journal homepage: www.alfabuild.spbstu.ru

doi: 10.34910/ALF.13.4

Влияние способа крепления облицовки на расчетную схему каркаса НФС

The influence of method of the fastening cladding on the design scheme of the hinged facade system frame

А.А. Морина ^{1*}, Е.А. Морина ², А.И. Макаров ³,
А.В. Галямичев ⁴, М.А. Назаров ⁵

¹⁻⁵ Санкт-Петербургский политехнический
университет Петра Великого

M.A. Morina ^{1*}, E.A. Morina ², A.I. Makarov ³,
A.V. Galyamichev ⁴, M.A. Nazarov ⁵

¹⁻⁵ Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

навесная фасадная система,
облицовка,
несущая подконструкция,
крепление,
нагрузка,
расчетная схема

KEYWORDS

hinged ventilated facade,
facing,
load-bearing structure,
fastening,
load,
structural design

АННОТАЦИЯ

В настоящее время энергоэффективность и эстетическая привлекательность зданий являются одними из самых важных показателей при строительстве зданий и сооружений. Навесные фасадные системы (НФС) становятся все более актуальными как при строительстве зданий, так и при их реконструкции. Их использование позволяет, с одной стороны, "одеть" фасад в современные отделочные материалы, а с другой – улучшить теплоизоляционные показатели ограждающей конструкции и защитить ее от вредных атмосферных воздействий. Широкое применение таких современных фасадных конструкций, как НФС, требует повышенного внимания к качеству их проектирования. В первую очередь, это связано с необходимостью сочетания в себе несущих, ограждающих, теплоизолирующих и эстетических качеств. Одним из вопросов при проектировании НФС является учет такого фактора, как влияние крепления облицовки к несущей подконструкции на статический расчет каркаса (направляющих, кронштейнов, узлов крепления облицовки к направляющим и т.д.). В данной статье рассматриваются конструктивные особенности НФС, их преимущества и недостатки, подробная классификация, а также виды крупноформатных облицовок НФС и методы их крепления к несущему каркасу. На основе знаний о типах облицовки и вариантах ее крепления инженером-проектировщиком может разрабатываться расчетная схема несущего каркаса, а далее и выполняться сам расчет. На данный момент расчет направляющих производится по определенной схеме вне зависимости от типа облицовки, т.е. рассматривается с недопустимыми упрощениями. Авторы данной статьи в своей работе доказывают, что необходимо классифицировать различные виды НФС в зависимости от способа передачи нагрузки от облицовки на подконструкцию, чтобы строить расчетную схему и производить расчет, исходя из того, к какому виду относится НФС. Целью данной статьи является классифицирование НФС по различным признакам, доказательство влияния вида облицовки на расчетную схему несущего каркаса и, соответственно, на сам расчет.

ABSTRACT

Currently, energy efficiency and aesthetic appeal of buildings are among the most important indicators in the construction of buildings and structures. Hinged facade systems (HFS) are becoming increasingly relevant both in the construction of buildings and their reconstruction. Their use allows, on the one hand, to "dress" the facade in modern finishing materials, and on the other – to improve the thermal insulation performance of the enclosure structure and protect it from harmful atmospheric effects. The widespread use of such modern facade structures as HFS, requires increased attention to the quality of their design. Firstly, this is due to the need to combine the bearing, enclosing, insulating and aesthetic qualities. One of the design issues of the HFS is to take into account such a factor as the effect of fastening the cladding to the load-bearing substructure on the static calculation of the frame (guide profiles, brackets, fastening units of the cladding to the guide profile, etc.). This article discusses the design features of the HFS, their advantages and disadvantages, a detailed classification, as well as the types of

large-format HFS cladding and methods of their attachment to the load-bearing frame. On the basis of knowledge about the types of cladding and its fastening designer can develop a design scheme for a load-bearing frame, and further, to execute the calculation. At the moment, the calculation of the guide profiles is performed according to a certain scheme, regardless of the type of cladding, that is calculation is considered with invalid simplifications. The authors of this article in their work prove that it is necessary to classify different types of HSF depending on the method of transfer of the load on the substructure in order to build a design scheme and make a calculation based on what type of HSF refers to. The purpose of this article is to classify the HFS on various grounds, proof of the impact of the type of cladding on the design scheme of the load-bearing frame and, accordingly, on the calculation itself.

Введение

На данный момент в РФ предъявляются высокие требования к энергоэффективности и теплозащите, а также к архитектурно-художественному облику здания, это привело к использованию новых типов многослойных ограждающих конструкций, таких как навесные вентилируемые фасады (НВФ). Широкое применение таких современных фасадных конструкций требует повышенного внимания к качеству их проектирования. В первую очередь, это связано с необходимостью сочетания в себе несущих, ограждающих, теплоизолирующих и эстетических качеств.

НВФ представляют собой конструкцию, состоящую из облицовки (плит или листовых материалов) и металлической подконструкции, которая крепится к стене таким образом, чтобы между облицовкой и стеной образовалась воздушная прослойка. Для дополнительного утепления ограждающей конструкции между стеной и облицовкой может размещаться теплоизоляционный слой – в этом случае воздушный зазор выполняется между облицовкой и теплоизоляцией. НВФ является важной частью здания, от которой зависит его внешний вид, а также в процессе эксплуатации – затраты на отопление, ремонт облицовочного покрытия, что в свою очередь обуславливается материалами, применяемыми в НВФ.

Одно из главных преимуществ технологии навесных фасадных систем заключается в бесконечном многообразии облицовочных покрытий. Однако такое многообразие выбора материалов порождает проблему их типового крепления к фасадной подконструкции, а, следовательно, проблему выбора расчетной схемы для каждого типа облицовки в отдельности. Разные материалы требуют различного подхода к надежному и долговечному креплению. Кроме того, в последнее время, в связи с ужесточением требований архитекторов к внешнему облику объектов, которые должны выглядеть безупречно, повышается спрос на невидимое крепление фасадной облицовки. При этом способе элементы крепления скрыты от взора прохожих, демонстрируя фасад во всей своей красе [1].

Объединяя в себе функции тепловой и акустической защиты, качества НФС должны дополняться надёжной работой под действием внешних нагрузок. Граничное положение конструкций требует особого подхода к определению действующих на них силовых факторов и оценке их влияния. Поэтому корректное проектирование НФС является столь важным. Однако в нормативной литературе при отсутствии единого профильного свода правил, положения по проектированию современных ограждающих элементов требуется обобщать с требованиями к несущим и фахверковым конструкциям, что приводит к многочисленным вопросам, ошибкам и выявляет несоответствие документов друг другу [2]. Особенно это становится актуальным в сегодняшних условиях масштабной экономии, когда на первый план выходит необходимость в оптимизации проектов, которые напрямую связаны с использованием текущей нормативной документации, регламентирующей работу конструкторов.

В данной статье предлагается рассмотреть и обсудить с читателями ряд вопросов, напрямую касающихся оптимизации проектирования НФС.

Обзор литературы

НФС известны в России сравнительно недавно, но в некоторых странах (например, в Германии и Финляндии) уже накоплен достаточный опыт их использования в общественных, административных и промышленных зданиях, а также при реконструкции. Большой вклад в изучение конструкции НФС в своих работах [3-21] внесли следующие российские и зарубежные исследователи: Федяков Я.А., Мотяев М.А., Афанасьев А.А., Васильев Н.Б., Казаков Ю.Н., Z. Zeng, A. Labutin и др. В научных статьях [22-33] рассмотрены различные варианты совершенствования конструкции НФС, например, улучшения конструкции в эстетическом, функциональном и экономическом отношении [22]. В своей работе [32] X. Feng, H. Yang, X. Y. Feng, F. Y. Jin, и G. Q. Xia рассмотрели обзор научных разработок вентилируемого фасада, а Ивакина Ю.Ю. в своей книге [33] упомянула некоторые варианты повышения эффективности НВФ. Исследованию вертикального вентилируемого канала также посвящено несколько работ [34-37].

В статьях [38-46] дана комплексная оценка энергоэффективности НФС, даны рекомендации по улучшению тепловых характеристик ограждающих конструкций здания при использовании НВФ. В работах

[47-50] описаны энергетические характеристики НФС, а также приведены варианты проектных мероприятий по повышению энергоэффективности. В научных статьях [51-56] рассмотрены инновационные конструкции для солнечных навесных фасадов.

Вопросы использования различных материалов в составе конструкции НФС рассмотрены в работах [57-61]. Материал утеплителя и его необходимая толщина для различных регионов России, а также определение термического сопротивления вентилируемой прослойки НФС рассмотрены в научных статьях [62-64].

Учет сейсмичности при проектировании НФС, численное моделирование вентилируемых фасадов в экстремальных климатических условиях описаны в работах [65-70]. Также в своей работе [71] Явтушенко Е.Б. рассмотрел основы гидравлического расчета НВФ.

НВФ очень часто используются в современном строительстве благодаря их роли в энергосбережении, а также в улучшении эстетики. Но, несмотря на все многочисленные плюсы, НФС имеют ряд несовершенств, на которые делает акцент в своей статье [72] Немова Д.В.: расчет необходимого вентилируемого зазора, подбор качественных материалов и монтаж, пожаробезопасность и обеспечение требуемого сопротивления теплопередаче. В работах [73-77] рассматривается одна из проблем НФС, которая заключается в том, что НФС могут легко стать транспортным средством для движения огня вдоль здания, как это наблюдалось в нескольких пожарах прошлых лет.

Большое количество научных публикаций посвящено различным вопросам по теме НФС, многие из них уже нашли свои пути решения, но тем не менее остается много проблем, которые требуют изучения. Однако, несмотря на большой объем исследований, посвященных теме НФС, до настоящего времени не была рассмотрена проблема влияния способа крепления облицовки НФС на статический расчет несущей подконструкции. Для рассмотрения данного вопроса был произведен анализ следующих источников: виды облицовки описываются в работах [78-82]; способы ее крепления к несущему металлическому каркасу и конструкции узлов данного крепления - [83-90]; сбор нагрузок на конструкцию и методы расчета – [1], [91-93]; нормативные документы, необходимые при проектировании НФС – [94-98]; упрощения модели НФС при расчете, результаты сравнительного анализа между смоделированными и измеренными значениями усилий в НФС [97-98].

Таким образом, обзор отечественной и иностранной литературы показал, что работы исследователей коснулись многих проблем, связанных с НФС, но вопрос, поднятый в данной статье, а именно влияние крепления облицовки на статический расчет несущей подконструкции, не был развит ни в одной из имеющихся на сегодняшний день научных работ.

Целью данной статьи является классифицирование НФС по различным признакам, доказательство влияния вида облицовки на расчетную схему несущего каркаса и, соответственно, на сам расчет.

В рамках поставленной цели решаются такие задачи, как классифицирование НФС по различным признакам, классифицирование типов облицовок НФС, способов крепления облицовочной конструкции к несущему каркасу, выявление соответствия различных способов крепления различным видам облицовки для последующего распределения по видам расчетных схем и методам расчета.

Технологические характеристики НФС

Навесные фасадные системы с воздушным зазором – особые современные и популярные системы строения внешней оболочки стены, позволяющие с одной стороны сократить тепловые потери здания и с другой – защитить от внешнего воздействия окружающей среды.

Навесные фасадные системы с воздушным зазором состоят из (рисунок 1):

1. **Подоблицовочной конструкции**, которая крепится непосредственно к несущей стене или межэтажным перекрытиям с одной стороны, и удерживает внешнюю облицовку здания с другой. Металлическая подконструкция воспринимает нагрузки, действующие на конструкцию. Она обеспечивает крепление защитно-декоративного экрана на основе от теплоизоляционного слоя, образуя воздушный зазор. Металлическая подконструкция состоит из системы кронштейнов, прикрепляемых к несущей стене, и направляющих (несущих профилей), которые устанавливаются на кронштейны и к которым при помощи специальных крепежных элементов прикрепляются плиты (листы) облицовки. Эти элементы применяют из алюминия, оцинкованной или нержавеющей стали. Основное предназначение подконструкции – надежно закрепить плиты облицовки к стене или перекрытию таким образом, чтобы между несущей конструкцией и облицовочной панелью осталась воздушная прослойка.
2. Для дополнительного утепления стен здания к стене посредством тарельчатых дюбелей или гибких связей крепится **теплоизоляционный слой** (минераловатный утеплитель). На цокольной части здания используется экструзионный (пенополистирольный) утеплитель, он не пропускает и не впитывает влагу. При этом величина зазора между утеплителем и фасадом здания не должна быть менее 40 мм (по разным источникам от 20 до 50 мм, причем в России

приняты большие значения зазора, чем в США и в Европе). Это позволяет восходящим потокам воздуха циркулировать между облицовочным материалом и утеплителем, высушивая слой утеплителя в случае попадания на него влаги. С целью предотвращения выдувания волокон из утеплителя, в случае применения утеплителя с "некешированной" поверхностью, он накрывается **влажно-ветрозащитной, паропроницаемой мембраной** (пленкой), но это не является необходимым требованием к устройству систем вентилируемых фасадов.

3. **Защитно-декоративного экрана**, который состоит из облицовочных элементов совместно с крепежными элементами, устанавливаемых на под облицовочную конструкцию НФС. Облицовочная конструкция выполняет декоративно-защитные и архитектурные функции, служит для защиты теплоизоляционного слоя и ограждающих конструкций зданий. Самые распространенные из них: керамогранит, натуральный камень, металлические и композитные кассеты, фиброцементные плиты. По зазору между стеной и облицовкой свободно циркулирует воздух, который убирает конденсат и влагу с конструкций, сохраняя несущую конструкцию (стену или перекрытие) и утеплитель (если он есть) сухими. Во-первых, это препятствует развитию вредных микроорганизмов. Во-вторых, значительно продлевает срок службы установленной системы. Крепление облицовочных элементов в защитно-декоративном экране может осуществляться видимым или скрытым способом.

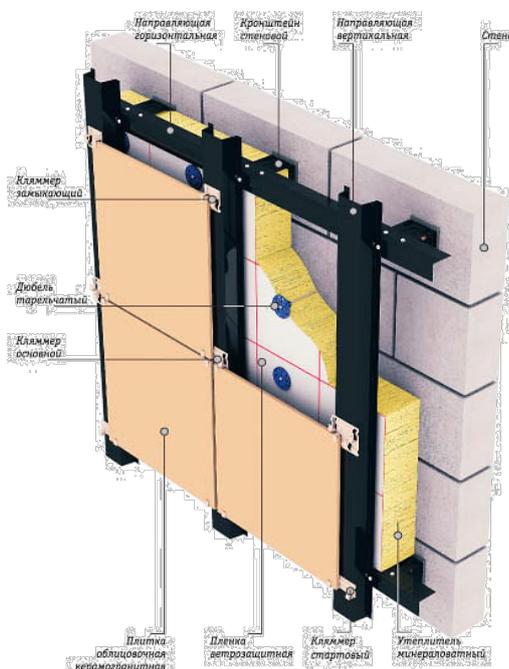


Рисунок 1 - Конструкция навесного вентилируемого фасада

Основные преимущества навесных вентилируемых фасадных систем:

1. Данная система способствует сохранению тепла в помещении, т.е. ее основное преимущество – улучшение энергоэффективности (значительное сокращение затрат на отопление здания, следовательно, высокая окупаемость и экономичность);
2. Утепление ограждающих конструкций снаружи. В процессе совершенствования строительных технологий специалисты пришли к выводу неэффективности утепления зданий изнутри. Такой способ значительно уменьшает полезную площадь и смещает «точку росы» внутрь помещения, что отрицательно сказывается на микроклимате и долговечности конструкции. Поэтому сейчас всё чаще используют системы внешнего утепления зданий. Вариант такого утепления наиболее удачен, в силу того, что все несущие ограждающие конструкции находятся в зоне действия положительных температур, исключая образование «мостиков холода». При утеплении зданий снаружи площади помещений сохраняются. Благодаря повышению теплозащиты наружных стен и создания теплового комфорта внутри помещения, снижаются затраты на отопление и экономится тепловая энергия [97].
3. Благодаря воздушному зазору между стеной и декоративной панелью предотвращается образование плесени, сырости и грибковых образований на поверхности стены. Вентилируемое пространство создает эффект «камина», не позволяя конденсату

- скапливаться внутри конструкции навесного фасада. Срок эксплуатации ограждающих конструкций и утеплителя в таком случае значительно увеличивается;
4. Высокие тепло- и звукоизоляционные характеристики системы. Повышенная звуконепроницаемость достигается за счет эффекта двойного звукопоглощения (его создают облицовочный материал плюс слой плотного утеплителя);
 5. Долговечность (срок безремонтной эксплуатации систем навесных вентилируемых фасадов – до 50 лет в зависимости от применяемых материалов). При соблюдении правил установки, при точном расчете монтажа элементов конструкции фасада, а также при правильной укладке утеплителя он прослужит не менее 25-35 лет;
 6. Устойчивость фасадной системы к атмосферным воздействиям;
 7. Быстрый монтаж;
 8. Отсутствие специальных требований к геометрическим параметрам несущей стены (не требуется предварительное выравнивание), скрытие дефектов стены;
 9. Возможность произвести локальный ремонт быстро, с минимальными затратами устранять последствия вандализма, аварий и т.п. [97];
 10. Отсутствие мокрых процессов, что дает возможность проводить монтажные работы в любое время;
 11. Возможность использования различных облицовочных материалов. Свобода выбора форматов, цветовой гаммы, полная свобода в решении архитектурного оформления различных строений. Системы вентилируемых фасадов гарантируют практичный и вместе с тем эксклюзивный эстетичный внешний вид зданий;
 12. Возможность применения фасада для молниезащиты в качестве защитного экрана (что в отличие от традиционной молниезащиты, обеспечивает сохранность дорогостоящего оборудования, расположенного в здании, от электромагнитного поля, создаваемого разрядом);
 13. Летом наружный экран из отделочных материалов выполняет функцию солнцезащитного экрана, отражающего значительную часть падающего на него потока лучистой энергии, т.е. применение навесного фасада значительно снижает перегрев стен в летние месяцы;
 14. Защита от неблагоприятных погодных условий. Ветрозащитная мембрана в составе вентилируемого фасада предохраняют несущие стены, металлообрешетку и утеплитель от влияния погодных факторов, перепадов влажности и температур. Такие фасадные системы рассчитаны для применения в промышленных городах с агрессивной средой и повышенной ветровой нагрузкой, а также приморских зонах;
 15. Существенная экономия затрат на эксплуатацию здания (снижение затрат на отопление и кондиционирование за счет перекрытия дефектных швов, особенно в старых зданиях);
 16. Отсутствие резкого перепада температуры, что приводит к снижению или отсутствию термических деформаций;
 17. Пожарная безопасность обеспечена использованием негорючих материалов;
 18. Отсутствие резонанса и способность ослаблять вибрацию позволяет не применять дополнительную шумоизоляцию [97];
 19. Возможность привести здание в соответствие новым строительным нормам по энергосбережению.

Основные недостатки навесных вентилируемых фасадных систем:

1. Несоблюдение предусмотренных альбомами технических решений конструктивных методов по обеспечению пожарной безопасности навесных фасадов, а также применение материалов, не прошедших натуральных огневых испытаний по ГОСТ 31251-2003, приводит к снижению пожароустойчивости зданий;
2. Необходима высокая квалификация монтажников. От качества монтажа зависит долговечность облицовки. Вентилируемая внешняя отделка – это многослойная конструкция взаимосвязанных элементов. При выходе из строя одного из них, быстро приходят в негодность остальные. Отклонения от правил монтажа могут спровоцировать: искажение несущей системы каркаса; намокание теплоизолирующего материала или его отслоение от стены; затекание воды; нивелирование работы вентиляционного канала;
3. Несоответствие стен-оснований требуемому уровню зачастую может приводить к применению нестандартных элементов при монтаже вентилируемого фасада, а также обуславливает необходимость проведения топографических работ по фасаду с большой точностью;
4. Несовершенство ряда существующих конструктивных решений для обеспечения пожарной безопасности;
5. Согласно исследованиям [72], систематическое несоблюдения условий по коррозионной защите металлического каркаса (отсутствие или недостаточная толщина цинкового,

полимерного покрытия на элементах, местное повреждение защитного покрытия и т.д.), которые часто встречаются на практике, значительно снижают долговечность фасадной системы и здания в целом;

6. Несоблюдение условий или отказ от защитных пленок в конструкции теплоизоляционного слоя, что сказывается на экологичности системы.

Классификация НФС

Навесные вентилируемые фасады классифицируются:

- I. по типу крепления кронштейнов;
- II. по типу ориентированности направляющих;
- III. по типу облицовочных материалов;
- IV. по материалу несущей подконструкции;
- V. по способу передачи ветровых нагрузок с облицовочной конструкции на несущий каркас.

По типу крепления кронштейнов системы НФС делятся на 2 вида:

1. Крепление к ограждающим конструкциям;
2. Крепление в междуэтажные перекрытия.

В основе такого разделения фасадных систем лежит принцип крепления несущих кронштейнов к типу конструкций здания, выполненных из тех или иных материалов. Непосредственно выбор системы, с указанными видами крепления, продиктован свойствами этих материалов удерживать анкерную технику и воспринимать нагрузки, создаваемые долговременной эксплуатацией системы НФС.

Системы с креплением в стены (к ограждающим конструкциям) изображены на рисунке 2. Другому такие фасадные системы ещё называют рядовыми, классическими или обычными. В основе таких систем лежит принцип крепления несущих кронштейнов анкерной техникой к ограждающим конструкциям – к стенам здания. Как правило, такого рода конструкциями являются бетон, кирпичная кладка из полнотелого кирпича. Данные материалы показывают стабильно высокие вырывные нагрузки анкерной техники при проведении испытаний. В меньшей степени основанием крепления кронштейнов являются кладка из пустотелого кирпича, керамзитобетонных и газобетонных и прочих пустотных блоков. К таким материалам требуется особо тщательный подбор анкерной техники – выбор длины фасадного анкера, а возможно и использование химического анкера. Рациональным считается применение рядовых фасадных систем с шагом креплением кронштейнов по вертикали не более 600 мм с помощью фасадного анкера и не более 800 мм для химического анкера. Большое количество кронштейнов на м² приводит к ухудшению теплотехнических характеристик, теплотехнической неоднородности фасада и высокой стоимости фасадной подконструкции.



Рисунок 2 - Система с креплением в стены

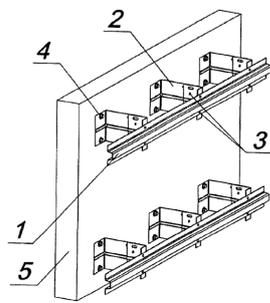
Системы с креплением в междуэтажные перекрытия изображены на рисунке 3. Данный вид систем по-другому называют усиленными, междуэтажными. Кронштейны в данном типе системы крепятся исключительно в междуэтажные перекрытия, и вертикальные направляющие, не имея дополнительных точек фиксации, крепятся в соответствии со строительным шагом здания, на уровне междуэтажных перекрытий. В отличие от рядовых систем данные конструкции отличаются большей материалоемкостью в первую очередь из-за большей материалоемкости вертикальной направляющей (в 2-3 раза отличается по весу от обычных направляющих). С другой стороны, отличаются от классических систем меньшим расходом кронштейнов на м², что ведёт к лучшей теплотехнической однородности фасада (меньшим потерям тепла через «мостики» холода = кронштейны). С точки зрения стоимости фасадных конструкций за м², междуэтажные системы, как правило, дороже рядовых в среднем на 30-50 %. Однако всё увеличивающаяся популярность применения междуэтажных систем крепления обусловлена необходимостью их применения ввиду всё более частого применения энергоэффективных и бюджетных, но слабых по несущей способности материалов (газобетонов, керамзитобетонных блоков, различного рода сэндвич-панелей).



Рисунок 3 - Система с креплением в межэтажные перекрытия

По типу ориентированности направляющих системы НФФ делятся на 3 вида. Материал и тип профиля выбирается в зависимости от облицовки:

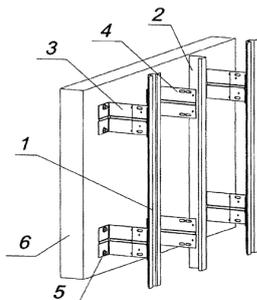
1. Подконструкция с горизонтальным профилем подходит для монтажа линейных панелей и профлиста (рисунок 4);



- 1 – профиль шляпный 23 (60);
- 2 – кронштейн составной;
- 3 – заклепки (самонарезающие винты);
- 4 – анкер;
- 5 – стена

Рисунок 4 - Конструкция каркаса НФС с горизонтальной схемой расположения направляющих

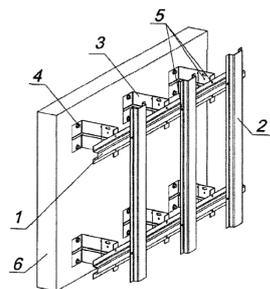
2. Подконструкция с вертикальным профилем монтируется к линейным панелям, сайдингу, фасадным кассетам, керамограниту и профлисту (рисунок 5);



- 1 – профиль шляпный 23;
- 2 – профиль L-образный;
- 3 – кронштейн составной;
- 4 – кронштейн опорный;
- 5 – анкер;
- 6 – стена

Рисунок 5 - Конструкция каркаса НФС с вертикальной схемой расположения направляющих

3. Перекрестный тип профилей подходит к керамограниту и фасадным кассетам (рисунок 6).



- 1 – профиль шляпный 23 (60);
- 2 – профиль шляпный 60;
- 3 – кронштейн составной;
- 4 – анкер;
- 5 – заклепки (самонарезающие винты);
- 6 – стена

Рисунок 6 - Конструкция каркаса НФС с перекрестной схемой расположения направляющих

По типу облицовочных материалов системы НВФ делятся на много видов. Облицовочные материалы в конструкции вентилируемого фасада выполняют защитно-декоративную функцию. Они защищают утеплитель, подконструкцию и стену здания (перекрытие) от повреждений и атмосферных воздействий. В то же время облицовочные панели, являясь внешней оболочкой здания, формируют его эстетический облик. В настоящее время существует большой выбор фасадных панелей для облицовки стен здания. Кроме внешнего вида они отличаются между собой по материалу, размеру, типу крепления (видимое, невидимое), стоимости и т.д. Список материалов, используемых для изготовления панелей, постоянно пополняется: это металлы, композитные материалы, бетоны, фиброцементы (цементно-волоконные материалы), керамический гранит, натуральный камень, а также стекло со специальным покрытием, ламинат высокой плотности и т.п. Защитно-декоративные изделия могут имитировать традиционные материалы (камень, дерево, кирпич) или подчеркивать современность и необычность за счет применения металла, цвета, фактуры и т.д. Облицовочные панели крепятся к подконструкции при помощи скрытых или видимых элементов крепежа. Большое разнообразие отделочных материалов для навесных фасадов дает архитектору поистине безграничные возможности для решения эстетических задач.

По материалу несущей подконструкции:

1. Оцинкованные углеродистые стали;
2. Коррозионностойкие стали;
3. Алюминиевые сплавы;
4. Комбинированные.

По способу передачи ветровых нагрузок с облицовочной конструкции на несущий каркас НФС делятся на системы, в которых нагрузка с облицовки на направляющие передается сосредоточенно (рисунок 7) и такие системы, в которых она передается в виде равномерно распределенной нагрузки (рисунок 8).

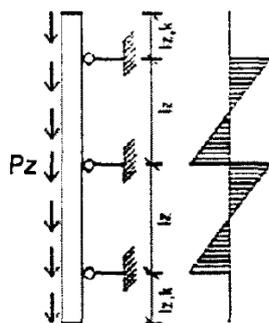


Рисунок 7 - Расчетная схема направляющей, на которую нагрузка от облицовки передается сосредоточенно

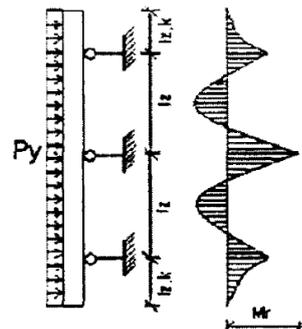


Рисунок 8 - Расчетная схема направляющей, на которую нагрузка от облицовки передается равномерно распределенно

Виды крупноформатных облицовок НФС и методы их крепления к несущему каркасу

Виды крупноформатных облицовок НФС (рисунок 9):

1. Тонкий керамический гранит;
2. Стекло;
3. Фиброцементные панели;
4. Сотовые алюминиевые панели;
5. Металлокомпозитные кассеты (с обшивками из алюминия или оцинкованной стали);
6. Металлокассеты (из оцинкованной стали или алюминиевого листа);
7. HPL панели;
8. Аквапанель;
9. Иные листовые материалы.

Винт скрытого крепления EJOT DURO-PT (рисунки 12, 13).

Винты для данного типа крепления выполняются из коррозионностойкой стали. Толщина облицовки должна быть не менее 10 мм. Крепление осуществляется с помощью аграф. Пригодность винта подтверждается ТС.

Допущен к применению следующих типов облицовок:

1. Плиты фиброцементные;
2. Панели из бумажно-слоистого пластика HPL;
3. Панели из минеральной (каменной) ваты.

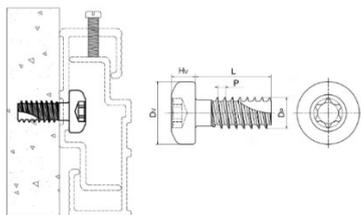


Рисунок 12 - Винт скрытого крепления EJOT DURO-PT



Рисунок 13 - Винт скрытого крепления EJOT DURO-PT

Заклепка скрытого крепления SFS TU-S (рисунки 14, 15).

Заклепки для данного типа крепления производятся из коррозионностойкой стали. Толщина облицовки должна быть не менее 10 мм. Крепление осуществляется с помощью аграф. В настоящее время не имеет ТС.

Допущен к применению следующих типов облицовок:

1. Плиты фиброцементные;
2. Панели из бумажно-слоистого пластика HPL;
3. Панели из минеральной (каменной) ваты.

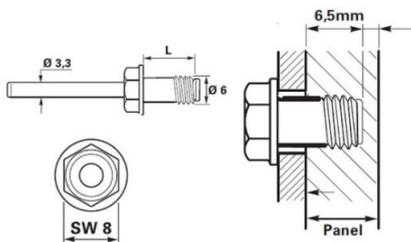


Рисунок 14 - Заклепка скрытого крепления SFS TU-S



Рисунок 15 - Заклепка скрытого крепления SFS TU-S

Кляммер скрытого крепления облицовочных плит с пропилами (рисунки 16, 17).

Кляммер для данного типа крепления выполняются из углеродистой стали с защитным покрытием, из коррозионностойкой стали **или** из алюминиевых сплавов. Нет отдельных ТС (входит в состав комплекта НФС). Минимальная толщина кляммера составляет 1 миллиметр. Ширина лапки прижима должна быть не менее 10 миллиметров. Пропилы перед установкой кляммеров нужно предварительно заполнить фасадным герметиком. Необходимо выполнять расчет кляммеров на прочность. Количество кляммеров для крепления облицовочных плит определяется расчетом несущей способности и устанавливаются не менее 2-х на нижнюю или верхнюю грань плиты.

Допущен к применению следующих типов облицовок:

1. Плиты керамического гранита;
2. Плиты фиброцементные;
3. Плиты природного камня;
4. Плиты агломератно-гранитные;
5. Плиты керамические многопустотные и полнотелые (терракота);
6. Плитки керамические (клинкерные);
7. Плитки бетонные «под кирпич».



Рисунок 16 - Кляммер скрытого крепления облицовочных плит с пропилами



Рисунок 17 - Кляммер скрытого крепления облицовочных плит с пропилами

Планка скрытого крепления облицовочных плит с пропилами (рисунки 18, 19).

Планки для данного типа крепления производятся из углеродистой стали с защитным покрытием, из коррозионностойкой стали или из алюминиевых сплавов. Нет отдельных ТС (входит в состав комплекта НФС).

Допущен к применению следующих типов облицовок:

1. Плиты керамического гранита
2. Плиты фиброцементные (Япония);
3. Плиты природного камня;
4. Плиты агломератно-гранитные;
5. Плиты керамические многпустотные и полнотельные (терракота);
6. Плитки керамические (клинкерные);
7. Плитки бетонные «под кирпич».



Рисунок 18 - Планка скрытого крепления облицовочных плит с пропилами



Рисунок 19 - Планка скрытого крепления облицовочных плит с пропилами

Закладные детали для скрытого крепления (рисунок 20).

Закладные детали для данного типа крепления выполняются из коррозионностойкая стали или углеродистая сталь с защитным покрытием. Нет отдельных ТС (входит в состав НФС). Сама закладная деталь устанавливается во время производства.

Допущен к применению следующих типов облицовок:

1. Плиты агломератно-гранитные;
2. Панели бетонные;
3. Панели и декоративные элементы из стеклофибробетона.

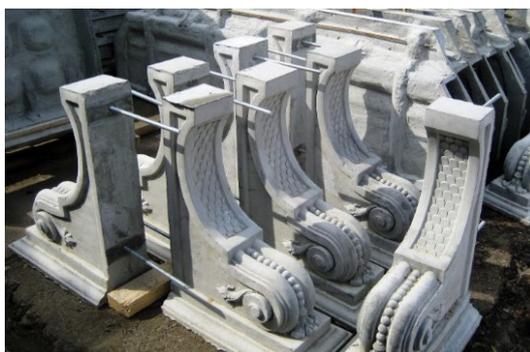


Рисунок 20 - Закладные детали для скрытого крепления

Икли для скрытого крепления

Икли для данного типа крепления производятся из алюминиевых сплавов, коррозионностойкой стали или углеродистой стали с защитным покрытием. Нет отдельных ТС (входит в состав НФС). Салазку и фасадную кассету соединяет икля. Икля – это элемент навесной фасадной системы, который крепится к кассете еще до монтажа, на земле или в цеху. Это некий крючок, он и навешивается на каретку.

Применяется для крепления следующих типов облицовок: кассет из алюмокомпозитных и стальных материалов (рисунки 21, 22).



Рисунок 21 - Икли для скрытого крепления



Рисунок 22 - Икли для скрытого крепления

Клеевая система для скрытого крепления (рисунки 23, 24).

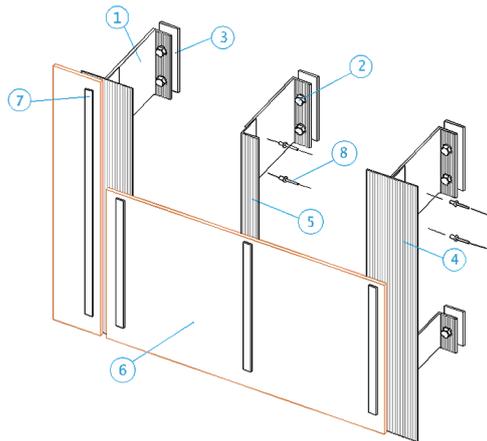
Данный тип крепления решает задачу крепления больших форматов. В настоящее время не имеет ТС. Система клеевого крепления облицовки состоит из клея-герметика, самоклеящейся ленты, очистителя и грунтовки. Плиты облицовки приклеиваются к профилю подконструкции с помощью клея-герметика и самоклеящейся ленты. Перед процессом склеивания необходимо тщательно подготовить поверхности с помощью очистителя и грунтовки.

Предполагается применение следующих типов облицовок:

1. Плиты керамического гранита;
2. Плиты фиброцементные;
3. Панели из бумажно-слоистого пластика (HPL);
4. Панели из минеральной (каменной) ваты;
5. Панели из алюмокомпозитных и стальных материалов.



Рисунок 23 - Клеевая система для скрытого крепления



- 1 – кронштейн (показан условно);
 2 – анкер;
 3 – прокладка теплоизолирующая;
 4 – Т-образная направляющая;
 5 – Г-образная направляющая;
 6 – облицовочный материал (керамогранит, листовой композит или натуральный камень);
 7 – клей морозостойкий ($t=1,5-2,5$ мм, $b=15-25$ мм);
 8 – заклепка

Рисунок 24 - Клеевая система для скрытого крепления

Диагональные пропилы в керамическом граните для скрытого крепления (рисунок 25).

Диагональные пропилы в данном типе крепления выполняются из углеродистых оцинкованных сталей с защитным покрытием или из коррозионностойких сталей. Нет отдельных ТС (входит в состав НФС). Однако в отдельных решениях не подтверждается несущая способность крепления, поэтому необходима техническая оценка возможности применения. В Европе используется только совместно. Техника с применением пропилов с внутренней стороны плит не во всех случаях гарантирует несущую способность. Пространство пропилов перед монтажом необходимо заполнять клеевым составом.

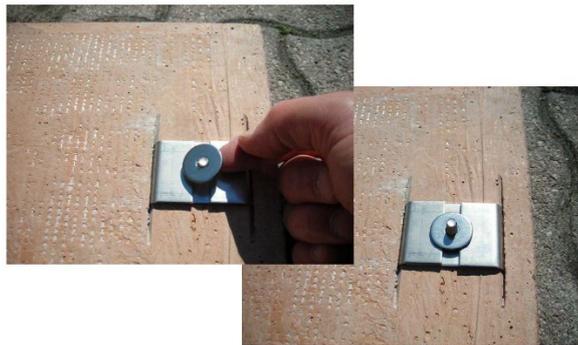


Рисунок 25 - Диагональные пропилы в керамическом граните для скрытого крепления

2. Видимое крепление

Самонарезающие винты для видимого крепления (рисунок 26).

Данный тип крепления может иметь подвижную точку крепления и неподвижную (несущую) точку крепления. Пригодность самонарезающих винтов подтверждается ТС.

Данный тип крепления допущен к применению следующих типов облицовок:

1. Плиты фиброцементные;
2. Панели из бумажно-слоистого пластика HPL;
3. Панели из минеральной (каменной) ваты;
4. Панели АКВАПАНЕЛЬ;
5. Панели из алюмокомпозитных и стальных материалов.



Рисунок 26 - Самонарезающие винты для видимого крепления

Вытяжные заклепки для видимого крепления (рисунки 27, 28).

Вытяжные заклепки для данного типа крепления выполняются из коррозионностойких сталей с широким бортиком. Пригодность подтверждается ТС. Данный тип крепления может иметь подвижную точку крепления и неподвижную (несущую) точку крепления. Рекомендуется применять втулку, которая снимает напряжения и не позволяет пережимать плиту при монтаже. Обычно заклепка окрашивается в цвет облицовки. Количество и шаг между заклепками зависят от размера и веса облицовочных плит.

Допущен к применению следующих типов облицовок:

1. Плиты фиброцементные;
2. Панели из бумажно-слоистого пластика HPL;
3. Панели из минеральной (каменной) ваты;
4. Панели АКВАПАНЕЛЬ;
5. Панели из алюмокомпозитных и стальных материалов.



Рисунок 27 - Вытяжные заклепки для видимого крепления



Рисунок 28 - Вытяжные заклепки для видимого крепления

Кляммеры для видимого крепления (рисунки 29, 30).

Кляммеры для данного типа крепления производятся из углеродистых оцинкованных сталей с защитным покрытием, из коррозионностойких сталей или алюминиевых сплавов. На них нет отдельных ТС (входят в состав НФС). Большим плюсом кляммеров является многообразие форм, видов и вариаций. Минимальная толщина кляммера составляет 1 миллиметр, минимальная ширина прижима (лапки) – 10 миллиметров. Под каждый проект фасада необходимо производить расчет кляммеров на прочность. Количество кляммеров для крепления облицовочных плит определяется расчетом несущей способности конструкции. Необходимо устанавливать не менее 2х кляммеров на верхнюю и не менее 2х кляммеров на нижнюю грань облицовочной плиты. Рекомендуется окрашивать кляммеры в цвет используемого облицовочного материала.

Допущен к применению следующих типов облицовок:

1. Плиты керамического гранита;
2. Плиты агломератно-гранитные;
3. Плиты керамические многопустотные и полнотелые (терракота).



Рисунок 29 - Кляммеры для видимого крепления



Рисунок 30 - Кляммеры для видимого крепления

Планки для видимого крепления (рисунок 31).

Планки для данного типа крепления выполняются из углеродистых оцинкованных сталей с защитным покрытием, из коррозионностойких сталей или из алюминиевых сплавов. Нет отдельных ТС (входит в состав НФС).

Допущен к применению следующих типов облицовок:

1. Плиты керамического гранита;

2. Панели из бумажно-слоистого пластика (HPL);
3. Панели из стекла;
4. Плиты агломератно-гранитные;
5. Плиты керамические многоступенчатые и полнотелые (терракота).

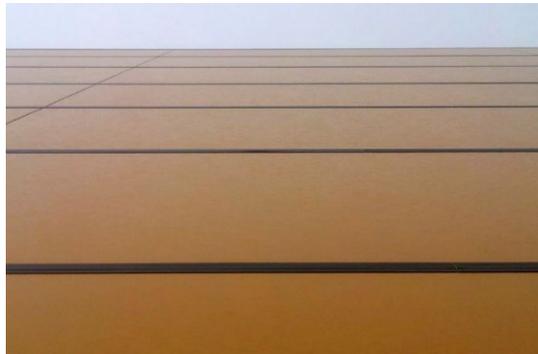


Рисунок 31 - Планки для видимого крепления

3. Комбинированное крепление

Комбинированное крепление облицовки к несущему каркасу НФС может быть осуществлено при совместном применении следующих способов крепления: клеевая система + анкера скрытого крепления; клеевая система + вытяжные заклепки; клеевая система + самонарезающие винты; клеевая система + кассеты; клеевая система + планки; планки скрытого крепления + вытяжные заклепки; кляммеры скрытого крепления + самонарезающие винты.

Итак, выше рассмотрены всевозможные классификации НФС, облицовок и способов крепления облицовок к несущему каркасу НФС. Теперь рассмотрим конкретный пример, доказывающий различие в расчетной схеме несущей подконструкции при использовании различных видов облицовок.

Пусть имеется 2 вида облицовки – керамогранитные плиты и плиты из фиброцемента. Данные облицовочные материалы имеют различные конструкции крепления:

Плиты из керамогранита могут крепиться скрытым (анкера скрытого крепления, кляммеры, планки), видимым (кляммеры, планки) и комбинированным (клеевая система + анкера скрытого крепления) способами;

Фиброцементные плиты могут крепиться скрытым (анкера скрытого крепления, винты скрытого крепления, заклепки скрытого крепления, клеевая система), видимым самонарезающие винты, вытяжные заклепки) и комбинированным (клеевая система + вытяжные заклепки) способами.

Рассмотрим сравнение двух данных видов облицовок на примере крепления керамогранитных плит видимым способом при помощи кляммеров и фиброцементных плит также видимым способом при помощи самонарезающих винтов. Расчетные схемы несущей подконструкции, а именно направляющей НФС, будут выглядеть следующим образом:

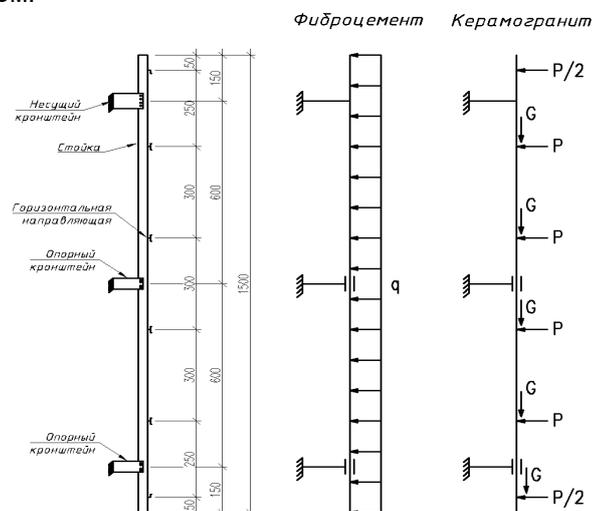


Рисунок 32 - Расчетные схемы направляющей для фиброцементных и керамогранитных плит облицовок

На рисунке 32 видно, что облицовочные плиты из фиброцемента передают нагрузку на направляющую в виде равномерно распределенной нагрузки, это объясняется креплением каждой плиты к направляющей, которое осуществляется согласно схеме на рисунке 33. Также на данном рисунке отмечено, каким образом происходит распределение нагрузки на каждую точку крепления фасадной облицовки.

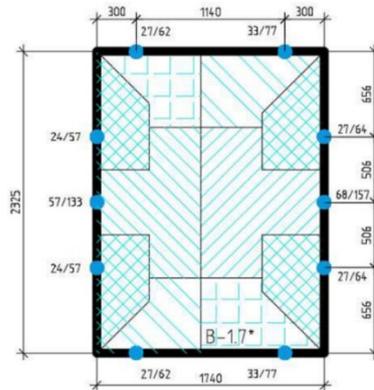


Рисунок 33 - Распределение равномерно распределённой нагрузки на точки крепления фасадной облицовки из фиброцемента

С облицовочных плиты из керамогранита нагрузка передается сосредоточенно через кляммеры.

Произведем сравнение эпюр усилий (нормальной силы N и изгибающего момента M), а также реакций в опорах (точках крепления) на направляющих, соответствующих данным видам облицовок.

Из рисунков 34 и 35 можно отметить, что при применении облицовки из керамогранита продольные усилия N выше, чем при применении облицовки из фиброцемента. Эпюра изгибающего момента M в первом случае имеет вид плавной линии, без скачков, и имеет меньшие значения на опорах, чем во втором случае, в котором эпюра изгибающего момента M имеет вид ломаной линии и значения, превышающие предыдущий случай на 25%. Значения реакций на опорах (узлах крепления кронштейнов) также имеют различия.

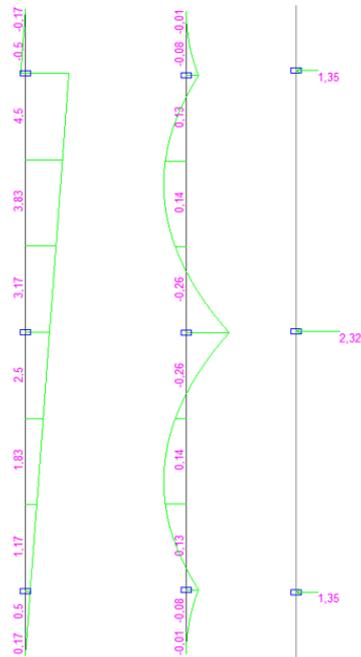


Рисунок 34 - Эпюры усилий N , M и реакции для фасадной облицовки из фиброцемента

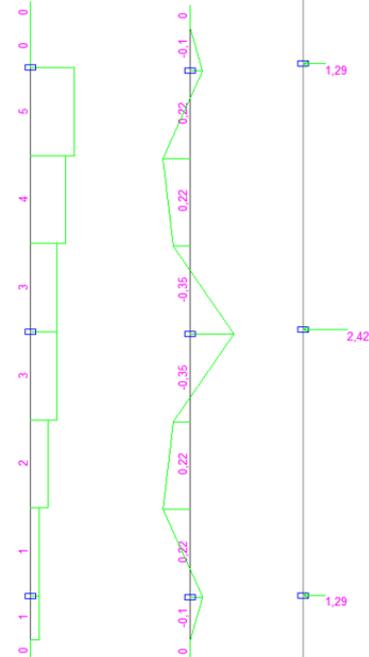


Рисунок 35 - Эпюры усилий N , M и реакции для фасадной облицовки из керамогранита

Таким образом, из рисунков 34 и 35 видно, что различия в усилиях на направляющих при использовании различных видов облицовок существенно отличаются, что нужно учитывать при расчете или проектировании НФС.

Заключение

Бурному развитию навесных вентилируемых фасадов способствовало одно из главных преимуществ данной технологии, заключающееся в бесконечном многообразии облицовочных покрытий. Однако такое многообразие выбора материалов порождает проблему их типового крепления к фасадной подконструкции. Разные материалы требуют различного подхода к надежному и долговечному креплению, и вследствие этого изменяется и расчет несущего каркаса НФС (направляющих, элементов узлов крепления облицовки к направляющим, кронштейнов и т.д.).

В статье рассмотрены всевозможные виды НФС, виды облицовок, способы крепления облицовки к несущей подконструкции НФС, а также доказано, что в зависимости от способа крепления изменяется способ передачи нагрузки от облицовки на элементы металлического каркаса, а, следовательно, изменяются расчетная схема несущих элементов и усилия в них.

Вследствие вышеизложенного так важно учитывать различия при расчете каждого вида облицовки в отдельности, используя корректные расчетные схемы. Таким образом, в зависимости от вида облицовки (от вида крепления облицовки к несущему каркасу) должен выбираться соответствующий вид расчетной схемы. Также необходимо помнить, что при проектировании НФС должны строго соблюдаться все правила СП, СТО, рекомендаций и ГОСТ, отвечать требованиям нормам строительства и других стандартов строительства и проектирования конструкций и сооружений.

Благодарности

Автор выражает признательность научному консультанту Галямичеву А.В., старшему преподавателю ВШПГИДС, за оказанную помощь при проведении данного исследования и написании настоящей статьи.

Литература / References

- [1]. [Krepleniye oblitsovochnykh paneley navesnykh fasadnykh sistem]. [Online]. URL: <https://www.normacs.info/articles/622> (date of application: 31.01.2019). (rus)
- [2]. Galyamichев A.V. Wind load and its action on facade structures // Construction of Unique Buildings and Structures 2017. № 9(60). Pp. 44–57. (rus)
- [3]. Endzhievskiy L., Frolovskaia A., Petrova Y. Analysis of defects of overhead facade systems and other light thin-walled structures. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2017. 13(1). Pp.113-115.
- [4]. Gnedina L., Muchkina A., Labutin A. Installation of ventilated facades without scaffolding in high-rise buildings. E3S Web of Conferences. 2018. Pp. 33-35.
- [5]. Tushina V.M., Yemelyanov D.A. To the Problem of Calculation and Design of Hinged Ventilating Front Systems. National Research Moscow State University of Civil Engineering. 3. Pp. 38-42. (rus)
- [6]. Mukhametrakhimov R.Kh., Lukmanova L.V., Kamaliyev M.I. Features of the quality control system of the installation of hinged ventilated facade systems. Izvestiya KGASU. 2018. 1(43). Pp.234-240. (rus)
- [7]. Kuzhin M.F. Some aspects of the organization hinged ventilated front systems. 2014. S. 208–211. (rus)
- [8]. Kazakov Yu.N., Piskun A.Ye. [Ratsionalnyye tekhnologicheskiye parametry ustroystva navesnykh ventiliruyemykh fasadov]. D.Eng.Sc. thesis. 2009. 255 p. (rus)
- [9]. Vasilyev N.B., Stuglev N.A., Utkov Ye.O., Melnik I.S. [Navesnoy ventiliruyemyy fasad i mokryy]. Stroi mnogo. 2017. 5. Pp. 77-81. (rus)
- [10]. Azanova M.V., Lysenko A.R., Kaloshina S.V. [Analiz tekhnologicheskikh osobennostey ustroystva fasadnykh sistem «mokrogo» i navesnogo tipa]. Fasade systems. 2019. 2-3(46-47). Pp. 346–353. (rus)
- [11]. Vorobyev V.S., Zapashchikova N.P., Sinityna A.S. [Metodicheskiye podkhody k upravleniyu tekhnicheskim sostoyaniyem mnogoslownykh ograzhdayushchikh konstruktsey zdaniy]. D.Eng.Sc. thesis. 2017. 158 p. (rus)
- [12]. Zeng Z. Modeling ventilation in naturally ventilated double-skin façade with a venetian blind. Build. Environ. 2012. 5. Pp. 1–6.
- [13]. Menejlyuk A.I., Babij I.N., Kaminskaya-Pinaeva A.I., Ohrimovich N.S. Defenition of the operational efficiency of ventilated facades. Bulletin of the Dnieper State Academy of Civil Engineering and Architecture. 2016. 12. Pp. 32–39.
- [14]. Kazakov Y., Birjukov A. Fast assembly of quality suspended ventilated facades. Archit. Eng. 2017. 2. Pp. 115-119.
- [15]. Rodin A.M. [Istoki i razvitiye sistemy navesnogo fasada]. Vestnik grazhdanskikh inzhenerov. 2015. 3. Pp. 54–56. (rus)
- [16]. Glikin S.M., Kodysh E.N. [Navesnyye fasadnyye sistemy s effektivnoy teploizolyatsiyey i ventiliruyemym vozdushnym zazorom]. Tekhnologiya i organizatsiya stroitel'nogo proizvodstva. 2008. №. Pp. 36–37. (rus)
- [17]. Afanasyev A.A., Zhunin A.A. Industrial technology for the construction of energy-efficient building envelopes. Technology and organization of construction production. 2014. 5. Pp. 28–30. (rus)
- [18]. Yenotkina S.S. The operation of multilayer walling. Young scientist. 2011. 6 (29). Pp. 49–52. (rus)
- [19]. Motyayev M.A. ABC of hinged facades with air gap. Moscow, 2005. 104 p. (rus)

- [20]. Gorshkov A.S.; Popov D.Yu. The design of the ventilated facade of increased reliability. Magazine of civil engineering. 2010. 8. Pp. 33–38. (rus)
- [21]. Fedyakov Ya.A. Installation of ventilated facades fundamental principles. Ecological systems. 2011. 2. Pp. 5–9. (rus)
- [22]. Drabek P., Zalesak M. Quadruple glazing panel filled with PCM and its influence on the sound insulation of building facades. WSEAS Trans. Environ. Dev. 2017. 13. Pp. 360–366.
- [23]. Meibner F., Stocker E., Vogelsang S. Approaches for the boundary envelope design of an enhanced facade test facility. Energy Procedia. 2017. 13. Pp. 369–374.
- [24]. Patterson M., Kensek K., Noble D. Supple skins: Considering the relevance, scalability, and design strategies for façade system resilience. J. Archit. Educ. 2017. 1. Pp. 34–45.
- [25]. Gallo P., Romano R. Adaptive facades, developed with innovative nanomaterials, for a sustainable architecture in the mediterranean area. Procedia Engineering. 2017. 18. Pp. 1274–1283.
- [26]. Pinotti R. Optimised parametric model of a modular multifunctional climate adaptive façade for shopping centres retrofitting. J. Facade Des. Eng. 2017. 5. Pp. 23–36.
- [27]. Santa Cruz Astorqui J., Porrás-Amores C. Ventilated Facade with double chamber and flow control device. Energy Build. 2017. 14. Pp. 471–482.
- [28]. Emelianova V.A., Nemova D.V., Miftakhova D.R. Optimized structure of ventilated facades. Mag. Civ. Eng. 2014. 5. Pp. 167–172.
- [29]. Zhunin A.A., Afanasyev A.A. Innovative Technology of Installation of Hinged Ventilating Facades for Civil Construction. Vestn. MGSU. 2017. 9. Pp. 981–989.
- [30]. Petrichenko M.R. Ventilating facade integrated with the HVAC system for cold climate. Mag. Civ. Eng. 2018. 1. Pp. 47–58.
- [31]. Lopez F.P. Experimental analysis and model validation of an opaque ventilated façade. Build. Environ. 2012. 5. Pp. 265–275.
- [32]. Feng X. A review of research development of ventilated double-skin facade. Applied Mechanics and Materials. 2014. 5. Pp. 709–713.
- [33]. Ivankina Yu.Yu. Improving the efficiency of ventilated facades. Mag. Civ. Eng. 2011. Pp. 112. (rus)
- [34]. Petritchenko M.R. Effect of rustication joints on air mode in ventilated façade. Mag. Civ. Eng. 2017. 5. Pp. 40–48.
- [35]. Statsenko E.A. Temperature and velocity conditions in vertical channel of ventilated façade. Mag. Civ. Eng. 2018. 4. Pp. 119–127.
- [36]. Sinitsyna A.S. Evaluation of the influence of external factors on the air flow rate and moisture removal from the air gap of the ventilated facade. Vestnik SGUPS. 2017. 1. Pp. 46–50. (rus)
- [37]. Statsenko Ye.A., Ostrovaya A.F., Kiselev S.S. Ventilating glass facades. Parameters of the air gap. Construction of unique buildings and structures. 2015. 12(39). Pp. 32–42. (rus)
- [38]. Yuksel E., Turkeri A.N. A literature review of experimental setups monitoring thermal performance of vegetated facade systems. J. Facade Des. Eng. 2017. 5. Pp. 67–85.
- [39]. Shahrestani M. Experimental and numerical studies to assess the energy performance of naturally ventilated PV façade systems. Sol. Energy. 2017. 14. Pp. 37–51.
- [40]. Luo Y. A comparative study on thermal performance evaluation of a new double skin façade system integrated with photovoltaic blinds. Appl. Energy. 2017. 19. Pp. 281–293.
- [41]. Diallo T.M.O. Numerical investigation of the energy performance of an Opaque Ventilating Façade system employing a smart modular heat recovery unit and a latent heat thermal energy system. Appl. Energy. 2017. 20. Pp. 130–152.
- [42]. Giordano R. Embodied energy and operational energy evaluation in tall buildings according to different typologies of façade. Energy Procedia. 2017. 13. Pp. 224–233.
- [43]. Miranda R. Adaptive tensegrity structures for dynamic facades of energy efficient buildings. AIMETA 2017 - Proceedings of the 23rd Conference of the Italian Association of Theoretical and Applied Mechanics. 2017. Pp. 1074–1081.
- [44]. Aksamija A. Heat Transfer in Facade Systems and Energy Use: Comparative Study of Different Exterior Wall Types. J. Archit. Eng. 2017. 1. Pp. 156–163.
- [45]. Kharkov N.S. Nonstationary heat and mass transfer in the multilayer building construction with ventilation channels. Journal of Physics: Conference Series. 2017. 1. Pp. 35–39.
- [46]. Kruglova V.A. Application of systems of hinged ventilated facades in different climatic conditions of Russia. Conference of the Ural Energy Institute. Ekaterinburg 2016. Pp. 197–199. (rus)
- [47]. Ghazali A. Performance and financial evaluation of various photovoltaic vertical facades on high-rise building in Malaysia. Energy Build. 2017. 134. Pp. 306–318.
- [48]. Balocco C. A simple model to study ventilated facades energy performance. Energy Build. 2002. 5. Pp. 469–475.
- [49]. Rayevskaya A.A., Bykov A.O., Platitsyna A.I. Hinged ventilating facade as an element of an energy-efficient building. Young scientist. 2011. 6 (29). Pp. 49–52. (rus)
- [50]. Musorina T.A., Gamayunova O.S., Petrichenko M.R. Substantiation of design measures to increase energy efficiency of exterior walls. Vestn. MGSU. 2017. 11. Pp. 1269–1277.
- [51]. Prieto A. Solar facades - main barriers for widespread facade integration of solar technologies. J. Facade Des. Eng. 2017. 1. Pp. 51–62.

- [52]. Guldentops G., Van Dessel S. A numerical and experimental study of a cellular passive solar façade system for building thermal control. *Sol. Energy*. 2017. 14. Pp. 102–113.
- [53]. Tablada A. Assessment of solar and farming systems integration into tropical building facades. *ISES Solar World Congress 2017 - IEA SHC International Conference on Solar Heating and Cooling for Buildings and Industry 2017, Proceedings*. 2017. Pp. 655–665.
- [54]. Talaei M. A Review on Interaction of Innovative Building Envelope Technologies and Solar Energy Gain. *Energy Procedia*. 2017. 14. Pp. 24–28.
- [55]. Elguezabal P., Garay R., Martin K. Experimentation under real performing conditions of a highly integrable unglazed solar collector into a building façade. *Energy Procedia*. 2017. 12. Pp. 775–780.
- [56]. Miranda R. Innovative structures for Dynamic Solar Façades. *COMPADYN 2017 - Proceedings of the 6th International Conference on Computational Methods in Structural Dynamics and Earthquake Engineering*. 2017. 2. Pp. 407–416.
- [57]. Claramunt J., Ardanuy M. Using vegetable fiber nonwovens cement composites as sustainable materials for applications on ventilated façade systems. *Sustainable and Nonconventional Construction Materials using Inorganic Bonded Fiber Composites*. 2017. Pp. 385–397.
- [58]. Pershina A., Ponomarenko A., Borodacheva E. Modification of plaster compositions for building facade finishing with nanotechnological materials. *MATEC Web of Conferences*. 2017. 10. Pp. 106–111.
- [59]. Herrera R. Evolution of thermally modified wood properties exposed to natural and artificial weathering and its potential as an element for façades systems. *Constr. Build. Mater*. 2018. 17. Pp. 233–242.
- [60]. Danilova-Volkovskaya Ye.M., Volkovskiy N.N., Ivanchuk Ye.V. The use of nanocomposite materials based on natural mineral aggregate for the installation of ventilated facades. *Modern Science and Innovation*. 4(20). 2017. Pp. 212–222. (rus)
- [61]. Kaver N.S. *Modern materials for the decoration of facades*. Moscow, 2005. 118 p. (rus)
- [62]. Laushkina Ye.I., Radayeva V.V. The thickness of the insulation in the ventilated facades depending on the region // *Construction of unique buildings and structures*. 2018. 3. Pp. 7–19.
- [63]. Nemova D.V., Gorshkov A.S.; Vatin N.I. Feasibility study on the insulation of the outer walls of an apartment building with a ventilated façade. *Construction of unique buildings and structures*. 2014. 11. Pp. 70–84.
- [64]. Gagarin V.G., Plyushchenko N.Yu. Determination of the thermal resistance of the ventilated layer of the NFS // *Construction: science and education*. 2015. 5. Pp. 123–131. (rus)
- [65]. Shahini M. Improving seismic performance of the non-structural light steel framing systems using sliding bolted connections. *IABSE Conference, Vancouver 2017: Engineering the Future - Report*. 2017. Pp. 1811–1816.
- [66]. Caterino N. Seismic assessment and finite element modelling of glazed curtain walls. *Struct. Eng. Mech*. 2017. 1. Pp. 77–90.
- [67]. Tusnina V.M., Emelianov D.A. The seismic stability of facade system with facing by composite panels. *Mag. Civ. Eng*. 2018. 4. Pp. 62–72.
- [68]. Petritchenko M.R. Numerical simulation of ventilated facades under extreme climate conditions. *Mag. Civ. Eng*. 2018. 1. Pp. 130–140.
- [69]. Juaristi M. Exploring the potential of smart and multifunctional materials in adaptive opaque façade systems. *J. Facade Des. Eng*. 2018. 2. Pp. 107–117.
- [70]. Granovskiy A.V. Khaktayev S.S. To the question of the use of facade heat-insulating composite systems for the walls of buildings erected in ordinary and seismic zones. *Industrial and Civil Engineering*. 2015. 4. Pp. 96–100. (rus)
- [71]. Yavtushenko Ye.B. Fundamentals of hydraulic calculation of ventilated facades // *Construction of unique buildings and structures*. 2013. 7. Pp. 55–61. (rus)
- [72]. Nemova D.V. Ventilated facades: an overview of the main problems *Magazine of civil engineering*. 2017. 5. Pp. 7–11. (rus)
- [73]. Gandhi P. Performance of glass-ACP façade system in a full-scale real fire test in a G+2 structure. *Procedia Engineering*. 2017. 210. Pp. 512–519.
- [74]. Livkiss K. Flame Heights and Heat Transfer in Façade System Ventilation Cavities. *Fire Technol*. 2018. 3. Pp. 689–713.
- [75]. Guillaume E. Study of fire behaviour of facade mock-ups equipped with aluminium composite material-based claddings, using intermediate-scale test method. *Fire Mater*. 2018. 5. Pp. 561–577.
- [76]. Yelfimova M.V., Yelfimov N.V. The study of fire hazard indicators in the manufacturing process of manufacturing ventilated facades used in construction // *Bulletin of Eurasian science*. 2017. 1. Pp. 2–10. (rus)
- [77]. Dobrogorskaya L.V. Fire prevention measures for ventilated facades. *Construction of unique buildings and structures*. 2016. 9. Pp. 34–51. (rus)
- [78]. Kozhemyaka S.V., Mazur V.A., Novitskaya Ye.I. Structurally technological features of the implementation of a hinged ventilated facade with ceramic granite cladding. *Vestnik DNASiA*. 2017. 6. Pp. 19–23. (rus)
- [79]. Shmelev G.N., Susarov A.V. Bearing capacity of ceramic granite tiles as part of a ventilated facade // *Bulletin of Kazan State University of Architecture and Civil Engineering*. 2012. 3. Pp. 212–215. (rus)
- [80]. Vakkhrushev S.I., Suvorov I.O. Hinged ventilated facade: design of the facade anchor and the technology of lining with linear panels. *Modern problems of urban and transport construction, solutions*. Pp. 232–238. (rus)
- [81]. Galyamichev A. V., Alkhimenko A.I. Design features of facade cassettes from thin ceramics. *Mag. Civ. Eng*. 2017. 1. Pp. 64–76.
- [82]. Bezruk A.I. Hinged ventilated facades with pin fastening of the cladding. *Science and Security*. 2017. 5. Pp. 39–43. (rus)

- [83]. Necasova B., Liska P., Slanohof J. Research summary: Analysis of selected adhesive systems intended for facade bonding. *Advances and Trends in Engineering Sciences and Technologies II - Proceedings of the 2nd International Conference on Engineering Sciences and Technologies, ESaT*. 2016. Pp. 573–578.
- [84]. Wang Q., Teuffel P. Adaptive structures and design concept of transformable joints. *Int. J. Des. Nat. Ecodynamics*. 2017. 2. Pp. 235–245.
- [85]. Galyamichev A.V. Bearing capacity of facade systems fixing to sandwich panels. *Mag. Civ. Eng.* 2018. 2. Pp. 30–46.
- [86]. Nowak K., Byrdy A. Effect of mounting brackets on thermal performance of buildings with ventilated facades. *J. Build. Phys.* 2018. 9. Pp. 56–61.
- [87]. Tushina V., Emelyanov A., Tushina O. A joint of ceramic granite mount by threaded anchor studs in a suspended ventilated façade. *Applied Mechanics and Materials*. 2014. 5. Pp. 615–618.
- [88]. Granovskiy A.V. About the methodology for testing anchors for breaking out of various wall materials and possible areas of their application. *Housing*. 2010. 2. Pp. 7–8. (rus)
- [89]. Tushina V.M., Yemelyanov D.A. An experimental study of the attachment points of finishing cartridges for systems of mounted ventilated facades. *Industrial and Civil Engineering*. 2015. 3. Pp. 46–49. (rus)
- [90]. Tushina V.M., Yemelyanov D.A. Nodal connections of elements in supporting systems of ventilated facades. *Industrial and Civil Engineering* 2013. 9. Pp. 11–13.
- [91]. Shaposhnikov N.N. [Расчет пластинок на изгиб по методу конечного элемента]. *Trudy Moskovskogo instituta inzhenerov transporta*. 1968. 26. Pp. 134–144.
- [92]. Dmitriyenko L.S. [Расчет тонких пластин, подкрепленных ребрами жесткости]. *Trudy Kiyevskogo universiteta*. 1958. Pp. 145–148.
- [93]. Terebushko O.I. [Ustoychivost i optimalnoye proyektirovaniye plastin, podkreplennykh rebrami]. *Prikladnaya mekhanika*. 1982. 6. Pp. 69–74.
- [94]. Recommendations «Facade thermal insulation systems with an air gap». TsNIISK im. V.A. Kucherenko FCS Gosstroy of Russia. 2004. 59 p.
- [95]. Recommendations for the design of curtain wall systems with a ventilated air gap for new construction and reconstruction of buildings. M.: Moskomarchitektura. 2009. 98 p.
- [96]. STO 0060-2008. Designs of ventilated facade systems with a supporting frame made of steel bent profiles and external cladding made of various materials. Calculation, design, installation. 2008. 67 p.
- [97]. STO NONSTROY 2.14.67-2012. Hinged front systems with an air gap. Work on the device. 2012.
- [98]. STO 44416204-012-2013. Facing elements of curtain wall systems with an air gap and details of their fastening. The method of determining the bearing capacity according to the results of laboratory tests. M.: FAU "FCS". - TSNIIPSK them. N.P. Melnikova. 2013. 30 p.
- [99]. Hauer M. Modelling of complex fenestration systems - Validation results by long-term measured data. *Building Simulation Applications*. 2017. 2. Pp. 285–292.
- [100]. Dama A., Angeli D., Larsen O.K. Naturally ventilated double-skin façade in modeling and experiments. *Energy Build.* 2017. 14. Pp. 17–29.

Контактная информация

1. * +79111313237; annet.morina@gmail.com
Анна Андреевна Морина, студентка
2. +79118360769; lenusik_ya_ne@mail.ru
Елена Андреевна Морина, студентка
3. +79118375750; almak17@yandex.ru
Алексей Игоревич Макаров, студент
4. +79118110719; galyamichev@yandex.ru
Александр Викторович Галямичев, старший преподаватель
5. +79119127004; mikenazarow95@gmail.com
Михаил Александрович Назаров, студент

Contact information

1. * +79111313237; annet.morina@gmail.com
Anna Morina, student
2. +79118360769; lenusik_ya_ne@mail.ru
Elena Morina, student
3. +79118375750; almak17@yandex.ru
Alexey Makarov, student
4. +79118110719; galyamichev@yandex.ru
Alexander Galyamichev, Senior Lecturer
5. +79119127004; mikenazarow95@gmail.com
Mikhail Nazarov, student