

Двойные фасады с вентилируемыми буферными зонами

А.О. Курицын¹, Н.Ю. Павлова², И.А. Опанасенко³, В.В. Болотовский⁴, Д.С. Тарасова⁵

¹⁻⁵ Петербургский политехнический университет Петра Великого, 195251, Россия, г. Санкт-Петербург,

Политехническая ул., 29

Информация о статье УДК 69

Аннотация

Системы вентилируемых фасадов получили большое распространение в проектировании. Их использование позволило облицовывать фасад современными отделочными материалами, повысило теплотехнические характеристики благодаря происходящей в них рекуперации теплового потока и обеспечило энергоэффективность за счет возможности регулирования вентиляционной нагрузки. Данная работа направлена на анализ актуальных данных с целью систематизации информации о двойных фасадах и представления их классификации. Также были рассмотрены некоторые параметры вентиляции. В результате был проведен сравнительный анализ фасадов по заполнению межконтурного пространства, т.к. именно этот критерий фасада наиболее показательный. Было выявлено, что лучший тип заполнения межконтурного пространства – с окнами с двойным переплетом, а эффективность различного рода фасадов напрямую зависит от климатических факторов.

Ключевые слова: Двойной фасад, тепловые характеристики, энергоэффективность, анализ теплопередачи, энергопотребление, естественная вентиляция, пассивное охлаждение, комплексное проектирование

Содержание

1. Введение	47
2. Цели и задачи	48
3. Классификация	48
4. Методы	49
5. Обсуждение	54
6. Заключение	54

Контактный автор:

1. +79117877707, alekurn@gmail.com (Курицын Алексей, студент)

1. Введение

В области строительства активно внедряются новые, прогрессивные технические и технологические решения абсолютно во всех аспектах. Одним из таких решений, получающих все большую популярность, являются системы вентилируемых фасадов. Такая система может быть определена как традиционный фасад, который с внешней стороны имеет второй слой, находящийся на расстоянии от нескольких сантиметров до нескольких метров и являющийся дополнительной обшивкой. Это позволяет воздуху циркулировать между облицовочной панелью и несущим слоем стены, что способствует улучшению влажностного состояния конструкции.

В процессе вентилирования из помещения утилизируется не только отработанный воздух, но и часть тепловой энергии, что приводит к увеличению расходов на энергоресурсы. А в связи с постоянным ростом цен на мировом рынке, а также сокращением количества не возобновляемых ресурсов (нефти, газа и пр.) нормативы потребления зданиями энергии периодически уменьшаются, а требования к уровню теплоизоляции ограждающих конструкций увеличиваются. Так, одной из наиболее современных версий данной системы является вентилируемый фасад с внедренными системами рекуперации тепла и кондиционирования, характеризующимися как, частичный возврат энергии, затраченной на проведение технологического действия с целью применения в этом же процессе. Еще одним из основных преимуществ является то, что зимой полость фасада образует тепловую буферную зону, которая уменьшает потери тепла и обеспечивает пассивный тепловой эффект от солнечного излучения. Это позволяет регулировать вентиляционную и тепловую нагрузку в межконтурном пространстве в зависимости от внешних климатических условий для поддержания комфортной температуры внутри здания, за счет чего и обеспечивается энергоэффективность систем двойного фасада. Эта статья необходима, чтобы показать существующую возможность внедрения в строительство зданий наиболее эффективных систем рекуперации тепла.

Прежде всего, по литературным материалам, проводится систематизация информации о различного рода двойных фасадах. Анализ литературы подтверждает актуальность выбранной темы, вследствие многообразия научных работ по рассматриваемому вопросу. В статьях [1-7] были описаны способы решения проблемы энергозатрат здания. Aldawoud A. в своей статье оценил энергетические характеристики стеклянных фасадов [2]. Принципы энергосбережения в гражданских и промышленных зданиях рассмотрел в своей статье Горшков А.С [5]. Petrichenko Mikhail, Musorina Tatiana, Statsenko Elena, Ostrovaia Anastasia, Tarasov Vladimir посвятили свою работу исследованию энергоэффективности фасадов и их характеристикам [7].

Исследованию энергоэффективности здания в целом были посвящены статьи [8-13]. Жуков А. Д. рассмотрел основные типы систем вентилируемых фасадов [8]. Sanchez E., Rolando A., Sant R., Ayuso L. в своей работе [10] рассматривали влияние естественной вентиляции на перенос воздушных масс и энергоэффективность здания с системой двойного остекления.

Расчеты существующих моделей вентилируемых фасадов, их эффективности, были проведены в работах [14-19]. Доцент кафедры «Строительство уникальных зданий и сооружений» Инженерно-строительного института Санкт-Петербургского Политехнического университета Немова Д.В. рассчитала Интегральные характеристики термогравитационной конвекции в воздушной прослойке навесных вентилируемых фасадов [15]. В своей статье Шкаровский А. Л. и Савиных Е. Н. рассматривали вопрос комплексного энергосбережения на основе интегрированного подхода к проектированию зданий и их внутренних систем вентилирования, отопления и кондиционирования [19].

Исследования [20-24], направлены на поиск и исследование новых систем рекуперации тепла, которые могут быть использованы в вентилируемых фасадах. Zulfikar A. Adomu с помощниками рассмотрел биометрическую концепцию вентилируемых фасадов с рекуперацией тепла [20]. Lopez F.P., Santiago M.R. рассмотрели влияние климатических условий на работу одного из видов вентилируемых фасадов со встроенной системой вентиляции [23].

В работах [25-27] авторами были предложены и исследованы новые идеи моделей и систем энергоэкономичных вентилируемых фасадов. Ахмяров Т. А., Спиридонов А. В., Шубин И. Л. рассмотрели новые принципы проектирования энергосберегающих светопрозрачных конструкций [25].

Геометрия межконтурного пространства систем двойных фасадов была описана в статьях [28-32]. Ashrafi N., Pinto Duarte J. рассматривали варианты заполнения межконтурного пространства вентилируемых фасадов [30]. Кандидат технических наук Немова Д.В. в своей диссертационной работе описывала термогравитационный поток в воздушной прослойке навесных вентилируемых фасадов [32].

Классификации и сравнению систем двойных вентилируемых фасадов были посвящены статьи [33-36]. Сравнением энергоэффективности двойных вентилируемых фасадов занимались научные деятели Saelens D. и H. Hens [33]. В работе Heimrath R., Hengsberger H., Mach T., Streicher W., Waldner R, Flamant G., Loncour X., Guarracino G., Santamouris M., Farou I., Duarte R., Blomsterberg A., Sjöberg L., Blomquist C. представлены классификации систем вентилируемых фасадов по типу межконтурного пространства, типу и режимы вентиляции. Также были описаны характеристики, преимущества и недостатки систем двойных фасадов [36].

Однако, несмотря на большой объем работ, посвященных этой теме, до сих пор остаются не исследованными и не классифицированными по характеристикам системы рекуперации тепла, встроенные в

вентилируемые фасады, практически нет информации о фасадах на русском языке, и не оценены различные варианты фасадов по критериям шумоизоляции, огнезащиты, движению воздуха, светопропускной способности и удобству в обслуживании. Не доказана зависимость энергоэффективности фасада относительно его принадлежности тому или иному типу климата. В связи с этим, в данной работе выделяются критерии, по которым происходит их классификация. Далее рассматриваются некоторые параметры вентиляции с их описанием и определением типов. И сравниваются фасады по заполнению межконтурного пространства относительно вышеназванных критериев.

2. Цели и задачи

Целью работы является систематизация, анализ и обзор рынка интегрируемых вентиляруемых фасадов с системами вентиляции и теплообмена, выявление достоинств и недостатков данных систем, определение дальнейших перспектив и направлений развития данной области. Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

1. Классифицировать существующие вентиляруемые фасады с системами вентиляции;
2. Описать принцип действия различных вариантов двойных фасадов;
3. Провести сравнительную характеристику существующих фасадов.

3. Классификация

Классификация двойных фасадов отличается в различных источниках. Существуют три главные классификации вентиляруемых двойных фасадов в соответствии с тремя критериями: тип вентиляции, режим вентиляции, и тип разделения межконтурного пространства. Эти критерии по большей части независимы друг от друга, и могут быть анализированы по отдельности, что удобно для сравнения.

- По типу (геометрии) межконтурного пространства:
 - Многоэтажный двойной фасад;
 - Многоэтажный двойной фасад с жалюзи;
 - Коридорный фасад;
 - Шахтный фасад;
 - Фасад с окнами с двойным переплетом.
- Тип вентиляции:
 - Естественный;
 - Механический;
 - Смешанный;
- Режим вентиляции межконтурного пространства:
 - Наружная воздушная завеса;
 - Внутренняя воздушная завеса;
 - Подача воздуха;
 - Выпуск воздуха;
 - Открытый;
 - Закрытый.

Различные комбинации этих критериев можно увидеть на рисунке 1.



Рисунок 1. Классификация двойных вентиляруемых фасадов

Эти критерии могут быть объединены между собой. Однако не все эти комбинации могут быть использованы на практике. Большинство концепций фасада специально адаптированы к определенному типу климата.

4. Методы

В этой главе будут подробно рассмотрены все параметры вентиляции с их описанием. Во-первых, стоит определить типы вентиляции. Они определяют тип движущей силы воздуха в полости двойного фасада. Каждая концепция вентилируемого двойного фасада предусматривает только один тип вентиляции.

- *Естественная вентиляция (рис. 2, а).*

При таком виде вентиляции горячий воздух перемещается вверх, течет в полости фасада, кроме того, жители имеют доступ к воздушному потоку. Естественная вентиляция приводит к снижению потребления энергии, если она выполнена хорошо. Однако, такой тип вентиляции не может быть использован везде. Важным условием его работы является разница температур между внутренним и внешним воздухом. При отсутствии этой разницы, воздух в полости фасада не будет перемещаться. Поэтому, в холодных климатах, в климатах с редкими солнечными днями, этот тип вентиляции будет иметь смысл, а в теплых и солнечных климатах не будет выполнять свою функцию.

- *Механическая вентиляция (рис. 2, б).*

При механической вентиляции воздух течет с помощью системы вентиляции. Этот тип вентиляции фактически работает в любом климате, однако требует больших затрат на электроэнергию, так как постоянная работа приборов требует больших энергозатрат. Как правило, используется в теплых климатах. На рисунке 2 посередине показана механическая вентиляция.

- *Смешанная вентиляция (рис. 2, в).*

Эта вентиляция включает в себя как естественную, так и механическую вентиляцию, в которой мы используем механическую вентиляцию, когда естественная вентиляция недостаточна или она не может работать должным образом. Такой тип вентиляции будет наиболее эффективен в странах с резко меняющимся климатом. Механическая вентиляция позволит в особо жаркие периоды снижать температуру внутри здания, а также накапливать энергию в теплообменниках, с чем не справится естественная вентиляция. А в холодные периоды можно отключать вентилирующие приборы, что позволит обеспечить дополнительную теплоизоляцию, и подключать работу обогревателей.

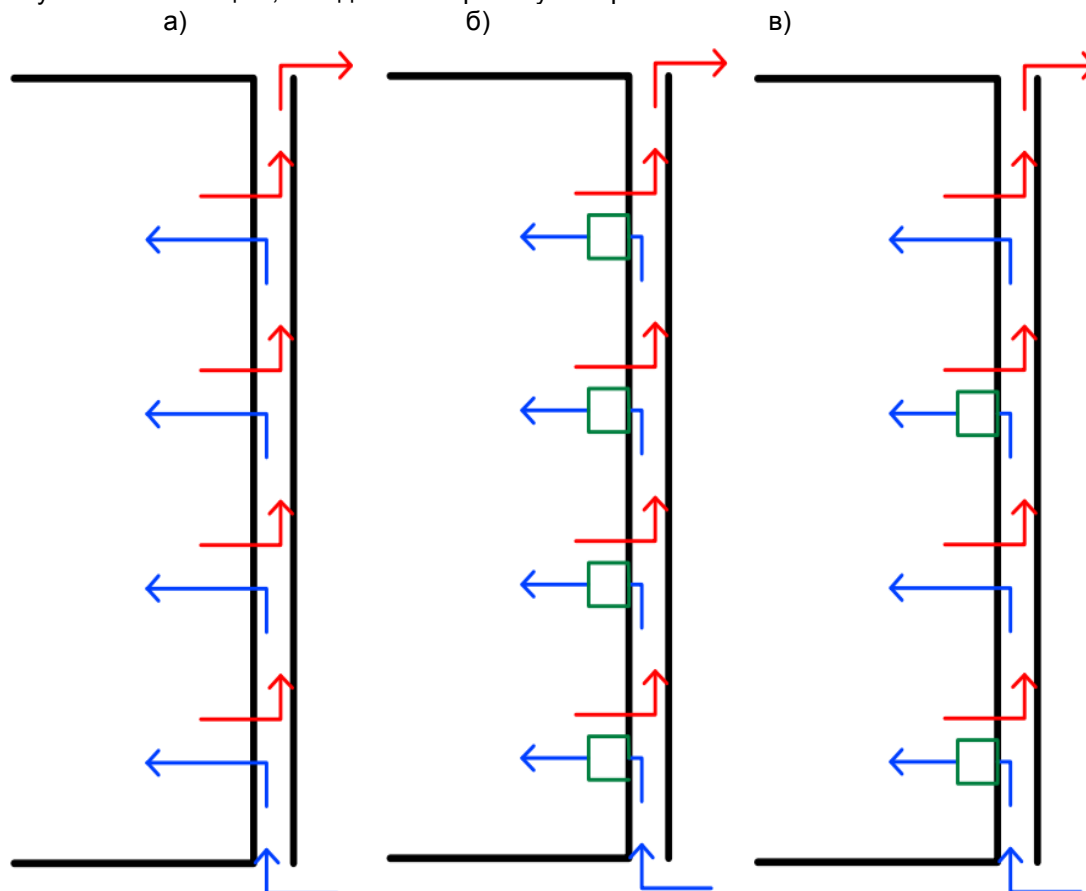


Рисунок 2. Типы вентиляции

Теперь рассмотрим различия между типами заполнения межконтурного пространства в вентилируемых фасадах. Если говорить о межконтурном пространстве, то его заполнение зависит от климата, ориентации здания в пространстве, типа конструкции и системы вентиляции. Его ширина может изменяться в пределах от нескольких сантиметров до более чем одного метра.

- *Многоэтажный двойной фасад (рис. 3, а).*

Многоэтажные вентилируемые двойные фасады характеризуются полостью, которая не разделена ни горизонтально, ни вертикально, поэтому пространство между двумя фасадными слоями образует один большой объем. Как правило, в этом типе фасада полость достаточно широка, чтобы можно было устанавливать полы на уровне каждого этажа, чтобы обеспечить доступ к полости, в первую очередь для очистки и обслуживания. В некоторых случаях полость может проходить вокруг здания без какого-либо разделения. Фасад с этим типом разделения пространства в большинстве случаев вентилируется естественно, однако существуют также примеры фасада этого типа, которые вентилируются механически. Следует отметить, что фасады этого типа обычно имеют отличную изоляцию наружного шума.

- *Многоэтажный двойной фасад с жалюзи (рис. 3, б).*

Этот тип заполнения межконтурного пространства очень похож на многоэтажный вентилируемый двойной фасад. Его полость так же не разделена ни по горизонтали, ни по вертикали и поэтому образует один большой объем. Однако здесь устанавливают металлические полы на уровне каждого этажа, чтобы обеспечить доступ к фасаду, главным образом для его очистки и обслуживания. Разница между фасадом этого типа и многоэтажным двойным фасадом заключается лишь в том, что наружный фасад состоит исключительно из поворотных жалюзи, а не из традиционного монолитного фасада с отверстиями. Этот внешний фасад не герметичен, даже когда все жалюзи поставлены в закрытое положение, что оправдывает его отдельную классификацию.

- *Коридорный фасад (рис. 3, в).*

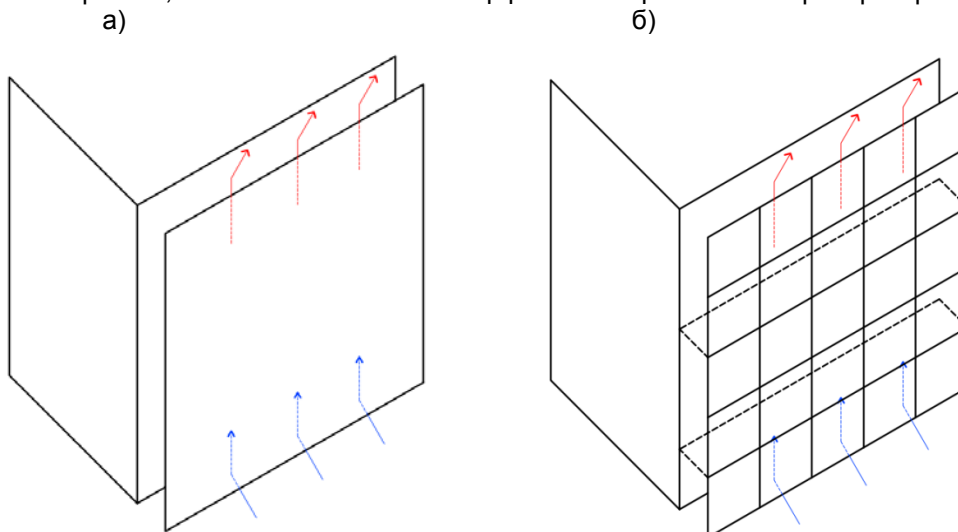
Горизонтальное разбиение межконтурного пространства. По сути, пространство – коридор, через него можно пройти. Разбиение, как правило, происходит между этажами, вертикального разбиения нет. Вентиляция происходит механическим образом. Такая конструкция удобна в эксплуатации, однако обладает не самыми лучшими характеристиками.

- *Шахтный фасад (рис. 3, г).*

Цель этой идеи разделения состоит в том, чтобы использовать естественную вентиляцию, адаптируя разделение полости фасада, чтобы создать увеличенную тягу (по сравнению с естественно вентилируемыми фасадами, которые разделены по этажу). Таким образом, логично, что этот тип фасада и разбивка полости применяются только в естественных вентилируемых двойных фасадах. Этот фасад фактически состоит из чередования соседних фасадных модулей, разделенных по этажам, и вертикальных вентиляционных каналов, установленным в полости, которая проходит через несколько этажей. Каждый фасадный модуль соединен с одним из этих вертикальных каналов, который увеличивает тягу, обеспечивая, таким образом, ток воздуха через фасадные модули. Этот воздух естественно втягивается в вентиляционный канал и выходит через отверстие, расположенное на нескольких этажах выше.

- *Фасад с окнами с двойным переплетом (рис. 3, д).*

Есть и вертикальное, и горизонтальное разбиение. Вертикальное разбиение поэтажное. Входные и выходные отверстия, соответственно, расположены в каждом блоке. Как правило, применяется механическая вентиляция. Помимо прочего, эта система наиболее эффективно противостоит распространению огня.



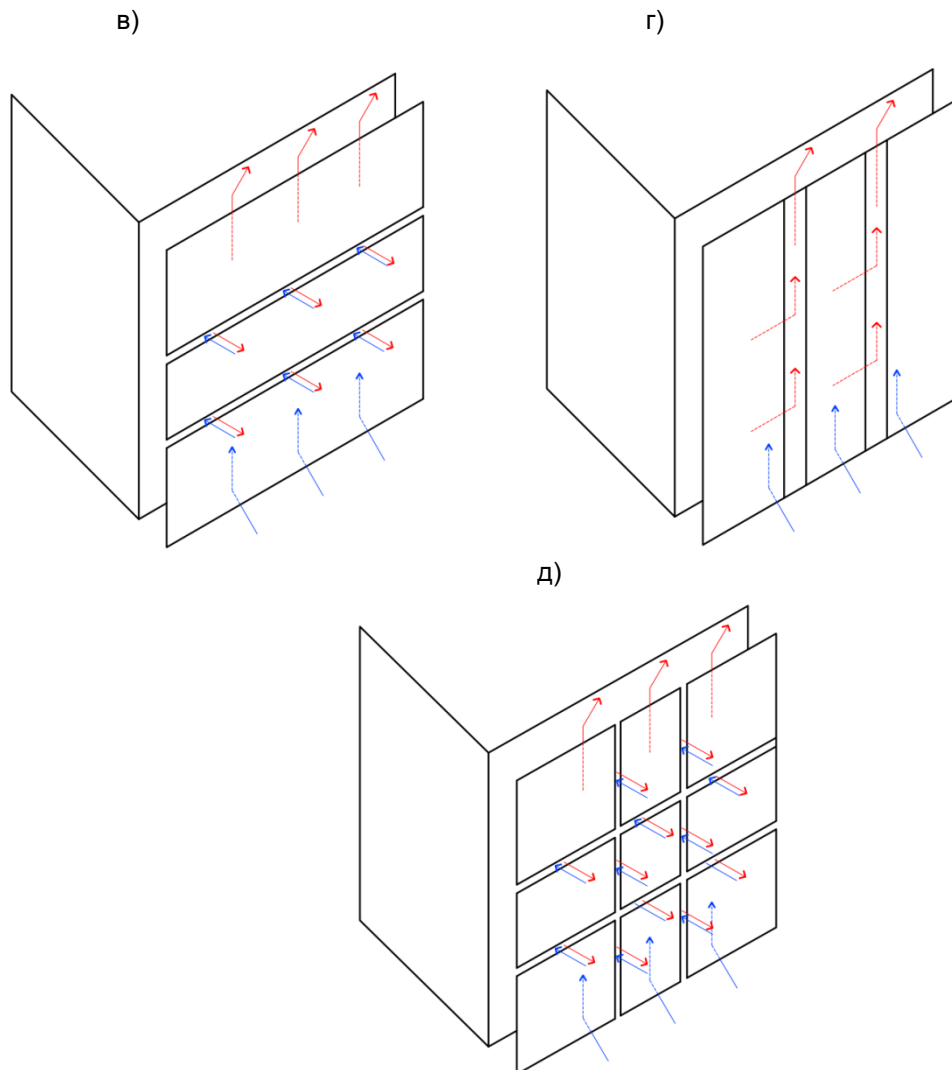


Рисунок 3. Типы заполнения межконтурного пространства в вентилируемых фасадах

Если говорить о режимах вентиляции межконтурного пространства, то именно они имеют наибольший вклад в теплоэффективность фасада. Режимы вентиляции могут быть использованы в комбинации, например, для разных времен года, а также не зависят от выбора типа вентиляции. Но не все фасады могут работать с перечисленными режимами вентиляции.

- *Наружная воздушная завеса (рис. 4, а).*

В этом режиме вентиляции воздух поступает в полость фасада извне и сразу же уходит обратно. Таким образом образуется воздушная завеса, окружающая фасад.

- *Внутренняя воздушная завеса (рис. 4, б).*

воздух поступает из помещения и возвращается туда же через вентиляционную систему. Таким образом, вентиляция образует воздушную завесу, находящуюся в полости двойного фасада.

- *Подача воздуха (рис. 4, в).*

Вентиляция происходит за счет наружного воздуха. Он поступает внутрь помещения или в систему вентиляции. Так здание снабжается свежим воздухом.

- *Выпуск воздуха (рис. 4, г).*

Воздух из помещения выпускается наружу через систему вентиляции.

- *Открытый (рис. 4, д).*

Воздух свободно перемещается из помещения наружу и наоборот (нет вентиляции).

- *Закрытый (рис. 4, е).*

Межконтурное пространство образует буферную зону между внутренним и наружным воздухом (вентиляция невозможна).

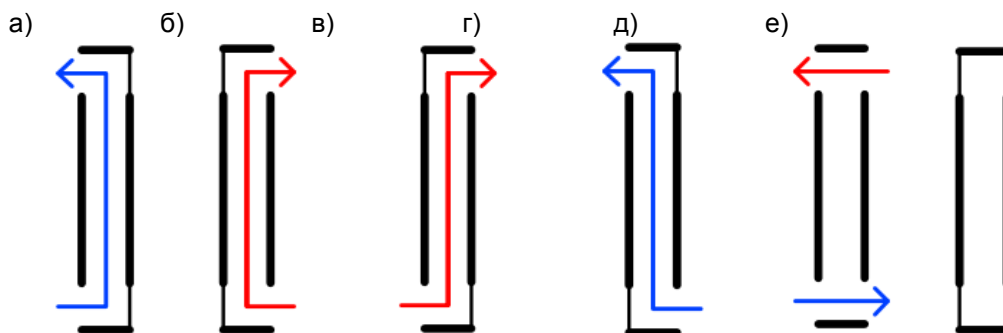


Рисунок 4. Режимы вентиляции межконтурного пространства

Режимы вентиляции важны в работе двойного фасада в целом, в определении его эффективности, но их нельзя сравнивать друг с другом, так как они определяются лишь в частных случаях, относительно климата, погоды, времени года и других факторов.

Фасады сравниваются по критерию заполнения межконтурного пространства. Этот критерий был выбран по следующим причинам. Во-первых, потому что этот критерий наиболее важен для проектировщиков, которые должны учитывать эти данные при проектировании здания. Во-вторых, этот критерий наиболее популярен в литературе. В-третьих, этот параметр является наиболее важным с точки зрения энергоэффективности вентилируемого фасада. В-четвертых, это наиболее простая характеристика вентилируемого фасада, которая не требует углубленных познаний в строительстве и вентиляции. Информация, о свойствах различных вариантов двойных фасадов взята из различных источников. Их сравнение приведено в таблице 1.

Первый критерий, по которому проведена оценка, это шумоизоляция. Этот критерий является действительно важным, так как двойные фасады часто сталкиваются с такой проблемой. Поэтому при проектировании структуры двойного фасада стоит уделить этому аспекту наибольшее внимание.

Второй критерий, это огнезащита. Известно несколько случаев, когда огонь быстро распространялся между слоями двойного фасада, что приводило к человеческим жертвам. Этого могло не произойти, если бы проектировщики учли пожароопасность конструкции, и установили специальные методы защиты от распространения огня.

Третий критерий, это движение воздуха. Движение воздуха напрямую влияет на допустимые типы вентиляции и допустимое оборудование, которые определяют качество воздуха. Высокое качество поступающего воздуха обеспечивает высокую продуктивность людей в помещении. И наоборот, плохая вентиляция, загрязненный воздух снижают производительность человека. Поэтому в современном мире этот аспект проектирования фасадов имеет большое значение. Однако, тип заполнения межконтурного пространства двойного фасада не сильно на него влияет.

Четвертый критерий, это светопропускная способность. В жарких странах важно снижать уровень солнечного облучения, а в холодных, наоборот, не ограничивать его. По этой причине этот параметр должен учитываться при проектировании фасадов.

Пятый критерий, это удобство в обслуживании. Проблемой многих двойных фасадов является то, что они сильно загрязняются, однако их очистка значительно затруднена. Поэтому этот параметр стоит учитывать при оценке того или иного фасада.

После каждого критерия дана оценка по этому критерию для каждого типа заполнения межконтурного пространства по шкале от 0 до 5. Где 0 – худшие значения, 5 – лучшие.

Так же есть критерии, которые значительно влияют на эффективность фасада в целом, однако тип заполнения межконтурного пространства двойного фасада никак их не изменяет. В их числе:

- Стоимость возведения;
- Стоимость эксплуатации;
- Энергоэффективность;
- Тепловые характеристики;
- Масса конструкции.

Из таблицы 1 видно, что самым эффективным вариантом заполнения межконтурного пространства двойного фасада по заданным критериям (шумоизоляция, огнезащита, движение воздуха, светопропускная способность, удобство обслуживания), является фасад с окнами с двойным переплетом. Но и этот вариант имеет важный недостаток – он сложен в обслуживании. Стоит помнить, что эти критерии не являются основными и никак не учитывают энергоэффективность фасада. Даже вариант, получивший здесь максимальную оценку, может не выполнять свою главную функцию, не будет снижать энергопотребление здания. Однако эту оценку стоит брать в расчет при проектировании фасада, применяя ее заданным параметрам здания: его расположения, назначения и другие.

Таблица 1. Сравнение вариантов межконтурного заполнения двойных фасадов.

	Фасад с окнами с двойным переплетом	Шахтный фасад	Коридорный фасад	Многоэтажный двойной фасад	Многоэтажный двойной фасад с жалюзи
Шумоизоляция	Защищает как от внешних шумов, так и от шумов между помещениями.	Шумоизоляция немного хуже (чем у фасада с окнами с двойным переплетом), за счет меньшего количества перегородок.	Будут проблемы с шумоизоляцией между помещениями, но не с внешней средой.	Защищает от внешних шумов, но не защищает от шумов, распространяющихся между помещениями.	Имеют плохую шумоизоляцию.
	5	4	3	2	1
Огнезащита	Лучшие параметры огнезащиты, так как все помещения отделены друг от друга перегородками.	Хорошие параметры огнезащиты, так как комнаты соединены только вентиляционным каналом.	Средние параметры огнезащиты, так как комнаты соединены в рамках одного этажа,	Плохие параметры огнезащиты, так как отсутствует любое разделение.	Плохие параметры огнезащиты, так как отсутствует любое разделение.
	5	4	3	0	0
Движение воздуха	Есть открываемые окна, которые подходят для любого типа вентиляции.	Воздушные потоки группируются по рядам и попадают в вентиляционную шахту.	Отводимые воздушные потоки могут попадать в соседние помещения.	Как правило, вентилируются механически, воздух не смешивается.	Как правило, вентилируются механически, воздух не смешивается.
	5	5	3	4	4
Светопроницаемость	Пропускает достаточное количество света, можно регулировать из помещения.	Пропускает достаточное количество света, не регулируется.	Пропускает достаточное количество света, не регулируется.	Пропускает много света, но не регулируется.	Количество пропускаемого света может регулироваться с помощью жалюзи.
	4	3	3	2	5
Удобство обслуживания	Нет доступа в полость фасада.	Нет доступа в полость фасада.	Свободный доступ в полость фасада.	Нет доступа в полость фасада.	Нет доступа в полость фасада.
	0	0	5	0	0
Суммарная оценка	19	16	17	8	10

Помимо прочего, стоит упомянуть тот факт, что эффективность того или иного вида фасада может быть однозначно определена лишь для определенного типа климата. Более того, большинство вариаций двойных фасадов были специально спроектированы для определенных задач, для определенной страны и климата. Поэтому будет разумным сравнивать двойные фасады относительно одинаковых исходных параметров: а именно, страны и климата. В работе для анализа будут использованы открытые данные немецкой компании BestFacade, которая предоставляет информацию (статистику) о работе различных вариаций двойных вентилируемых фасадов [36].

В таблице 2 приведен анализ эффективности различных типов заполнения межконтурного пространства относительно северного, средиземноморского и умеренного климата. Оценка ведется по суммарному удельному энергопотреблению здания в год, кВт·ч/м²/год.

Таблица 2. Сравнение эффективности типов заполнения фасадов относительно климатов.

кВт·ч/м ² /год	Фасад с окнами с двойным переплетом	Шахтный фасад	Коридорный фасад	Многоэтажный двойной фасад
Северный климат	107	-	93	89
Средиземноморский климат		197	130	80
Умеренный климат	103	-	94	115

Как видно из таблицы 2, шахтный тип заполнения межконтурного пространства фасада не оправдывает себя ни в одном климате. В северном и средиземноморском климате самым эффективным оказался многоэтажный способ заполнения полости фасада, а в умеренном климате – коридорный. Помимо этого видно, что эффективность того или иного типа заполнения межконтурного пространства фасада сильно зависит от климата: коридорный ухудшает свою эффективность в средиземноморском климате, а многоэтажный в умеренном.

5. Обсуждение

В строительстве наблюдается определённый тренд на увеличение количества остеклённых фасадов. Современные параметры стекла как строительного материала позволяют ему быть практически полноценным материалом для создания фасада на его основе за исключением его низкой энергоэффективности. Для того чтобы стеклянные фасады продолжили развиваться, необходимо исключить исходящий от них энергетический ущерб.

Развитие технологий вентилируемых фасадов может помочь улучшить тепловые показатели здания в том числе для полностью остеклённых фасадов. Выявленная в данной работе градация типов заполнения межконтурного пространства может упростить подбор проектного решения при проектировании объектов с такими фасадами.

Доказанная зависимость энергоэффективности фасада от климата дает простор для будущих исследований и разработок: при расчете конструкции в первую очередь стоит обратить внимание на принадлежность климатической зоне.

Можно предположить, что разрабатывать двойные фасады стоит начинать с заполнения межконтурного пространства фасада. Этот параметр имеет наибольшее влияние на его конструкцию и возможную эффективность. Также от него зависит выбор системы вентиляции, встроенной в фасад.

Как было отмечено, лучшими «побочными» параметрами обладает заполнение с окном с двойным переплетом. Однако это не обеспечивает наилучшие энергетические характеристики. Согласно таблице 2, этот вариант заполнения имеет средние, но постоянные характеристики, независимые от климата.

Группой ученых из компании BestFacade было установлено, что среднее удельное энергопотребление зданий равняется 120 кВт·ч/м²/год, и что двойные фасады в лучшем случае могут снизить его на 30% [36]. То есть, лучшие значения удельного энергопотребления будут достигать 80 кВт·ч/м²/год. Это согласуется с полученными результатами: достичь максимального значения удалось только в одном случае – когда фасад с многоэтажным заполнением межконтурной полости был установлен в средиземноморском климате.

Среди полученных результатов есть и пример неэффективной работы фасада – фасад с шахтным типом заполнения межконтурного пространства, установленный в том же средиземноморском климате, показал увеличение среднего удельного энергопотребления на 50%.

6. Заключение

1. Установлена классификация двойных вентилируемых фасадов, которая представлена на рис. 1. (По типу вентиляции, способу заполнения межконтурного пространства и режима вентиляции).
2. Оценены варианты заполнения полости фасада по вторичным критериям (шумоизоляция, огнезащита, движение воздуха, светопропускная способность, удобство обслуживания). Лучшую оценку получил фасад с окнами с двойным переплетом.
3. Доказана зависимость энергоэффективности двойного фасада относительно типа климата.
4. Показано, что двойной фасад со встроенной системой вентиляции может снизить удельное энергопотребление здания на 30%.

Литература

- [1]. Самолькина Е. Г. Деревянный декор фасада в аспекте энергосбережения // Вестник МГСУ. 2014. № 8. С. 20-27.
- [2]. Aldawoud A. (2017). Assessing the energy performance of modern glass facade systems. MATEC Web of Conferences.2017. No. 120. pp. 7.
- [3]. Немова Д.В. Навесные вентилируемые фасады: обзор основных проблем // Инженерно-строительный журнал.

References

- [1]. Samol'kina E. G MSUCE bulletin. 2014. No. 8. pp. 20-27. (rus)
- [2]. Aldawoud A. (2017). Assessing the energy performance of modern glass facade systems. MATEC Web of Conferences.2017. No. 120. pp. 7.
- [3]. Nemova D.V. Magazine of Civil Engineering. 2010. No. 5. pp. 7-11. (rus)

2010. №5. С. 7-11.
- [4]. Малоедов С.Д., Выгузов В.Н. Вентилируемые фасады - эффективное решение проблемы энергосбережения // *Строительные материалы*. 2001. №5. С. 24.
 - [5]. Горшков А.С. Принципы энергосбережения в зданиях // *Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века*. 2014. №7(186). С. 26-35.
 - [6]. Ляпидус А. А., Жунин А. А. Моделирование и оптимизация организационных и технологических решений в строительстве эффективных эффективных структур энергии в гражданской машиностроении // *Вестник МГСУ*. 2016. № 5. С. 59-71.
 - [7]. Petrichenko M., Musorina T., Statsenko E., Ostrovaia A., Tarasov V. (2016). Functionality of Ventilated Facades: Protection of Insulation. MATEC Web of Conferences. 2016. No. 53. pp. 36.
 - [8]. Жуков А. Д. Системы вентилируемых фасадов // *Строительство: наука и образование*. 2012. № 1. С. 3.
 - [9]. Weindler H., Koerner W., Streider B. A. (2014) Ventilated cooling ceiling with integrated latent heat storage-Monitoring results. *Energy and buildings*. 2014. No. 82. pp. 65–72.
 - [10]. Sanchez E., Rolando A., Sant R., Ayuso L. (2016) Influence of natural ventilation due to buoyancy and heat transfer in the energy efficiency of a double skin facade building. *Energy for sustainable development*. 2016. No 33. pp. 139-148.
 - [11]. Sanjuan C., Suarez M.J., Gonzalez M., Pistono J., Blanco E. (2008). Energy performance of an open-joint ventilated facade compared with a conventional sealed cavity facade. *Solar energy*. 2008. No. 85. pp. 1851–1863.
 - [12]. Suarez MJ., Sanjuan C., Gulitierrez AJ., Pistono J., Blanco E. (2012). Energy evaluation of an horizontal open joint open ventilated facade. *Applied thermal engineering*. 2012. No. 37. pp. 302-313.
 - [13]. Обухова А. А. Навесные вентилируемые фасады: проблемы состояния нормативов и вопросы применения некоторых материалов // *Вестник магистратуры*. 2015. № 6-1(45). С. 63-64.
 - [14]. Якубсон В. М. Развитие Энергоэффективность Ограждающих Конструкций Зданий // *Инженерно-Строительный Журнал*. 2014. № 8 (52). С. 5-8.
 - [15]. Немова Д.В. Интегральные характеристики термогравитационной конвекции в воздушной прослойке навесных вентилируемых фасадов // *Инженерно-строительный журнал*. 2013. №2(37). С. 25-34.
 - [16]. Petrichenko M., Nemova D., Reich E., Subbotina S., Khayrutdinova F., Schilling R., Olshevskiy V. (2016). Impact of Rustication Joints on Lightweight Insulation in Ventilated Facade Systems. MATEC Web of Conferences. 2016. No. 73. pp. 7-20.
 - [17]. Elarga H., Zarrella A., De Carli M. (2016). Dynamic energy evaluation and glazing layers optimization of facade building with innovative integration of PV modules. *Energy and buildings*. 2016. No. 111. pp. 468–478.
 - [18]. Stazi F. (2012). Life cycle assessments approach for the optimization of sustainable building envelopes: An application on solar wall systems. *Building and environment*. 2012. No. 58. Pp. 278-288.
 - [19]. Шкаровский А. Л., Савиных Е. Н. Комплексное энергосбережение на основе интегрированного подхода к проектированию зданий и их внутренних систем HVAC // *Современные проблемы науки и образования*. 2012. № 4. С. 108.
 - [20]. Huei-Mei L., Chin-Huai Y., Der-Juinn H., Yih-Chearng S., Shin-Ku L. (2016). Improving the Performance of a Semitransparent BIPV by Using High-Reflectivity Heat Insulation Film. *International Journal of Photoenergy*. 2016. No. 2016. pp. 15.
 - [4]. Maloedov S.D., Vyguzov V.N. *Construction Materials*. 2001. No. 5. pp. 24. (rus)
 - [5]. Gorshkov A.S. *Construction materials, equipment, technologies of the XXI century*. 2014. No. 7(186). pp. 26-35. (rus)
 - [6]. Lyapidus A. A., Zhunin A. A. *MSUCE bulletin*. 2016. No. 5. pp. 59-71. (rus)
 - [7]. Petrichenko M., Musorina T., Statsenko E., Ostrovaia A., Tarasov V. (2016). Functionality of Ventilated Facades: Protection of Insulation. MATEC Web of Conferences. 2016. No. 53. pp. 36.
 - [8]. Zhukov A. D. *Construction: science and education*. 2012. No. 1. pp. 3. (rus)
 - [9]. Weindler H., Koerner W., Streider B. A. (2014) Ventilated cooling ceiling with integrated latent heat storage-Monitoring results. *Energy and buildings*. 2014. No. 82. pp. 65–72.
 - [10]. Sanchez E., Rolando A., Sant R., Ayuso L. (2016) Influence of natural ventilation due to buoyancy and heat transfer in the energy efficiency of a double skin facade building. *Energy for sustainable development*. 2016. No 33. pp. 139-148.
 - [11]. Sanjuan C., Suarez M.J., Gonzalez M., Pistono J., Blanco E. (2008). Energy performance of an open-joint ventilated facade compared with a conventional sealed cavity facade. *Solar energy*. 2008. No. 85. pp. 1851–1863.
 - [12]. Suarez MJ., Sanjuan C., Gulitierrez AJ., Pistono J., Blanco E. (2012). Energy evaluation of an horizontal open joint open ventilated facade. *Applied thermal engineering*. 2012. No. 37. pp. 302-313.
 - [13]. Obukhova A. A. *Magistrate's newsletter*. 2015. No. 6-1(45). pp. 63-64. (rus)
 - [14]. Yakubson V. M. *Magazine of Civil Engineering*. 2014. No. 8 (52). pp. 5-8. (rus)
 - [15]. Nemova D.V. *Magazine of Civil Engineering*. 2013. No. 2(37). pp. 25-34. (rus)
 - [16]. Petrichenko M., Nemova D., Reich E., Subbotina S., Khayrutdinova F., Schilling R., Olshevskiy V. (2016). Impact of Rustication Joints on Lightweight Insulation in Ventilated Facade Systems. MATEC Web of Conferences. 2016. No. 73. pp. 7-20.
 - [17]. Elarga H., Zarrella A., De Carli M. (2016). Dynamic energy evaluation and glazing layers optimization of facade building with innovative integration of PV modules. *Energy and buildings*. 2016. No. 111. pp. 468–478.
 - [18]. Stazi F. (2012). Life cycle assessments approach for the optimization of sustainable building envelopes: An application on solar wall systems. *Building and environment*. 2012. No. 58. Pp. 278-288.
 - [19]. Shkarovskiy A. L., Savinykh E. N. *Current issues of science and education*. 2012. No. 4. pp. 108. (rus)
 - [20]. Huei-Mei L., Chin-Huai Y., Der-Juinn H., Yih-Chearng S., Shin-Ku L. Improving the Performance of a Semitransparent BIPV by Using High-Reflectivity Heat Insulation Film. *International Journal of Photoenergy*. 2016. No. 2016. pp. 15.
 - [21]. Bilow M. (2012). *International Façades - CROFT. Climate Related Optimized Façade Technologies. A+BE: Architecture and the Built Environment*. 2012. No. 2(1). pp. 1-360.
 - [22]. Noortje A. (2016). Adaptive thermal comfort opportunities for dwellings: Providing thermal comfort only when and where needed in dwellings in the Netherlands. *A+BE: Architecture and the Built Environment*. 2016. No. 6(13). pp. 1-336.
 - [23]. Lopez F.P., Santiago M.R. (2015). Sensitivity study of an opaque ventilated facade in the winter season in different climate zones in Spain. *Renewable energy*. 2015. No. 75. pp. 524–533.
 - [24]. Haase M., Amato A. (2008). Ventilated airflow windows for

- [21]. Bilow M. (2012). International Façades - CROFT. Climate Related Optimized Façade Technologies. A+BE: Architecture and the Built Environment. 2012. No. 2(1). pp. 1-360.
- [22]. Noortje A. (2016). Adaptive thermal comfort opportunities for dwellings: Providing thermal comfort only when and where needed in dwellings in the Netherlands. A+BE: Architecture and the Built Environment. 2016. No. 6(13). pp. 1-336.
- [23]. Lopez F.P., Santiago M.R. (2015). Sensitivity study of an opaque ventilated facade in the winter season in different climate zones in Spain. Renewable energy. 2015. No. 75. pp. 524–533.
- [24]. Haase M., Amato A. (2008). Ventilated airflow windows for comfort in a hot and humid climate. International journal of ventilation. 2008. No. 7. pp. 113–124.
- [25]. Zulfikar A., Andrew D.F. (2015). Natural Ventilation with Heat Recovery: A Biomimetic Concept. Buildings. 2015. No. 5(2). pp. 405-423.
- [26]. Ахмяров Т. А., Спиридонов А. В., Шубин И. Л. Энергоэффективные вентилируемые светопрозрачные и фасадные конструкции с активной рекуперацией теплового потока // Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века . 2015. № 7-8. С. 32-37.
- [27]. Saadon S., Gaillard L., Giroux-Julien S., Menezo C. (2016). Simulation study of a naturally-ventilated building integrated photovoltaic/thermal (BIPV/T) envelope. Renewable Energy. No 87, pp. 517–531.
- [28]. Santamouris M. (2013). Advances in Building Energy Research. 2013. pp. 232.
- [29]. Haase M., Amato A. Ventilated facade design in hot and humid climate. Available at: http://www.unige.ch/cuepe/html/plea2006/pdf/510_Haase.pdf (accessed 27.11.2017).
- [30]. Ashrafi N., Pinto Duarte J. A shape-grammar for double skin facades. Available at: http://papers.cumincad.org/data/works/att/ecaade2017_133.pdf (accessed 25.11.2017).
- [31]. Maurer C., Baumann T., Hermann M., Di Lauro P., Pavan S., Michel L., Kuhn T. Heating and cooling in high-rise buildings using façade-integrated transparent solar thermal collector systems. Available at: http://www.ibpsa.org/proceedings/BS2011/P_1135.pdf (accessed 25.11.2017).
- [32]. Немова Д.В. Термогравитационный поток в воздушной прослойке навесных вентилируемых фасадов [Электронный ресурс]. Систем. требования: Adobe Acrobat Reader. URL: <http://elib.spbstu.ru/dl/2/8664.pdf/view> (дата обращения: 25.11.2017).
- [33]. Saelens D., H. Hens. Comparison of the energy demand of multiple-skin facades. Available at: <http://www.irbnet.de/daten/iconda/CIB2405.pdf> (accessed 28.11.2017).
- [34]. Yazdizad A., Rezaei F., Faizi F. Classification of Double Skin Façade and Their Function to Reduce Energy Consumption and create sustainability in Buildings. Available at: https://www.researchgate.net/publication/293333056_Classification_of_Double_Skin_Facade_and_Their_Function_to_Reduce_Energy_Consumption_and_create_sustainability_in_Buildings (accessed 25.11.2017).
- [35]. Brandle K., Boehm F. Airflow Windows: Performance and applications. Available at: <https://web.archive.org/web/20140228034127/http://web.ornl.gov/sci/buildings/2012/1982%20B2%20papers/020.pdf> (accessed 25.11.2017).
- [36]. Heimrath R., Hengsberger H., Mach T., Streicher W., Waldner R, Flamant G., Loncour X., Guarracino G., Santamouris M., Farou I., Duarte R., Blomsterberg A., Sjöberg L., Blomquist C. Best Practice for Double Skin Façades. Available at: http://www.bestfacade.com/pdf/downloads/Bestfacade_WP1_Report.pdf (accessed 25.11.2017).
- [25]. Zulfikar A., Andrew D.F. (2015). Natural Ventilation with Heat Recovery: A Biomimetic Concept. Buildings. 2015. No. 5(2). pp. 405-423.
- [26]. Akhmyarov T. A., Spiridonov A. V., Shubin I. L. Construction materials, equipment, technologies of the XXI century. 2015. No. 7-8. pp. 32-37. (rus)
- [27]. Saadon S., Gaillard L., Giroux-Julien S., Menezo C. (2016). Simulation study of a naturally-ventilated building integrated photovoltaic/thermal (BIPV/T) envelope. Renewable Energy. No 87, pp. 517–531.
- [28]. Santamouris M. (2013). Advances in Building Energy Research. 2013. pp. 232.
- [29]. Haase M., Amato A. Ventilated facade design in hot and humid climate. Available at: http://www.unige.ch/cuepe/html/plea2006/pdf/510_Haase.pdf (accessed 27.11.2017).
- [30]. Ashrafi N., Pinto Duarte J. A shape-grammar for double skin facades. Available at: http://papers.cumincad.org/data/works/att/ecaade2017_133.pdf (accessed 25.11.2017).
- [31]. Maurer C., Baumann T., Hermann M., Di Lauro P., Pavan S., Michel L., Kuhn T. Heating and cooling in high-rise buildings using façade-integrated transparent solar thermal collector systems. Available at: http://www.ibpsa.org/proceedings/BS2011/P_1135.pdf (accessed 25.11.2017).
- [32]. Nemova D.V. Termogravitatsionnyy potok v vozdushnom sloe navesnykh ventiliruemykh fasadov [Thermogravitational flow in the air layer of hinged ventilated facades]. Available at: <http://elib.spbstu.ru/dl/2/8664.pdf/view> (accessed: 25.11.2017). (rus)
- [33]. Saelens D., H. Hens. Comparison of the energy demand of multiple-skin facades. Available at: <http://www.irbnet.de/daten/iconda/CIB2405.pdf> (accessed 28.11.2017).
- [34]. Yazdizad A., Rezaei F., Faizi F. Classification of Double Skin Façade and Their Function to Reduce Energy Consumption and create sustainability in Buildings. Available at: https://www.researchgate.net/publication/293333056_Classification_of_Double_Skin_Facade_and_Their_Function_to_Reduce_Energy_Consumption_and_create_sustainability_in_Buildings (accessed 25.11.2017).
- [35]. Brandle K., Boehm F. Airflow Windows: Performance and applications. Available at: <https://web.archive.org/web/20140228034127/http://web.ornl.gov/sci/buildings/2012/1982%20B2%20papers/020.pdf> (accessed 25.11.2017).
- [36]. Heimrath R., Hengsberger H., Mach T., Streicher W., Waldner R, Flamant G., Loncour X., Guarracino G., Santamouris M., Farou I., Duarte R., Blomsterberg A., Sjöberg L., Blomquist C. Best Practice for Double Skin Façades. Available at: http://www.bestfacade.com/pdf/downloads/Bestfacade_WP1_Report.pdf (accessed 25.11.2017).

Waldner R, Flamant G., Loncour X., Guarracino G., Santamouris M., Farou I., Duarte R., Blomsterberg A., Sjöberg L., Blomquist C. Best Practice for Double Skin Façades. Available at: http://www.bestfacade.com/pdf/downloads/Bestfacade_WP1_Report.pdf (accessed 25.11.2017)

Курицын И1, Павлова Н.Ю., Опанасенко И.А., Болотовский В.В., Тарасова Д.С. , Двойные фасады с вентилируемыми буферными зонами// Alfabuild. 2018. №5(7). С. 47-58

Kuritsyn A.O., Pavlova N.Y., Opanasenko I.A., Bolotovskiy V.V., Tarasova D.S., Double skin facade with ventilated buffer zone. Alfabuild, 2018, 5(7), Pp. 47-58(rus)

Double skin facade with ventilated buffer zone

A.O. Kuritsyn¹, N.Y. Pavlova², I.A. Opanasenko³, V.V. Bolotovskiy⁴, D.S. Tarasova⁵,

¹⁻⁵Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University, 29 Politechnicheskaya St., St. Petersburg, 195251, Russia

Article info

review article

Abstract

This article is focused to analysis of actual publicly-known characteristics of double-skin facades. The goal of work is to systematize the information about ventilated facade system and to create classification of double-skin facades by several parameters such as noise isolation, fire protection, scheme of air course, light transmission capacity, convenience of maintenance and some climatic factors. In addition in article were examined a number of parameters of ventilation systems. importance of such research is confirmed by increase in distribution ventilated facade systems in construction and requirement of requirement of definition economically and practically favorable types of facades. As result was made a comparative analysis of facades for various types of filling the internal space by main technical characteristics and by efficiency of use in various climatic conditions. Finally, facades were ranged and was determined the best type – facade with ventilated double window partitioning.

Keywords:

Double-skin facade, thermal performance, energy efficiency, heat transfer analysis, energy consumption, natural ventilation, passive cooling, integrated design

Corresponding author

1. +79117877707, alekurn@gmail.com (Kuritsyn Aleksey, Student)