссылка для цитирования: Ли С.В., Гамаюнова О.С. Фасадные системы в высотном строительстве // Инженерные исследования. - 2021. - № 4(4). - С. 3-14. – URL: <http://eng-res.ru/archive/2021/4/3-14.pdf>

FACADE SYSTEMS IN HIGH-RISE CONSTRUCTION

S.V. Li¹, O.S. Gamayunova²

^{1,2} Peter the Great St.Petersburg Polytechnic University, St.Petersburg (Russian Federation)

Abstract. Today, high-rise construction is developing at an unprecedented pace. Skyscrapers began to appear more and more often in megalopolises, setting the architectural style for the appearance of the city. One of the most important directions in the design of high-rise buildings is the design of facades, which must meet aesthetic, climatic and structural requirements, in view of which the choice of material and design of the future facade is especially important. The article touches upon the topic of high-rise construction in St. Petersburg from the point of view of the choice of enclosing structures. The paper presents the existing types and designs of facades, their advantages and disadvantages; presents a comparison of facades in terms of heat engineering characteristics, as well as ease of installation in conditions of high-rise construction. From the point of view of architectural possibilities, precast concrete structures have a wider range of shapes and solutions compared to the considered types of facades. The disadvantages and limitations caused by the weight of the structure are mitigated by the use of lightweight concrete and the distribution of the dead load on the building floors. Nevertheless, at this stage of the existing technologies for the construction and operation of buildings made of light steel-concrete structures, it is advisable to use translucent facades for high-rise construction.

Keywords: high-rise construction, facades, prefabricated concrete facades, hinged facades, glass facades, wet facades, heat engineering characteristics.

For citation: Li S.V., Gamayunova O.S. Facade systems in high-rise construction // Inzhenernyye issledovaniya [Engineering Research]. - 2021. - No. 4(4). - Pp. 3-14. – URL: <http://eng-res.ru/archive/2021/4/3-14.pdf>

ВВЕДЕНИЕ

На сегодняшний день высотное строительство развивается небывалыми темпами. Небоскребы стали все чаще появляться в среде мегаполисов, задавая архитектурный стиль облику города. Серые и неприметные здания более не доминируют на улицах, поэтому дизайн зданий имеет важную задачу формирования комфортной городской среды. Исходя из этого, одним из важнейших направлений при проектировании высотных объектов является оформление фасадов, которые должны отвечать эстетическим, климатическим и конструктивным требованиям. Ввиду этого особенно важен выбор материала и конструкции будущего фасада.

В настоящее время высотное строительство в Петербурге затруднено не только ограничением высотности, но и погодными, грунтовыми и архитектурными условиями [1]. Центр города представляет собой историческое достояние России и признан как объект Всемирного наследия ЮНЕСКО. Однако город с каждым годом растет и новые улицы не отличаются оригинальностью дизайна, а представляют собой серые многоэтажные застройки, что требует изменение подхода к высотному строительству в пользу лаконичных и уникальных фасадных решений.

ВИДЫ И КОНСТРУКЦИИ ФАСАДОВ

История высотного строительства началась более века назад и за это время изменилось как само определение высотного здания, так и задачи, выполняемые этими постройками. Первый небоскреб был построен в США и имел всего 10 этажей и высоту 42 м. На данный момент ввиду технического прогресса появилась возможность строить более высокие здания, и сегодня в каждой стране по-разному характеризуют высотные строения: в США и Европе высота объекта должна составлять более 100 м, когда в России более 75 м. Также поменялись и задачи, возлагаемые на данные постройки, но первичная цель, которой придерживаются при проектировании высотного здания - экономия, осталась неизменной. В современном мегаполисе высотное здание - доминантный архитектурный объект, формирующий внешний облик города [2, 3].

Новая эпоха в строительстве принесла в отрасль новые материалы, на сегодняшний день для возведения фасадов используются совершенно разные материалы: от тяжелого бетона до хрупкого стекла. Но вследствие массивности зданий архитектурные формы, используемые при проектировании, и фасады характеризуются простотой и лаконичностью, что не мешает им выделяться на фоне окружающей застройки не только с помощью своих габаритов и архитектурной выразительности [4-6].

В современном высотном строительстве широкое распространение получили следующие виды фасадов: светопрозрачные конструкции, навесной и бетонный фасады (рис. 1-3).

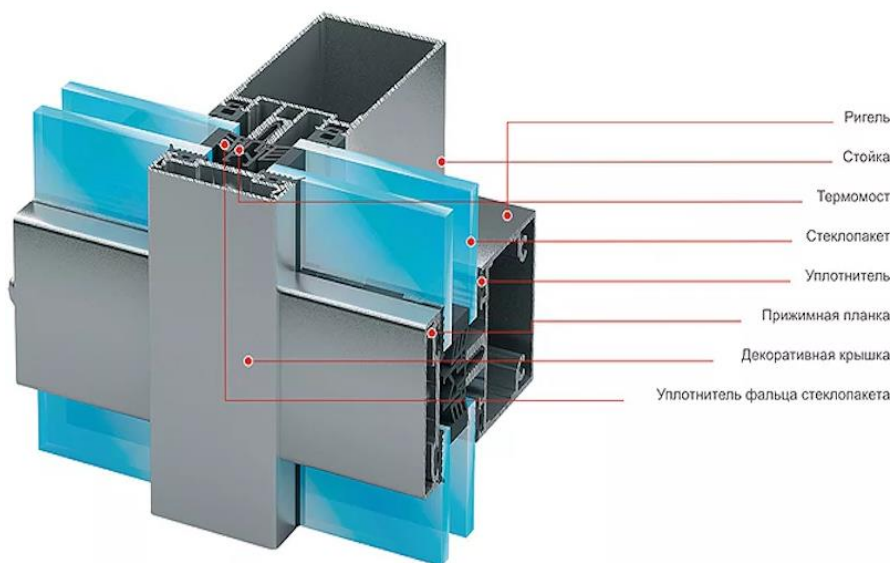


Рис. 1. Пример конструкции светопрозрачных фасадов¹
Fig. 1. An example of the construction of translucent facades

¹ КотелОК/ Особенности структурного остекления фасадов: преимущества конструкции [Электронный ресурс]. - URL: <https://kotelsibir.ru/iz-stekla/strukturnoe-osteklenie-fasadov.html> (дата обращения: 12.11.2021)



Рис. 2. Пример конструкции навесных фасадов²
Fig. 2. An example of the construction of hinged facades

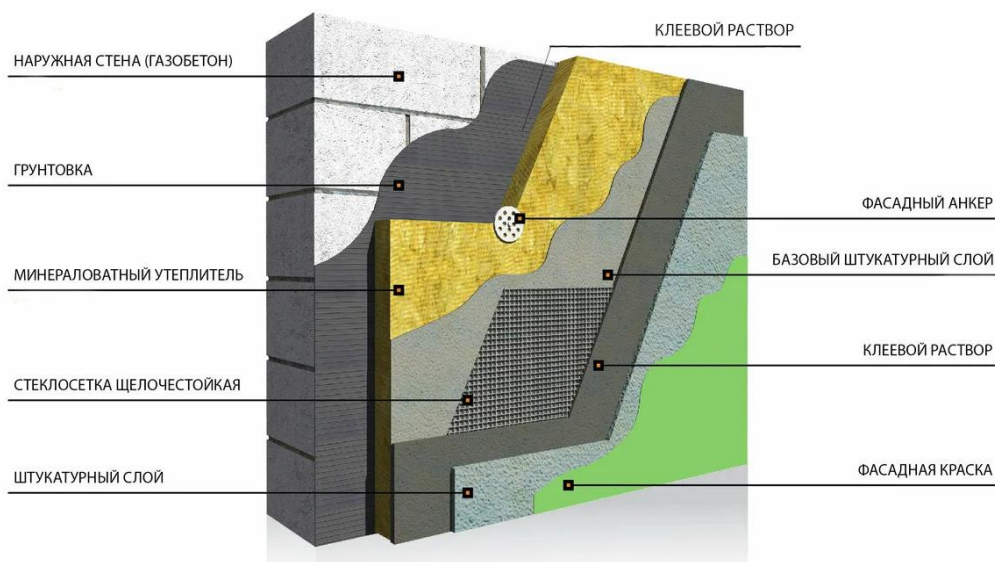


Рис. 3. Пример конструкции бетонных фасадов³
Fig. 3. An example of the construction of concrete facades

Главными факторами, влияющими на выбор конструкции фасада, являются осадки и инсоляция, так как зачастую высота зданий превышает 100 м и фасады высотных зданий состоят из легких материалов или имеют тонкую конструкцию для уменьшения нагрузок на здание.

Вопросы с отводом воды, температурным и световым режимами в помещениях также имеют большое значение. Огромные массы воды, стекающие по фасаду, представляют серьезную проблему, которая решается путем устройства внутренних стояков и изменением фасадных систем.

Инсоляция является серьезной проблемой в летний период, так как на верхних этажах солнечные лучи не ограничиваются близстоящими постройками, а попадают напрямую на фасад. Необходимо учитывать направление здания относительно сторон света и рекомендуется использовать различные покрытия на стекла, защищающие от излишнего воздействия солнечного света, а также специальные фасадные системы.

²Монтаж вентилируемых фасадов [Электронный ресурс]. - URL: <https://saucyintruder.org/montaz-fasadov-vysokogo-kacstva> (дата обращения: 12.11.2021)

³Как оштукатурить дом из газобетона снаружи [Электронный ресурс]. - URL: <https://strojdvor.ru/krupnye-konstrukcii/chem-shtukaturit-gazobeton-snaruzhi-doma/> (дата обращения: 13.11.2021)

СРАВНЕНИЕ ФАСАДОВ ПО ТЕПЛОТЕХНИЧЕСКИМ ХАРАКТЕРИСТИКАМ

В России наиболее популярно в высотном строительстве использование светопрозрачных фасадов, выполненных по технологии двойных фасадов, что предусматривает систему, состоящую из наружного и внутреннего слоев остекления и воздушной прослойки. Одной из функций воздушной прослойки является расположение в ней систем солнцезащиты - поворачивающихся ламелей. Глубина воздушной прослойки и тип вентиляции в ней определяются исходя из климатических характеристик региона строительства, требуемых теплотехнических характеристик наружного ограждения и общих принципов проектирования здания, включая его инженерные системы [7-9].

Испытания, проведенные научным коллективом НИИСФ РААСН на образцах фасада небоскреба Лахта-центр (рис.4), показали, что не существует физического обоснования строительства двойного фасада в выбранной климатической зоне с точки зрения энергоэффективности. При расчетной зимней температуре необходимо израсходовать 92 Вт·ч/м² для поддержания на внутренней поверхности наружного фасада требуемой температуры. Летом потребуется кондиционирование здания с двойным фасадом даже при тех температурных условиях, когда одинарный фасад позволил бы обойтись естественной вентиляцией. Исследования позволили определить границы применимости двойных фасадов в зимнее время. При наружной температуре ниже -5°C предложенный двойной фасад не соответствует российским нормам [9]. Перечисленные выводы свидетельствуют скорее о специальных свойствах двойного фасада, для декоративных, акустических или защитных целей. Это помещает двойные фасады в категорию специальных фасадов, возведение которых ввиду двойной цены требует глубокого технико-экономического обоснования. Энергоэффективность данной конструкции двойного стеклянного фасада до сих пор не подтверждена.



Рис. 4. Схема фасада небоскреба Лахта-центра⁴

Fig. 4. Diagram of the facade of the Lakhta Center skyscraper

Конструкции навесных фасадов характеризуются своим разнообразием: стоечно-ригельный, с рамным остеклением, со структурным остеклением, с полуструктурным остеклением и теплый. В общем случае этот тип фасадов представляет собой конструкцию, состоящую из вертикальных и горизонтальных профилей, заполнения или деталей, соединенных между собой и закрепленных на каркасе здания при помощи кронштейнов. Конструкция образует наружную оболочку здания, которая самостоятельно или в сочетании с каркасом здания выполняет функции наружной стены, но не участвует в восприятии нагрузок каркаса здания [9].

⁴ Хрустальные дворцы. Почему небоскребы строят из стекла [Электронный ресурс]. - URL: <https://lenta.ru/articles/2016/06/29/zamki/> (дата обращения: 13.11.2021)

Теплотехнические свойства навесных фасадов в большей степени зависят от используемых материалов и их толщины. Следует отметить, что при проектировании подобного типа фасадов необходимо учитывать и обосновывать оптимальность выбора тех или иных видов теплоизоляционных материалов, учитывать условия, при которых утеплитель в конструкции фасада будет обеспечивать расчетные характеристики и продолжительный срок эксплуатации.

Для наглядного представления влияния схемы устройства вентилируемых фасадов на теплотехнические свойства на рис.5 и рис.6 изображены результаты исследования для двух систем: первая - с креплением кронштейнами, вторая - с креплением анкерами и резьбовыми шпильками [10]. Применяя для изготовления кронштейнов коррозионностойкие стали (20 Вт/м·°С), теплопроводность которой значительно ниже, чем теплопроводность оцинкованной стали (47 Вт/м·°С) или алюминиевых сплавов (209 Вт/м·°С), можно повысить коэффициент теплотехнической однородности конструкции [10, 11], но введение такого материала как коррозионностойкие стали значительно повысит стоимость устройства данной фасадной системы.

Согласно наблюдениям и расчетам, такой технологический процесс, как устройство вентилируемых фасадов должен исключать применение паронепроницаемой тепловой защиты. Как показывают результаты исследований, применение теплоизолятора данного типа заметно снижает эксплуатационную эффективность такой конструкции, как система вентилируемых фасадов. Технические параметры таких систем, как вентилируемые фасады зданий во многом зависят и от таких технологических процессов, как монтаж вентилируемых фасадов, устройство вентилируемых фасадов на стенах, оснащенных оконными блоками.

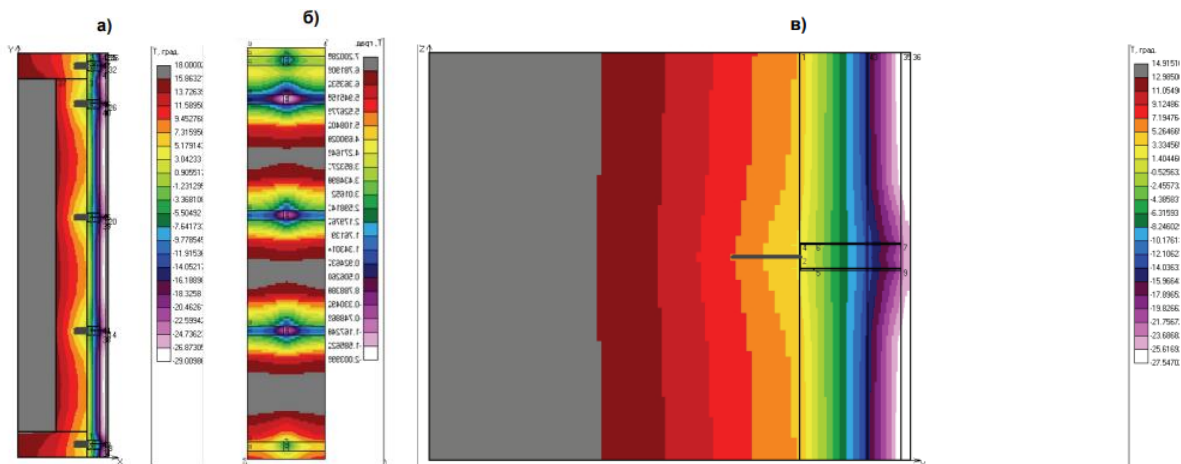


Рис. 5. Изополя температур в первой системе: а - по вертикальному сечению стены; б - по плоскости стены; в - по горизонтальному сечению стены, проходящему через кронштейн, установленный в перекрытии [10]

Fig. 5. Isofield of temperatures in the first system : a - along the vertical section of the wall; b - along the plane of the wall; c - along the horizontal section of the wall passing through the bracket installed in the ceiling

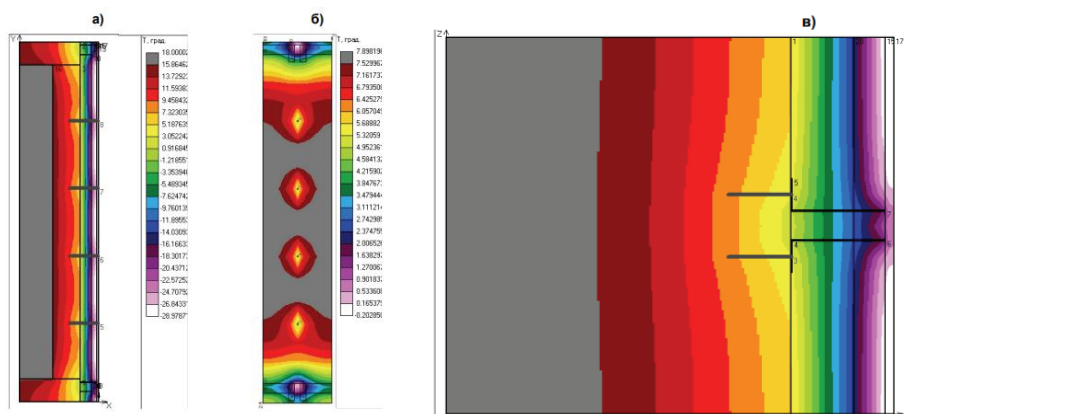


Рис. 6. Изополя температур во второй системе: а - по вертикальному сечению стены; б - по плоскости стены; в - по горизонтальному сечению стены, проходящему через несущий кронштейн (устанавливается в перекрытии) [10]

Fig. 6. Temperature isofield in the developed system: a - along the vertical section of the wall; b - along the wall plane; c - along the horizontal section of the wall passing through the bearing bracket (installed in the ceiling)

Бетонные фасады отличаются разнообразием конструкций и отделочных материалов от облицованных архитектурным бетоном до мокрых фасадов. Конструкция наружных стен при этом имеет структуру: бетонная стена, клей для утеплителя, плиты теплоизоляционные, штукатурка, армирующая сетка, второй слой штукатурки и отделочный материал (с креплением, если требуется).

Широкое распространение в России получили «мокрые» бетонные фасады. Вследствие частичной схожести конструкций навесных и «мокрых» фасадов: оба предусматривают бетонную основу с креплением к ней утеплителя - теплотехнические характеристики данных систем имеют примерно равные значения. Но ввиду использования водных растворов при монтаже «мокрых» фасадов их теплозащитные свойства снижаются [12].

В Европе последние годы набирают популярность фасады из сборных панелей железобетона без отделки. Конструкция представляет собой: внутренний слой бетона, утеплитель и внешний слой бетона. Теплотехнические характеристики таких ограждающих конструкция так же, как и для «мокрых» фасадов, регулируются с помощью увеличения или уменьшения теплоизолирующего слоя, а также использования различных теплоизолирующих материалов. Но основное преимущество таких сборных конструкций перед «мокрыми» фасадами заключается в отсутствии водных покрытий в технологии монтажа. Изолирующую способность негативно влияет наличие стыков у сборных панелей, поэтому корректное устройство монтажа данных ограждающих конструкций обеспечит отсутствие нарушений теплоизоляции.

СРАВНЕНИЕ ФАСАДОВ ПО УДОБСТВУ МОНТАЖА В УСЛОВИЯХ ВЫСОТНОГО СТРОИТЕЛЬСТВА

Привычные для высотного строительства светопрозрачные фасады придают зданиям собственную динамику и архитектурно выделяют на фоне близстоящих конструкции. Здание за счет добавления граней (рис.7) или объемного остекления (рис.8) приобретает индивидуальность.



Рис. 7. Граненый светопрозрачный фасад (штаб-квартира Neo Solar Power Corporation)⁵
Fig. 7. Faceted translucent facade (headquarters of Neo Solar Power Corporation)

⁵ Neo Solar Power Corporation / J.J. Pan & Partners [Электронный ресурс]. - URL: <https://www.archdaily.mx/mx/610451/neo-solar-power-corporation-jj-pan-and-partners> (дата обращения: 15.11.2021)

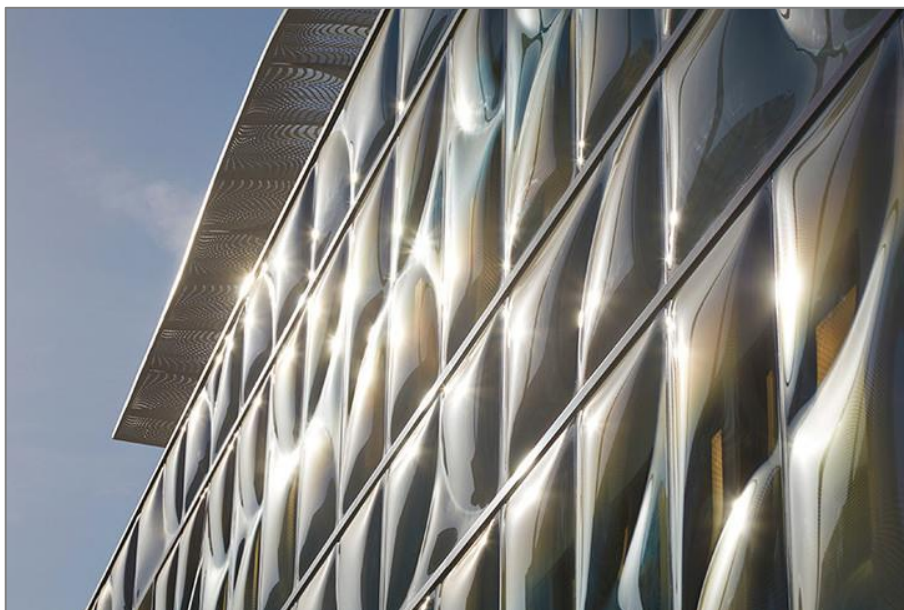


Рис. 8. Использование объемного остекления (офисное здание Gores Group в Беверли-Хиллз)⁶
Fig. 8. The use of volumetric glazing (Gores Group office building in Beverly Hills)

Стекло является проверенным ограждающим материалом, но при сборке стеклянных панелей возникают нарушения изоляции здания в местах стыков. Поэтому качественно выполненные монтажные работы гарантируют отсутствие утечек тепла и проникновение влаги в помещения. Установка светопрозрачных фасадов предусматривает следующие этапы:

1) При помощи измерений вычисляется сторона доминирующих ветров. Отдельно нужно отметить, что открывающиеся панели лучше не располагать на этой стороне. Получить эти данные также можно в метеорологической станции их специалисты помогут осуществить быстрые и точные замеры «розы» ветров.

2) Сначала производится установка вертикальных стоек. Технология их монтажа аналогична созданию каркаса под гипсокартон. После устанавливаются горизонтальные балки. Узлы могут свариваться или соединяться между собой при помощи саморезов и других крепежных изделий. На поверхность металлического профиля крепится резина.

3) Для установки нужно рассчитать шаг каркаса. Он зависит от размера листов или рекомендаций производителей. Этот показатель может варьироваться от 300 мм до 1000.

4) После производится утепление. В зазоры между балками монтируется пленка гидроизоляции, на которую настилается теплоизолятор. На него монтируется пароизоляционная пленка. Это позволяет обеспечить плотный и надежный «пирог» остекления. Если на данном этапе не будут установлены защитные пленки, то под воздействием влаги стойки фасада начнут разрушаться изнутри.

5) Крепление панелей начинается с подветренной стороны. Стеклопакеты достаются из защитных упаковок и монтируются на каркас. Для крепления используются специальные штапики из пластика и резины они не царапают поверхность панели, обеспечивая плотное крепление листов между собой.

Несмотря на практичность светопрозрачных панелей фасада, существуют значительные проблемы, связанные с качеством установки. Проблемы качества монтажа окон (до 12 % обращений граждан в службу «Горячая линия» мэрии Москвы) стали темой ежегодного заседания НТС Комплекса архитектуры, строительства, развития и реконструкции города.

Навесные фасады наряду со светопрозрачными сборными панелями имеют потенциал для создания объемных форм наружного слоя, но, ввиду технологии крепления панелей с помощью металлических деталей ограниченной несущей способности, панели могут отклоняться от вертикальной плоскости на небольшое расстояние, а также имеют ограничение по размеру (рис.9, рис.10).

⁶ Bruce Damonte. Architectural photographer: [Электронный ресурс]. - URL: <https://www.brucedamonte.com/projects/the-gores-group/> (дата обращения: 13.11.2021)

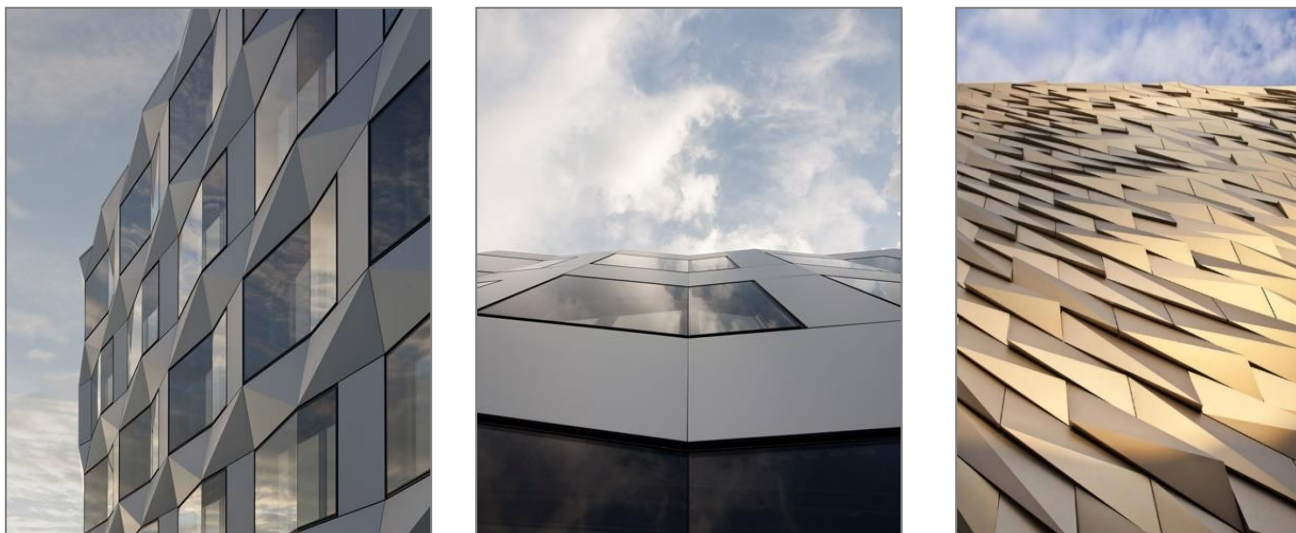


Рис. 9. Граненый навесной фасад (офисное здание «Keystone»)⁷
Fig. 9. Faceted hinged facade (Keystone office building)

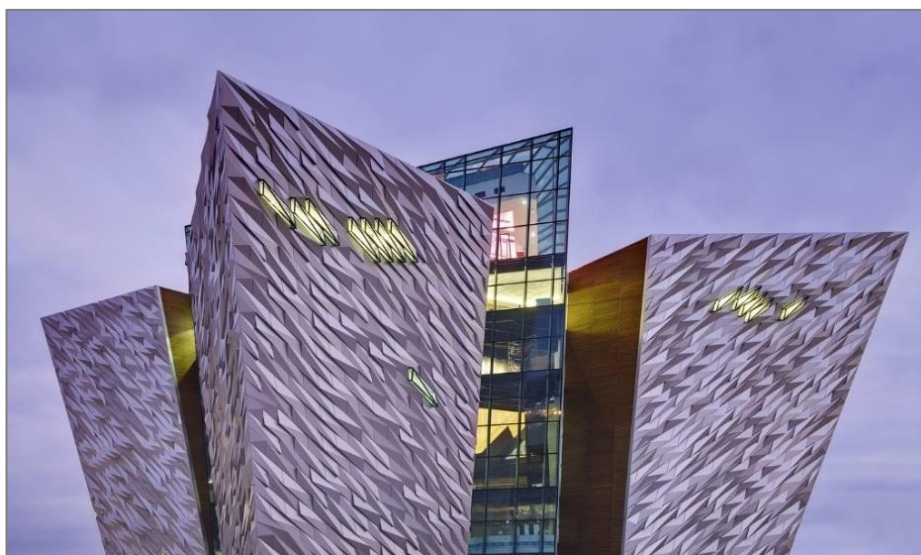


Рис. 10. Текстурированный навесной фасад (музей «Titanic Belfast»)⁸
Fig. 10. Textured hinged facade (Titanic Belfast Museum)

В отличие от светопрозрачного фасада стыки панелей в меньшей степени влияют на изоляцию конструкции. Большую роль для теплотехнической характеристики данного типа фасадов играют примыкания плит утеплителя. Установка навесного вентилируемого фасада (рис.11) начинается с разметки фасада, на который он будет крепиться, и установки кронштейнов и вертикального профиля. Разметка выполняется с помощью геодезических приборов, в частности уровня и отвеса, а в сооружениях более сложной формы используются современные 2-секундные электронные тахеометры для максимальной точности нанесения отражающих марок, чтобы при необходимости была возможность создать электронную версию фасада с выявлением конструктивных проблем и уменьшения затрат на монтаж навесных вентилируемых фасадов.

Установка, крепление кронштейнов и вертикальных профилей могут производиться снизу-вверх и наоборот в зависимости от решений, принятых в проекте организации строительства. После разметки фасада сверлятся отверстия под дюбели для крепления кронштейнов к основанию. В месте примыкания

⁷ Archdaily/ Keystone Office Building: [Электронный ресурс]. - URL: https://www.archdaily.com/331003/keystone-office-building-em2n-architects?ad_medium=gallery (дата обращения: 13.11.2021)

⁸ Archdaily/ Titanic Belfast: [Электронный ресурс]. - URL: https://www.archdaily.com/223483/titanic-belfast-civic-arts-todd-architects?ad_medium=gallery (дата обращения: 15.11.2021)

кронштейна к основанию устанавливается полиамидная вставка толщиной 12–32 мм для снижения теплопередачи. Монтаж плит утеплителя начинается с нижнего ряда, который устанавливается на стартовый профиль, цоколь или другую соответствующую конструкцию и ведется снизу-вверх (в случае установки утеплителя в два слоя должны быть сделана перевязка швов). Плиты утеплителя должны устанавливаться плотно друг к другу, таким образом, чтобы в швах не было пустот, в противном случае будет нарушена целостность, и плиты не смогут защитить внутреннюю конструкцию от пагубного воздействия погодных условий [13].

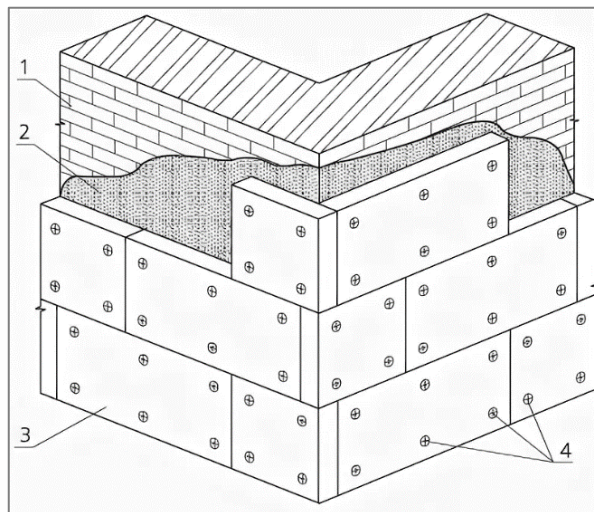


Рис. 11. Схема монтажа утеплителя навесного и мокрого фасадов:
1 - стена, 2 - клей, 3 - панель утеплителя, 4 - винтовой дюбель с шайбой⁹
Fig. 11. The installation scheme of the insulation of the hinged and wet facades:
1 - wall, 2 - glue, 3 - insulation panel, 4 - screw dowel with washer

Мокрый фасад в отличие от предыдущих рассмотренных систем не может образовывать достаточно объемные формы. Для оштукатуренного бетонного фасада характерно добавление архитектурных элементов: рустов, подоконников, кронштейнов, наличников и т.д., выполненных путем наращивания штукатурного слоя. Аналогично навесным, теплоизоляция «мокрого» фасада зависит от сборки слоя утеплителя. «Мокрый» фасад устанавливают в определенной последовательности [13]:

- 1) Подготовка поверхности, включающая в себя очистку, обеспыливание, а также при необходимости частичный ремонт и выравнивание первоначального фасада.
- 2) При необходимости нанесение укрепляющего слоя грунтовки на основание.
- 3) Монтаж костылей оконных сливов и цокольных планок.
- 4) Нанесение клеевого состава на плиты теплоизоляционного материала и их приклеивание к основанию.
- 5) Монтаж на основании плит теплоизоляции при помощи дюбелей или анкеров.
- 6) Монтаж перфорированных уголков из алюминия в углах фасада и на откосах.
- 7) Армирование поверхности сеткой, утопленной в клеевом составе.
- 8) Нанесение повторно слоя клеевого состава или слоя защитной влагоотталкивающей штукатурки.
- 9) Защитно-декоративная отделка при помощи фактурных и тонкодисперсных декоративных штукатурок как с покрытием фасадной краской, так и без зависимости от типа штукатурки.

Монтаж навесных фасадов гораздо быстрее, чем возведение «мокрых», потому что для устройства «мокрого» фасада необходимо пройти несколько стадий монтажа и перед каждой стадией конструкция должна высохнуть, в то время как навесные фасады имеют заготовленный каркас, который необходимо соединить со зданием [14].

Монтаж и реконструкция навесных вентилируемых фасадов очень малозатратны по времени и по экономическим показателям; демонтаж стоит примерно в 5 раз дороже установки самих фасадов, но сама система рассчитана в среднем на 50 лет эксплуатации, при этом каждые 3–4 года должен быть проведен ремонт, и соответственно система не является долговечной. Ремонт фасада «мокрого» типа

⁹ Bruce Damonte. Architectural photographer: [Электронный ресурс]. - URL: <https://www.brucedamonte.com/projects/the-gores-group/> (дата обращения: 15.11.2021)

при правильном подходе можно отложить на 20–30 лет. Косметические дефекты (износ верхнего штукатурного слоя) придется проводить чаще, но он не требует больших финансовых и трудовых затрат [14].

Сборные бетонные панели имеют достаточную прочность наружных слоев для создания объемных форм фасадной поверхности (рис.12, рис.13).

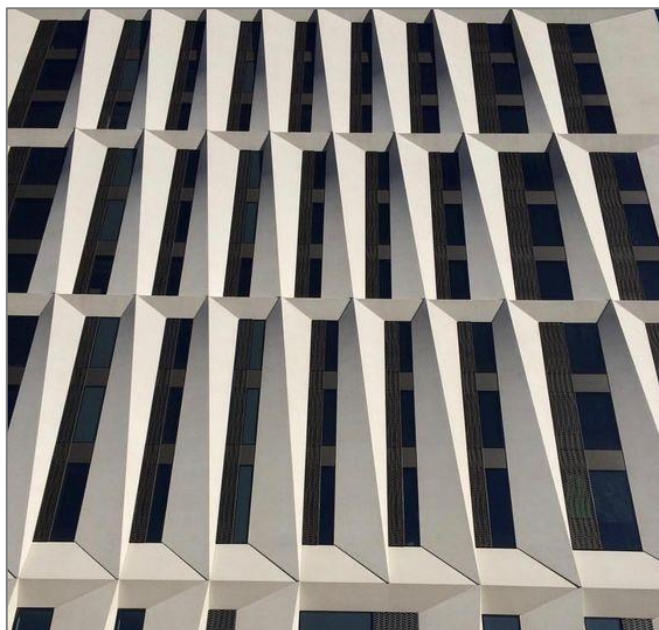


Рис. 12. Граненный бетонный фасад с архитектурной перфорацией (Северный жилой комплекс кампуса Чикагского университета)¹⁰

Fig. 12. Faceted concrete facade with architectural perforation (Northern residential complex of the University of Chicago campus)

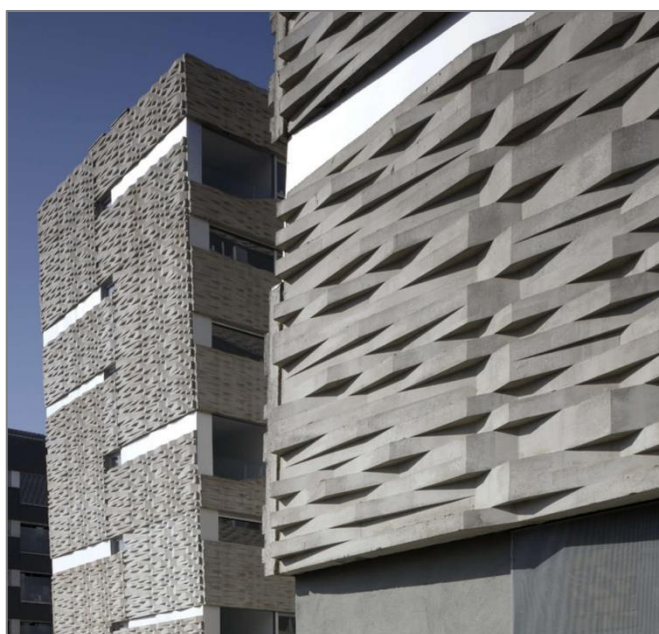


Рис. 13. Текстурированный бетонный фасад (жилой комплекс «Living Madrid»)¹¹

Fig. 13. Textured concrete facade (Living Madrid residential complex)

¹⁰ Archdaily/ University of Chicago Campus North Residential Commons: [Электронный ресурс]. - URL: <https://www.archdaily.com/799351/university-of-chicago-campus-north-residential-commons-studio-gang> (дата обращения: 17.11.2021)

¹¹ Architizer/ Rough It Up: 7 Ways to Add Tone and Texture to Concrete Façades: [Электронный ресурс]. - URL: <https://architizer.com/blog/inspiration/collections/textured-concrete-facades/> (дата обращения: 17.11.2021)

Особое внимание при производстве монтажных работ уделяется стыкам панелей, чтобы обеспечить целостность изолирующего слоя и избежать воздействий внешней среды через примыкания. Этапы монтажа сборных бетонных фасадов:

1) Монтаж начинают с установки панели, которая наиболее удалена от крана, затем идут продольные стены по направлению к наиболее близко расположенной стороне.

2) После установки панели на место ее выверяют по нижнему основанию (свободный метод) или фиксаторами (замковый метод). Наружные стеновые панели выверяют по наружной плоскости.

3.) Панель до снятия строба временно раскрепляют на выверенную по основанию постель двумя подкосами (свободный метод) или другим монтажным оснащением.

4) При помощи специального отвеса-линейки выверяют вертикальность, и отметки верхней грани панели, определяя, в какую сторону нужно отклонить панель, чтобы придать ей вертикальное положение. Эту операцию проводят натяжением муфт, находящихся на подкосах.

5) Панель считают подготовленной к окончательному закреплению после выверки, исправления и закрепления в проектном положении.

Сложность работ, связанных со сборными бетонными системами, заключается в том, что вес данной конструкции больше, чем у других типов фасадов, а также возникают сложности при необходимости обрезать панели ввиду прочности материала.

Несмотря на недостатки, связанные с использованием бетона в качестве облицовочного слоя, данный тип фасадов отличается положительными характеристиками, не свойственными другим системам:

- Долговечность облицовочного слоя.
- Устойчивость к перепадам температур.
- Влагостойкость.
- Не является местом распространения грибка и плесени.
- Сохранение цвета при ультрафиолетовом облучении, уменьшение затрат на восстановление облицовки.
- Механическая прочность.
- Сохранение свойств при низких и высоких температурах.
- Звукоизоляция.
- Низкая теплопроводность.
- Пожароустойчивость.
- Декоративность, широкий спектр форм и архитектурных решений.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основе проведенного исследования можно сделать выводы о том, что для создания плавных архитектурных линий высотного здания, расположенного в Санкт-Петербурге, с одной стороны, наиболее подходящим типом фасада является фасад из сборных бетонных панелей. Во влажном климате города установка данного типа фасадов будет менее затратна ввиду отсутствия технологий, связанных с водными растворами, и высокой стойкости к агрессивным средам осадков. Регион строительства характеризуется повышенной влажностью, что также не препятствует устройству бетонных плит ввиду повышенной влагостойкости выбранного материала наружных слоев конструкции. Бетонные сборные плиты могут обеспечить достаточные изоляционные для обеспечения комфортного пребывания в здании в любое время года, снизив затраты на отопление всего здания. Прочностные характеристики бетонных панелей значительно выше, чем у рассмотренных в исследовании видов фасадов, что позволит им воспринимать влияние ветровых потоков на высотное здание, что не может оставаться без внимания из-за относительно близкого расположения места строительства к береговой линии Финского залива. Пожарная безопасность здания томительно фасадов подразумевает отсутствие возможности распространения пламени по поверхности наружных ограждающих конструкций. Бетонные сборные системы ограничивают нагрев теплоизолирующего материала, а также распространение пламени вверх по фасаду, при условии использования негорючего плит утеплителей.

С точки зрения архитектурных возможностей сборные бетонные конструкции имеют больший спектр форм и решений по сравнению с рассмотренными в данном исследовании типами фасадов. Недостатки и ограничения, вызванные весом конструкции, смягчаются при использовании легких бетонов и распределении нагрузки от собственного веса на перекрытия здания.

Тем не менее, на данном этапе существующих технологий возведения и эксплуатации зданий из легких сталебетонных конструкций [15-17] целесообразно применять для высотного строительства светопрозрачные фасады.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Мартыненко Е.А., Старицына А.А., Рыбаков В.А. Реконструкция жилого квартала исторического центра Санкт-Петербурга // Строительство уникальных зданий и сооружений. 2016. № 1 (40). С. 32-42.
2. Вернин Н.А., Грузков А.А., Матвиенко В.Д., Соляник П.Е. Особенности проектирования высотных зданий // Инновации и инвестиции. 2020. № 11. С. 205-208.
3. Гранкина Д.В., Васильева Д.К., Тютина А.Д., Мартиросян А.Г. Применение современных фасадных строительных материалов при проектировании высотных зданий // Инженерный вестник Дона. 2019. № 1 (52). С. 102.
4. Генералов В.П., Генералова Е.М., Соколов И.И. Особенности размещения высотных зданий в структуре городов // Градостроительство и архитектура. 2019. Т. 9. № 2 (35). С. 46-52.
5. Chakin E., Gamayunova O. Materials for facade glazing // В сборнике: Sustainable Energy Systems: innovative perspectives. Conference proceedings. Сер. «Lecture Notes in Civil Engineering» 2021. С. 182-189.
6. Зубарев К.П., Бородулина А.И., Галлямова А.Р. Оптимизация сопротивления теплопередаче светопрозрачных конструкций зданий. Обзор литературы // БСТ: Бюллетень строительной техники. 2021. № 6 (1042). С. 51-53.
7. Петриченко М.Р., Мусорина Т.А. Математическая модель термического сопротивления стенового ограждения // В сборнике: Теоретические основы теплогазоснабжения и вентиляции. Сборник докладов VII Международной научно-технической конференции, посвященной 90-летию со дня образования факультета. Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет. 2019. С. 19-25.
8. Мусорина Т.А., Заборова Д.Д., Петриченко М.Р. Математический аппарат для определения термического сопротивления однородной скалярной среды // Вестник МГСУ. 2019. Т. 14. № 8. С. 1037-1045.
9. Верховский А.А., Шеховцов А.В. Теплотехнические исследования двойного фасада в российских климатических условиях // Вестник МГСУ. 2011. № 3. С. 215-220.
10. Туснина О.А., Емельянов А.А., Туснина В.М. Теплотехнические свойства различных конструктивных систем навесных вентилируемых фасадов // Инженерно-строительный журнал. 2013. № 8. С. 54-88.
11. Протасевич А.М., Крутилин А.Б. Классификация вентилируемых фасадных систем. Влияние теплопроводных включений на их теплозащитные характеристики // Инженерно-строительный журнал. 2011. № 8 (26). С. 57-62.
12. Тебенькова М.А. Навесные вентилируемые фасады и «мокрые»: понятия, характеристики, сравнение // Евразийское Научное Объединение. 2020. № 4-2 (62). С. 130-133.
13. Васильев Н.Б., Стуглев Н.А., Утков Е.О., Мельник И.С. Навесные вентилируемые фасады и мокрые // СтройМного. 2017. № 4 (9). С. 2.
14. Немова Д.В. Навесные вентилируемые фасады: обзор основных проблем // Инженерно-строительный журнал. 2010. № 5 (15). С. 7-11.
15. Рыбаков В.А. Теплотехнические и механические свойства легких сталебетонных конструкций (ЛСБК) // В сборнике: Эффективные конструкции, материалы и технологии в строительстве. Материалы международной научно-практической конференции. 2019. С. 107-115.
16. Рыбаков В.А., Кутина А.А., Кудрявцев К.С. Математическая модель процесса производства здания из легких стальных тонкостенных конструкций // В сборнике: Проблемы обеспечения функционирования и развития наземной инфраструктуры комплексов систем вооружения. Материалы Всероссийской научно-технической конференции. Под общей редакцией В.И. Геры. 2018. С. 130-134.
17. Rybakov V.A., Kozinets G.L., Vatin N.I., Velichkin V.Z., Korsun V.I. Lightweight steel concrete structures technology with foam fiber-cement sheets // Magazine of Civil Engineering. 2018. № 6 (82). С. 103-111.

ОБ АВТОРАХ

Софья Витальевна Ли – студентка бакалавриата. Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого (СПбПУ). 195251, Россия, г. Санкт-Петербург, ул. Политехническая, д.29. E-mail: li.sv@edu.spbstu.ru

Ольга Сергеевна Гамаюнова – к.т.н., доцент Высшей школы промышленно-гражданского и дорожного строительства. Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого (СПбПУ). 195251, Россия, г. Санкт-Петербург, ул. Политехническая, д.29. E-mail: gamayunova_os@spbstu.ru

ABOUT THE AUTHORS

Sofya V. Li – student. Peter the Great St.Petersburg Polytechnic University (SPbPU). 195251, Russia, St.Petersburg, Polytechnicheskaya st., 29. E-mail: li.sv@edu.spbstu.ru

Olga S. Gamayunova – Ph.D., Associate Professor of the Higher School of Industrial, Civil and Road Construction. Peter the Great St.Petersburg Polytechnic University (SPbPU). 195251, Russia, St.Petersburg, Polytechnicheskaya st., 29. E-mail: gamayunova_os@spbstu.ru