

Construction of Unique Buildings and Structures



journal homepage: www.unistroy.spb.ru



Энергоэффективность ограждающих конструкций общественных зданий

А.Е. Кириучева^{1*}, В.В. Шишкина², Д.В. Немова³

¹⁻³ Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, 195251, Россия, г. Санкт-Петербург, Политехническая ул., 29

Информация о статье

УДК 699.86

История

Подана в редакцию 1 марта 2016

Ключевые слова

энергоэффективность;
ограждающие конструкции;
навесной вентилируемый фасад;
многослойный фасад;
теплотехнический расчет;

АННОТАЦИЯ

Статья посвящена актуальной сегодня проблеме выбора энергоэффективного фасада, в частности, расчету теплового и влажностного режима ограждающих конструкций. Целью данной статьи является определение наиболее энергоэффективной ограждающей конструкции общественных зданий. Для этого было выбрано два вида конструкций: обычный многослойный фасад и навесной вентилируемый фасад с одинаковой толщиной теплоизоляционного слоя. На основе теплотехнического и влажностного расчетов были получены значения их сопротивлений теплопередаче и определены зоны конденсации. В результате анализа расчетов была выявлена наиболее энергоэффективная конструкция – навесной вентилируемый фасад.

Содержание

1.	Введение	20
2.	Основная часть	20
3.	Навесной вентилируемый фасад	21
4.	Многослойный фасад	23
5.	Экономический анализ	25
6.	Выводы	25

Контактный автор:

1*. +7(921)9787942, kirudcheva@mail.ru (Кириучева Анастасия Евгеньевна, студент)

2. +7(981)8826083, Lampuxh@mail.ru (Шишкина Виктория Викторовна, студент)

3. +7(921)8900267, darya.nemova@gmail.com (Немова Дарья Викторовна, к.т.н., старший преподаватель)

1. Введение

С 1970-х гг. в строительной сфере проявляется понятие "энергоэффективности", начинает внедряться политика и программы по повышению энергоэффективности. 15 июня 2011 года был опубликован международный стандарт ISO 50001, цель которого - улучшение энергосистемы, в том числе энергоэффективность. В России энергоэффективность является одной из важнейших стратегических направлений развития.

Энергоэффективное здание - это здание, которое предназначено для обеспечения значительного снижения энергетических потребностей, для отопления и охлаждения, включая при этом хороший микроклимат. Энергоэффективность здания достигается за счет архитектуры здания, его тщательной изоляции, высокой производительности контролируемой вентиляции.

Одним из наиболее простых и рациональных путей экономии энергии в строительной сфере признано сокращение потерь тепла через ограждающие конструкции зданий и сооружений. Одним из вариантов повышения энергоэффективности ограждающих конструкций является применение эффективных утеплителей.

Основные факторы, влияющие на эффективность:

- уровень инженерной проработки решения - идеи, расчеты, качество проектной документации;
- соответствие доступного уровня технологии выполнения работ принятому конструктивному решению, иначе говоря, технологические возможности реализации проекта;
- соответствие свойств выбранных строительных материалов условиям возведения и эксплуатации конструкции.

Выбор материала и конструктивной схемы несущей конструкции здания является ответственной инженерной задачей, так как от ее решения в значительной степени зависят все остальные конструктивные элементы здания.

В связи с увеличением популярности темы энергоэффективности все больше публикуются научные статьи, в которых разрабатывается множество методик по снижению и контролю энергопотребления. В статье [1] разбираются важные проблемы при работе с навесными вентилируемыми фасадами, а также описываются теплозащитные свойства НВФ. В статье [2] приведена методика расчета приведенного сопротивления теплопередачи ограждающих конструкций, даны определения основных характеристик теплозащиты ограждающих конструкций. Наиболее важные пособия по выбранной теме указаны в публикациях [3-15].

Целью данной статьи является определение наиболее энергоэффективной ограждающей конструкции для общественных зданий. Для этого необходимо решить следующие задачи:

1. Выбрать объект исследования - наиболее оптимальные и чаще применяемые конструкции для общественных зданий — это многослойные фасады и в частности - навесной вентилируемый фасад;
2. Провести теплотехнический расчет рассматриваемых конструкций при одинаковой толщине теплоизоляционного слоя;
3. Сравнить результаты, определить оптимальную конструкцию.

2. Основная часть

Согласно СП 23-101-2004 «Проектирование тепловой защиты зданий», энергоэффективность здания можно охарактеризовать как тепловую защиту, которая равна удельному расходу тепловой энергии на отопление и вентиляцию в течение всего отопительного периода. Также одним из важных показателей является положение плоскости возможной конденсации, т.е. точки росы. Эти показатели зависят от множества факторов, таких как: толщина и материалы всех слоев, температура и влажность в помещении, температура и влажность снаружи. Одним из способов минимизации этих показателей является утепление здания, которое достигается путем повышения теплозащиты наружных ограждающих конструкций; модернизация автоматического регулирования подачи тепла на отопление и уменьшение расхода тепла на нагрев необходимого для вентиляции наружного воздуха при обеспечении комфортного теплового и воздушного режима в помещениях. Мы рассмотрим метод утепления наружных стен.

В качестве рассчитываемой стены принята наружная стена общественного здания с температурой внутреннего воздуха помещения, равной 20°C и влажностью 55% в г. Санкт-Петербург. Нормируемое значение сопротивление теплопередаче ограждающей конструкции в данном случае равно $2,639 \frac{\text{м}^2\text{°C}}{\text{Вт}}$.

Для сравнения фасадных систем взят одинаковый утеплитель (минеральная вата) одинаковой толщины, и оценена эффективность его применения в разных конструкциях.

Минеральная вата обладает рядом преимуществ:

- Негорючий материал;
- Низкая теплопроводность;
- Обладает высокими акустическими свойствами;
- Стойка к поражению насекомыми.

Самыми известными и распространенными способами утепления наружных стен являются: вентилируемые фасады - это вентилируемые конструкции утепления стен; невентилируемые конструкции утепления наружных стен, в конструкцию которых входят минераловатные и полистирольные утеплители, крепящиеся на сами стены или на каркас, а также различные варианты сочетаний этих конструкций с использованием местных утеплителей.

Сравнение фасадных систем проводится на основе программы «Теплотехнический калькулятор», позволяющей автоматизировать расчет теплового и влажностного режимов ограждающих конструкций. Расчет в этой программе проводится в соответствии с нормативной базой Российской Федерации:

- СНиП 23-02-2003 "Тепловая защита зданий"
- СП 23-101-2004 "Проектирование тепловой защиты зданий"
- СП 50.13330.2012 Тепловая защита зданий. Актуализированная редакция СНиП 23-02-2003
- ГОСТ Р 54851—2011 "Конструкции строительные ограждающие неоднородные. Расчет приведенного сопротивления теплопередаче"
- СТО 00044807-001-2006 "Теплозащитные свойства ограждающих конструкций зданий"

3. Навесной вентилируемый фасад

Навесной вентилируемый фасад - это система, которая состоит из подконструкции, утеплителя, воздушного зазора и защитного экрана, который крепится на наружную стену здания [4]. Особым распространением пользуются вентилируемые фасады для строительства офисных зданий. Данная система помогает сохранить теплоту в помещении, препятствует появлению сырости и существенно сокращает объем строительного материала, необходимого для строительства стен зданий, что ведет к экономии, облегчению всего сооружения и возможности увеличения этажности здания.

Конструкцию навесного вентилируемого фасада примем следующую:

Таблица 1. Конструкция навесного фасада

№	Наименование	Плотность, кг/м ³	Теплопроводность материала, Вт/м ^{°C}	Толщина слоя, мм
1	Гипсовая штукатурка	800	0,35	10
2	Пустотелый силикатный кирпич на ЦПР	1600	0,9	250
3	Цементно-шлаковый раствор	1400	0,64	10
4	Минеральная (каменная) вата	170-220	0,045	?

№	Наименование, плотность	λ, Вт/м ^{°C}	t, мм
1	Гипсовая штукатурка	0.35	10
2	Пустотелый силикатный кирпич на ЦПР	0.9	250
3	Цементно-шлаковый раствор	0.64	10
4	Минеральная (каменная вата)	0.045	0

Добавить пустой слой

Слой ↑

Слой ↓

Удалить слой

Расчёт

Σ t = 365 мм.

Толщина искомого слоя, δ = 95 мм;

Рис. 1. Расчет толщины утеплителя в программе «Теремок»

При помощи программы «Теремок» определим толщину утеплителя для данного вида фасада (см. рис. 1), она равна 95 мм. В качестве сравнения двух видов фасадов примем толщину утеплителя 100мм. Принятые слои конструкции навесного вентилируемого фасада представлены на рис. 2.

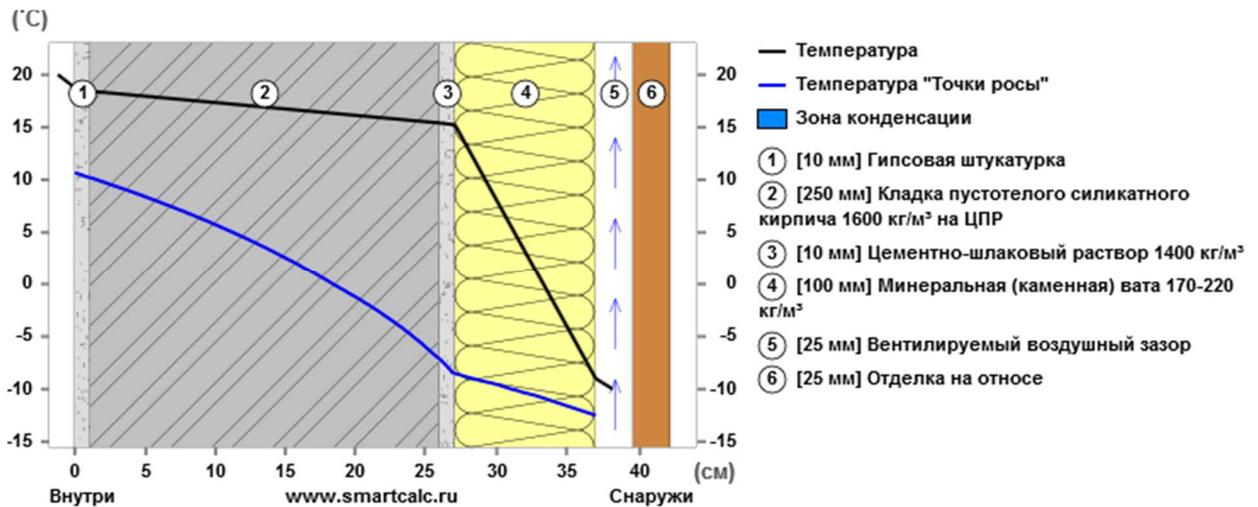


Рис. 2. Слои конструкции навесного вентфасада и расчет зоны конденсации

По графику влагонакопления, представленного на рис. 3, видно, что плоскость максимального увлажнения отсутствует. Следовательно, в навесном вентилируемом фасаде отсутствует зона конденсации и он защищен от переувлажнения.

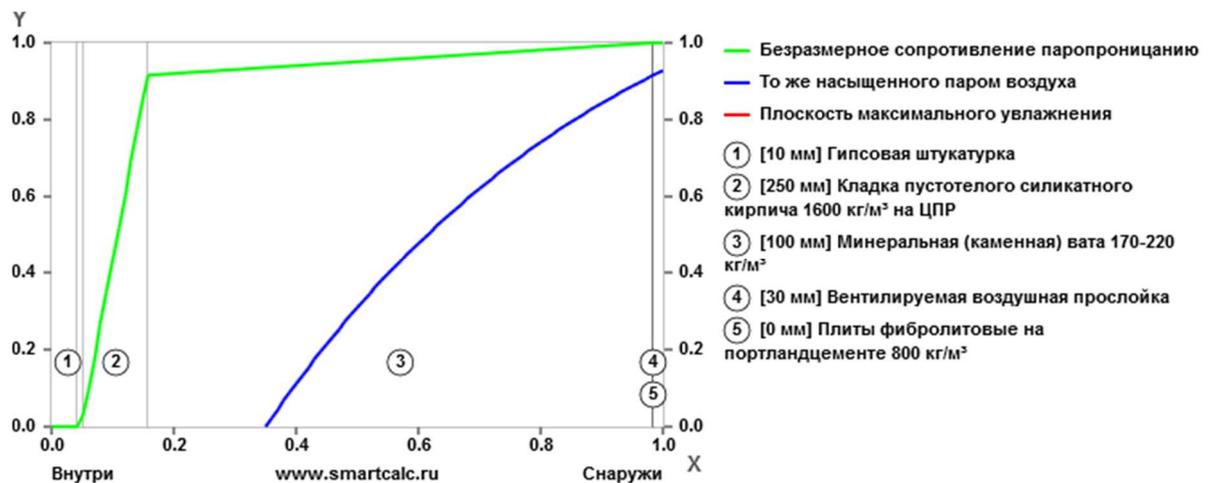


Рис. 3. График влагонакопления

Сопротивление теплопередаче ограждающей конструкции $2,75 \frac{\text{M}^2\text{°C}}{\text{Bт}}$ выше требуемого значения $2,639 \frac{\text{M}^2\text{°C}}{\text{Bт}}$. Следовательно, теплозащита обеспечена.

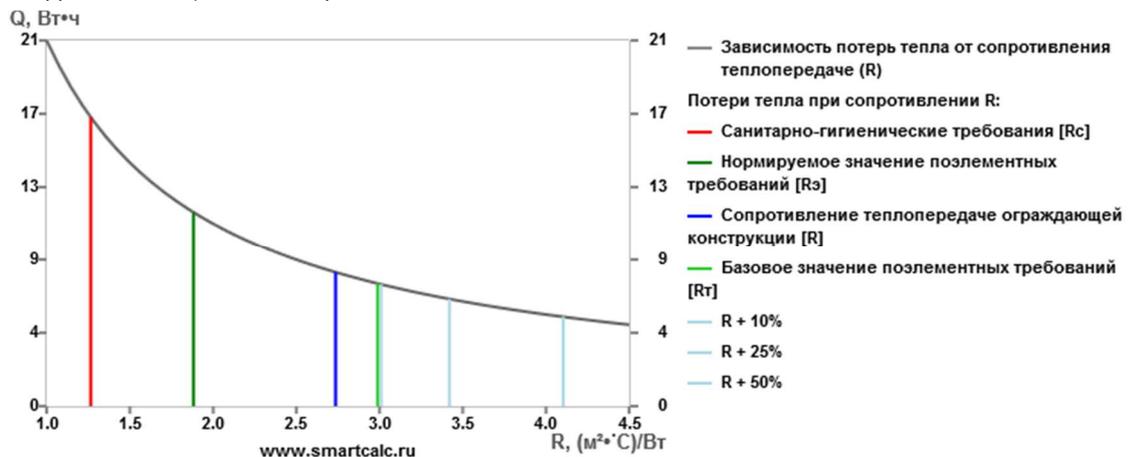


Рис. 4. График теплотерь

На рис. 4 изображен график теплопотерь, по которому можно оценить полученное сопротивление теплопередаче ограждающей конструкции, сравнив с тремя нормируемыми значениями:

- требуемое сопротивление теплопередаче согласно санитарно-гигиеническим требованиям;
- нормируемое значение требуемого сопротивления теплопередаче согласно поэтажным требованиям;
- поэтажные требования требуемого сопротивления теплопередаче.

Как видно из графика, полученное сопротивление теплопередаче навесного вентилируемого фасада ($2,75 \frac{m^2 \cdot ^\circ C}{W}$), больше нормируемых значений.

Потери тепла за отопительный сезон: 39.80 кВт•ч

4. Многослойный фасад

Данный фасад можно описать, как «слоеный пирог», в котором между несущей конструкцией внешней стены и облицовочным материалом находится утеплитель. В качестве облицовочного материала выступает кирпич, обладающий высокими теплоизоляционными свойствами и долговечностью. Это наиболее распространенный вид фасада, нашедший применение в строительстве малоэтажных зданий. Применение в многоэтажных зданиях нежелательно, т.к. возможны механические деформации кирпичной кладки.

Конструкцию многослойного фасада примем следующую:

Таблица 2. Конструкция многослойного фасада

№	Наименование	Плотность, кг/м ³	Теплопроводность материала, Вт/м ² С	Толщина слоя, мм
1	Гипсовая штукатурка	800	0,35	10
2	Пустотелый силикатный кирпич на ЦПР	1600	0,9	250
3	Цементно-шлаковый раствор	1400	0,64	10
4	Минеральная (каменная) вата	170-220	0,045	?
5	Кирпич трепельный полнотелый на ЦПР	900	0,47	200

При помощи программы «Теремок» определим толщину утеплителя для данного вида фасада, она равна 78 мм, как показано на рис. 5. Но для сравнения двух видов фасадов условная толщина утеплителя была принята 100мм.

Тип расчёта и состав ограждающей конструкции (изнутри наружу)

- Расчёт требуемой толщины искомого слоя (слой с незаданной толщиной);
 Проверка по нормируемому значению сопротивления теплопередаче.

№	Наименование, плотность	λ, Вт/м·°C	t, мм
1	Гипсовая штукатурка	0.35	10
2	Кладка пустотелого силикатного кирпича 1600 кг/м ³ на ЦПР	0.9	250
3	Цементно-шлаковый раствор 1400 кг/м ³	0.64	10
4	Минеральная каменная вата 170-220 кг/м ³	0.045	0
5	Кладка на ЦПР кирпича трепельного полнотелого, 900 кг/м ³	0.47	200

Добавить пустой слой Слой ↑ Слой ↓ Удалить слой Расчёт

Σt = 548 мм.

Толщина искомого слоя, δ = 78 мм;

Рис. 5. Расчет толщины утеплителя в программе «Теремок»

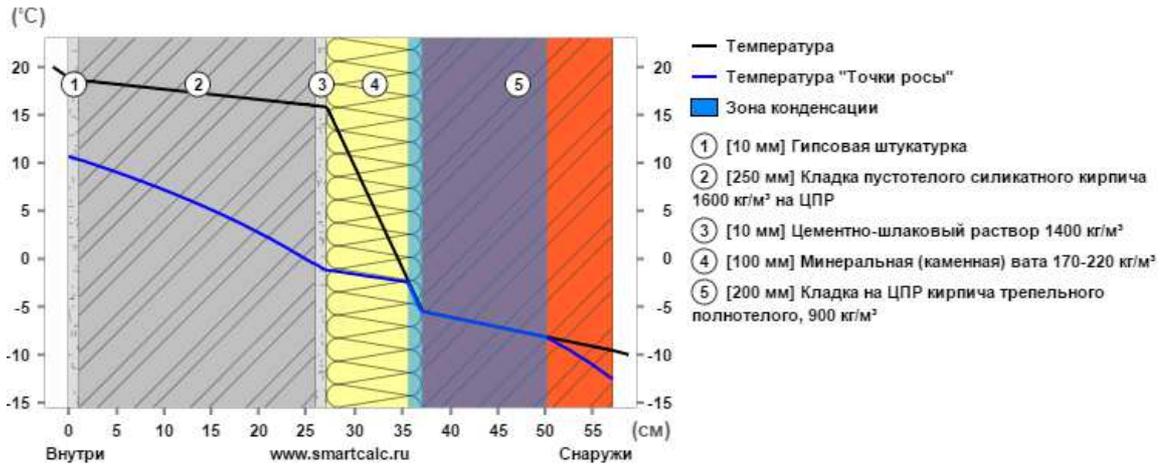


Рис. 6. Слои конструкции многослойного фасада и расчет зоны конденсации

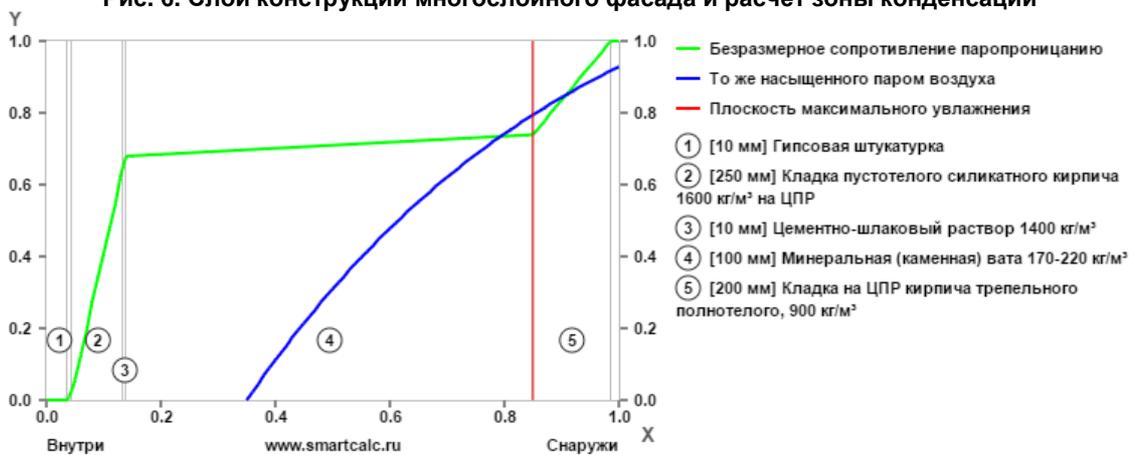


Рис. 7. График влагонакопления

Метод определения зоны конденсации, представленной на рис. 6, основан на использовании метода безразмерных характеристик. На графике влагонакопления (рис. 7) представлены безразмерные характеристики: сопротивление паропрооницанию воздуха и сопротивление паропрооницанию насыщенного паром воздуха. С помощью этих безразмерных характеристик находится плоскость максимального увлажнения конструкции.

Полученное в результате теплотехнического расчета, сопротивление теплопередаче ограждающей конструкции, равное $3,13 \frac{m^2 \cdot C}{Вт}$, выше требуемого значения ($2,639 \frac{m^2 \cdot C}{Вт}$). Следовательно, теплозащита обеспечена.

Однако, как показал влажностный расчет, в слое утеплителя и облицовки (лицевого кирпича), образовалась зона конденсации. Это негативно влияет на теплозащитные свойства ограждающей конструкции и может способствовать деструкции облицовочного слоя.

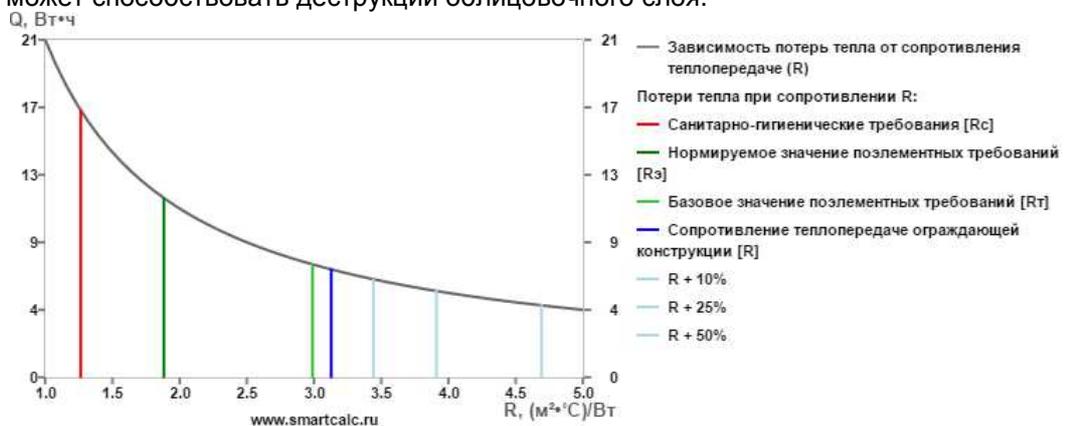


Рис. 8. График теплотерь

Из рис. 8 видно, что полученное значение сопротивления теплопередаче многослойного фасада, равное $3,13 \frac{m^2 \cdot C}{Вт}$, больше нормируемых значений.

Потери тепла за отопительный сезон: 34.81 кВт•ч.

5. Экономический анализ

Для анализа рассмотрим 1м² стены с конструкцией многослойного фасада и навесного вентилируемого фасада.

Для строительства стены в г. Санкт-Петербург для многослойного фасада понадобятся следующие материалы.

Таблица 3. Стоимость материалов для многослойного фасада

№	Материал	Цена за 1 шт., руб.	Количество	Итоговая цена, руб.
1	Гипсовая штукатурка	-	-	312
2	Пустотелый силикатный кирпич на ЦПР	10,90	400	4360
3	Цементно-шлаковый раствор	1400	1 м ³	140
4	Минеральная (каменная) вата	-	-	164,9
5	Кирпич трепельный полнотелый на ЦПР	9,50	400	3800
			Итого:	$\Sigma = 8776,9$

Средняя стоимость материалов для вентилируемого фасада следующая:

Таблица 4. Стоимость материалов для вентилируемого фасада

№	Материал	Цена за 1 шт., руб.	Кол-во	Итоговая цена, руб.
1	Гипсовая штукатурка	-	-	312
2	Пустотелый силикатный кирпич на ЦПР	10,90	400	4360
3	Цементно-шлаковый раствор	1400	1 м ³	140
4	Минеральная (каменная) вата	-	-	164,9
			Итого:	$\Sigma = 4976,9$

Очевидно, что стоимость материалов для многослойного фасада выше, однако стоит учитывать, что примерная стоимость монтажа многослойного фасада составляет 5200 руб./м², а для навесного вентилируемого фасада 6700 руб./м². Такая разница связана с тем, что для монтажа навесного вентилируемого фасада требуется квалифицированные и опытные работники, сложность конструкции повышает итоговую стоимость в несколько раз.

6. Выводы

1. Определены наиболее часто применяемые конструкции для общественного здания.
2. Проведен теплотехнический расчет рассматриваемых конструкций при одинаковой толщине теплоизоляционного слоя.
3. Произведено сравнение полученных результатов, определена оптимальная конструкция.
4. Произведен экономический анализ.
5. Обе рассматриваемые конструкции удовлетворяют требованиям к тепловой защите, однако, многослойный тип конструкции не удовлетворяет требованиям защиты от переувлажнения. Суммарная стоимость материалов и монтажа для многослойного фасада меньше, чем для навесного вентилируемого фасада, но эта разница невелика, поэтому рекомендуется использование конструкции с навесным вентилируемым фасадом.

Литература

- [1]. Немова Д. В. Навесные вентилируемые фасады: обзор основных проблем // Инженерно-строительный журнал. 2010. № 5. С. 7-11.
- [2]. Гагарин В. Г. Теплофизические свойства современных стеновых ограждающих конструкций многоэтажных зданий // Сборник трудов II Всероссийской научно-технической конференции «Строительная теплофизика и Энергоэффективно проектирование ограждающих конструкций зданий» 10-11.12.2009. СПб.: Изд-во СПбГПУ, 2009. С. 33-45.
- [3]. СНиП 23-02-2003 «Тепловая защита зданий».
- [4]. Немова Д. В., Ватин Н.И., Рымкевич П.П., Горшков С.С. Влияние уровня тепловой защиты ограждающих конструкций на величину потерь тепловой энергии в здании // Инженерно-строительный журнал. 2012. № 8. С. 4-14.
- [5]. Немова Д. В. Энергоэффективные технологии в ограждающих конструкциях // Интернет-журнал «Строительство уникальных зданий и сооружений». 2012. № 3. С. 77-82.
- [6]. Arquis Eric, Cicasu Cristian. Convention phenomenon in mineral wool installed on vertical walls: Сб. Докладов Международной научно-практической конференции «Эффективные тепло- и звукоизоляционные материалы в современном строительстве и ЖКХ». М., 2006.
- [7]. Шойхет Б.М. Структура и проницаемость волокнистых теплоизоляционных материалов // Энергосбережение. 2008 №7.
- [8]. Шойхет Б.М., Ставрицкая Л.В., Овчаренко Е.Г. О технических требованиях к волокнистым теплоизоляционным материалам для строительства // Энергосбережение. 2002. №1.
- [9]. Шойхет Б.М. К вопросу о теплотехнической эффективности навесных вентилируемых фасадов // Развитие теории и технологии в области теплоизоляционных и отделочных материалов: Сб. докладов. М., 2006.
- [10]. Sedlbauer K., Kunzel H. M. Luftkonvektions einflusse auf den Warmedurchgang von beluften Fassaden mit Mineralwollendammung // WKSB. 1999. Jg. 44. H.43.
- [11]. Ohne Verfasser: Die neue Commerzbank-Zentrale Frankfurt. Geschäftsbericht (1996).
- [12]. Gertis, K. et dl.: Sind neuere Fassadenentwicklungen bauphysikalisch sinnvoll? Teil 1: Transparente Warmedammung. Bauphysik 21 (1999), H. 1, S. 1-9.
- [13]. Lang, W.: Zur Typologie mehrschaliger Gebaudehullen aus Glas. Unveroffentlichtes Manuskript.
- [14]. Ohne Verfasser: Haus der Wirtschaftsforderung in Duisburg. Baumeister (1991), H. 1, S. 18-19.
- [15]. Kaiser, N.: Hauskleid. DB 125 (1991), H. 2, S. 87-92.
- [16]. Bachmann, W: Ein Engländer in Duisburg. Baumeister (1993), H. 1, S. 26-29.
- [17]. Ohne Verfasser: Haus der Wirtschaftsforderung in Duisburg. Detail (1993), H. 3, S. 292-297.
- [18]. Nur Najihah Abu Bakar, Hayati Abdullah, Hasimah Abdul Rahman, Md Pauzi Abdullah, Faridah Hussin, Masalah Bandi Energy efficiency index as an indicator for measuring building energy performance: A review // Renewable and Sustainable Energy Reviews. 2015. No. 44, pp. 1-11;
- [19]. Schlomann Barbara, Schleich Joachim Adoption of low-cost energy efficiency measures in the tertiary sector— An empirical analysis based on energy survey data // Renewable and Sustainable Energy Reviews. 2015. No. 43, pp. 1127-1133;
- [20]. Lv Chen, Zhang Junzhi, Yutong Li, Ye Yuan Mechanism analysis and evaluation methodology of regenerative braking contribution to energy efficiency improvement of electrified vehicles // Energy Conversion and Management. 2015. No. 92, pp. 469-482;
- [21]. Sian Christina, Waterson Patrick, Dainty Andrew, Daniels Kevin A socio-technical approach to improving retail energy efficiency behaviours // Applied Ergonomics. 2015. No. 47, pp.324-335;
- [22]. Donglan Zha, Ning Ding Threshold characteristic of energy efficiency on substitution between energy and non-energy factors // Economic Modelling. 2015. No. 46, pp. 180-187;
- [23]. Suhail Zaki Farooqui Impact of load variation on the energy and exergy efficiencies of a single vacuum tube based solar cooker // Renewable Energy. 2015. No 77, pp. 152-158;
- [24]. Xianming Ye., Xiaohua Xia, Lijun Zhang, Bing Zhu Optimal maintenance planning for sustainable energy efficiency lighting retrofit projects by a control system approach // Control Engineering Practice. 2015. No 37, pp. 1-10;
- [25]. Karmellos M., Kiprakis A., Mavrotas G. A multi-objective approach for optimal prioritization of energy efficiency measures in buildings: Model, software and case studies // Applied Energy. 2015. No 139, pp.131-150;

- [26]. Oró Eduard, Depoorter Victor, Garcia Albert, Salom Jaume Energy efficiency and renewable energy integration in data centres. Strategies and modelling review // Renewable and Sustainable Energy Reviews. 2015. No 42, pp.429-445;
- [27]. Кирюдчева А. Е., Шишкина В.В. Энергоэффективные фасадные системы // Строительство уникальных зданий и сооружений. 2015. № 4 (31).С. 249-252.
- [28]. Гагарин В.Г., Козлов В.В. Теоретические предпосылки расчета приведенного сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций // Строительные материалы. 2010. № 12. С. 4-12.
- [29]. Гагарин В.Г., Козлов В.В. О комплексном показателе тепловой защиты оболочки здания // Журнал АВОК. 2010. № 4. С.52-60.
- [30]. Гагарин В. Г. Методы экономического анализа повышения уровня теплозащиты ограждающих конструкций зданий // АВОК. – 2009. – №№1–3.
- [31]. А.С. Горшков Об окупаемости инвестиций на утепление фасадов существующих зданий // Энергосбережение. -2014.- № 4.
- [32]. Гагарин В. Г., Плющенко Н. Ю. Определение термического сопротивления вентилируемой прослойки НФС // Строительство: наука и образование. — 2015. — № 1. — С. 1–1.
- [33]. Гагарин В. Г., Пастушков П. П. Количественная оценка энергоэффективности энергосберегающих мероприятий // Строительные материалы. — 2013. — № 3. — С. 7–9.

Energy efficiency of building envelopes for public buildings

A.E. Kiryudcheva^{1*}, V.V. Shishkina², D.V. Nemova³

¹⁻³ Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University, 29 Politechnicheskaya St., St. Petersburg, 195251, Russia

ARTICLE INFO

scientific article

doi:

Article history

Received 1 March 2016

Keywords

energy efficiency;
building envelop;
hinged ventilated facade;
thermotechnical calculation;
energy saving;

ABSTRACT

One of the simplest and best ways to save energy in the construction industry is the reduction of heat loss through the building envelope of buildings and structures. The theme of energy efficiency is becoming more and more popular, many scientific articles are published, however the purpose of this article is to identify the most energy-efficient building envelope in public building. To do this, two types of designs were chosen: the usual multi-layered facade and hinged ventilated facade with the same thickness of insulation layer. This article consists of three main parts: first of all, the best and most used envelope constructions for public buildings have been chosen; Then the Thermal calculation of structures have been made; finally the facades were compared from economical point of view, which have shown that the the total cost of materials and installation for the facade of a multi-layer is less than for ventilated facades, but the difference is small, so in the result it is recommended to use the ventilated facade.

Corresponding author:

- 1*. +7(921)9787942, kirudcheva@mail.ru (Anastasia Evgenievna Kiryudcheva, Student)
2. +7(981)8826083, Lampyxx@mail.ru (Victoria Victorovna Shishkina, Student)
3. +7(921)8900267, darya.nemova@gmail.com (Darya Victorovna Nemova, Ph.D., Senior Lecturer)

References

- [1]. Nemova D. V. Navesnyye ventiliruyemyye fasady: obzor osnovnykh problem // Inzhenerno-stroitelnyy zhurnal. 2010. № 5. S. 7-11.
- [2]. Gagarin V. G. Teplofizicheskiye svoystva sovremennykh stenovykh ograzhdayushchikh konstruktсий mnogoetazhnykh zdaniy // Sbornik trudov II Vserossiyskoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii «Stroitel'naya teplofizika i Energoeffektivno proyektirovaniye ograzhdayushchikh konstruktсий zdaniy» 10.11.12.2009. SPb.: Izd-vo SPbGPU, 2009. S. 33-45.
- [3]. SNiP 23-02-2003 «Teplovaya zashchita zdaniy».
- [4]. Nemova D. V., Vatin N.I., Rymkevich P.P., Gorshkov S.S. Vliyaniye urovnya teplovoy zashchity ograzhdayushchikh konstruktсий na velichinu poter teplovoy energii v zdanii// Inzhenerno-stroitelnyy zhurnal. 2012. № 8. S. 4-14.
- [5]. Nemova D. V. Energoeffektivnyye tekhnologii v ograzhdayushchikh konstruktсийakh // Internet-zhurnal «Stroitelstvo unikalnykh zdaniy i sooruzheniy». 2012. № 3. S. 77-82.
- [6]. Arquis Eric, Cicasu Cristian. Convention phenomenon in mineral wool installed on vertical walls: Sb. Dokladov Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii «Effektivnyye teplo- i zvukoizolyatsionnyye materialy v sovremennom stroitelstve i ZhKKh». M., 2006.
- [7]. Shoykhet B.M. Struktura i pronitsayemost voloknistykh teploizolyatsionnykh materialov//Energoberezhniye. 2008 №7.
- [8]. Shoykhet B.M., Stavritskaya L.V., Ovcharenko Ye.G. O tekhnicheskikh trebovaniyakh k voloknistym teploizolyatsionnym materialam dlya stroitelstva//Energoberezhniye. 2002. №1.
- [9]. Shoykhet B.M. K voprosu o teplotekhnicheskoy effektivnosti navesnykh ventiliruyemykh fasadov//Razvitiye teorii i tekhnologii v oblasti teploizolyatsionnykh i otdelochnykh materialov: Sb. dokladov. M., 2006.
- [10]. Sedlbauer K., Kunzel H. M. Luftkonvektions einflusse auf den Warmedurchgang von beluftenen Fassaden mit Mineralwollendammung // WKSB. 1999. Jg. 44. H.43.
- [11]. Ohne Verfasser: Die neue Commerzbank-Zentrale Frankfurt. Geschäftsbericht (1996).
- [12]. Gertis, K. et dl.: Sind neuere Fassadenentwicklungen bauphysikalisch sinnvoll? Teil 1: Transparente Warmedammung. Bauphysik 21 (1999), H. 1, S. 1-9.
- [13]. Lang, W.: Zur Typologie mehrschaliger Gebaudehullen aus Glas. Unveroffentlichtes Manuskript.
- [14]. Ohne Verfasser: Haus der Wirtschaftsforderung in Duisburg. Baumeister (1991), H. 1, S. 18-19.
- [15]. Kaiser, N.: Hauskleid. DB 125 (1991), H. 2, S. 87-92.
- [16]. Bachmann, W: Ein Engländer in Duisburg. Baumeister (1993), H. 1, S. 26-29.
- [17]. Ohne Verfasser: Haus der Wirtschaftsforderung in Duisburg. Detail (1993), H. 3, S. 292-297.
- [18]. Nur Najihah Abu Bakar, Hayati Abdullah, Hasimah Abdul Rahman, Md Pauzi Abdullah, Faridah Hussin, Masalah Bandi Energy efficiency index as an indicator for measuring building energy performance: A review // Renewable and Sustainable Energy Reviews. 2015. No. 44, pp. 1-11;
- [19]. Schlomann Barbara, Schleich Joachim Adoption of low-cost energy efficiency measures in the tertiary sector— An empirical analysis based on energy survey data // Renewable and Sustainable Energy Reviews. 2015. No. 43, pp. 1127-1133;
- [20]. Lv Chen, Zhang Junzhi, Yutong Li, Ye Yuan Mechanism analysis and evaluation methodology of regenerative braking contribution to energy efficiency improvement of electrified vehicles // Energy Conversion and Management. 2015. No. 92, pp. 469-482;
- [21]. Sian Christina, Waterson Patrick, Dainty Andrew, Daniels Kevin A socio-technical approach to improving retail energy efficiency behaviours // Applied Ergonomics. 2015. No. 47, pp.324-335;
- [22]. Donglan Zha, Ning Ding Threshold characteristic of energy efficiency on substitution between energy and non-energy factors // Economic Modelling. 2015. No. 46, pp. 180-187;
- [23]. Suhail Zaki Farooqui Impact of load variation on the energy and exergy efficiencies of a single vacuum tube based solar cooker // Renewable Energy. 2015. No 77, pp. 152-158;
- [24]. Xianming Ye., Xiaohua Xia, Lijun Zhang, Bing Zhu Optimal maintenance planning for sustainable energy efficiency lighting retrofit projects by a control system approach // Control Engineering Practice. 2015. No 37, pp. 1-10;
- [25]. Karmellos M., Kiprakis A., Mavrotas G. A multi-objective approach for optimal prioritization of energy efficiency measures in buildings: Model, software and case studies // Applied Energy. 2015. No 139, pp.131-150;

- [26]. Oró Eduard, Depoorter Victor, Garcia Albert, Salom Jaume Energy efficiency and renewable energy integration in data centres. Strategies and modelling review // Renewable and Sustainable Energy Reviews. 2015. No 42, pp.429-445;
- [27]. Kiryudcheva A. Ye., Shishkina V.V. Energoeffektivnyye fasadnyye sistemy // Stroitelstvo unikalnykh zdaniy i sooruzheniy. 2015. № 4 (31). S. 249-252.
- [28]. Gagarin V.G., Kozlov V.V. Teoreticheskiye predposylki rascheta privedennogo soprotivleniya teploperedache ogradhdayushchikh konstruktsiy // Stroitelnyye materialy. 2010. № 12. S. 4-12.
- [29]. Gagarin V.G., Kozlov V.V. O kompleksnom pokazatele teplovoy zashchity obolochki zdaniya // Zhurnal AVOK. 2010. № 4. S.52-60.
- [30]. Gagarin V. G. Metody ekonomicheskogo analiza povysheniya urovnya teplozashchity ogradhdayushchikh konstruktsiy zdaniy // AVOK. – 2009. – №№1–3.
- [31]. A.S. Gorshkov Ob okupayemosti investitsiy na utepleniye fasadov sushchestvuyushchikh zdaniy // Energoberezheniye. -2014.- № 4.
- [32]. Gagarin V. G., Plyushchenko N. Yu. Opredeleniye termicheskogo soprotivleniya ventiliruyemoy prosloyki NFS // Stroitelstvo: nauka i obrazovaniye. — 2015. — № 1. — S. 1–1.
- [33]. Gagarin V. G., Pastushkov P. P. Kolichestvennaya otsenka energoeffektivnosti energoberegayushchikh meropriyatiy // Stroitelnyye materialy. — 2013. — № 3. — S. 7–9.

Кирюдчева А.Е., Шишкина В.В., Немова Д.В. Энергоэффективность ограждающих конструкций общественных зданий // Строительство уникальных зданий и сооружений. 2016. №5 (44). С. 19-30

Kiryudcheva A.E., Shishkina V.V., Nemova D.V., Energy efficiency of building envelopes for public buildings. Construction of Unique Buildings and Structures, 2016, 5 (44), Pp. 19-30. (rus)