



Construction of Unique Buildings and Structures



journal homepage: www.unistroy.spb.ru



Энергоэффективные фасадные системы

А.Е. Кириодчева¹, В.В. Шишкина²

ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого», 195251, Россия,
Санкт-Петербург, ул. Политехническая, 29.

Информация о статье

УДК 692

Аналитический обзор

История

Подана в редакцию 2 июня 2014
Принята 26 марта 2015

Ключевые слова

энергоэффективность,
сравнительный анализ,
фасадные системы,
ограждающие конструкции,
классификация фасадов

АННОТАЦИЯ

На сегодняшний день количество фасадных систем каждого типа исчисляется десятками, если не сотнями разновидностей. От правильного выбора конструкции фасада зависит не только внешний вид здания, но и его конечная стоимость. Целью данной статьи является сравнение фасадных систем. Главными задачами является рассмотрение фасадных систем, выявление их преимуществ. Объектом исследования данной статьи являются энергоэффективные фасадные системы. Это самонесущие, теплоизолированные, экономичные конструкции, с помощью которых можно сконструировать и реализовать совершенно разные по концепции и назначению конструкции различной сложности. В статье рассмотрены несколько видов фасадных систем: традиционный фасад, штукатурный утепленный фасад и вентилируемый фасад, а также выявлены достоинства каждого из фасадов и проведено их сравнение. По результатам сравнения было установлено, что фасадная система выбирается на основе финансовых вложений и технических требований строящегося объекта.

Содержание

1. Введение	249
2. Обзор литературы	249
3. Виды энергоэффективных фасадных систем	249
4. Заключение	252

1

Контактный автор:

+7 (921) 978 7942, kirudcheva@mail.ru (Кириодчева Анастасия Евгеньевна, студент)

2

+7 (981) 882 6083, Lampyx@mail.ru (Шишкина Виктория Викторовна, студент)

1. Введение

В результате роста цен на тепловую энергию и коммунальные услуги возникла потребность в повышении теплозащиты зданий для снижения затрат на отопление в процессе эксплуатации.

Одним из путей повышения энергоэффективности ограждающих конструкций жилых, общественных и производственных зданий является применение эффективных утеплителей в конструкциях наружных стен, покрытиях, перекрытиях и перегородках [16]. Существующие варианты утепления зданий отличаются как конструктивными решениями, так и используемыми в конструкциях материалами [17].

Рациональным и эффективным способом повышения теплозащиты эксплуатируемых зданий является дополнительное наружное утепление ограждающих конструкций [4, 5]. При проектировании новых и реконструкции существующих зданий предусматривают теплоизоляцию из эффективных материалов, размещая ее с наружной стороны ограждающей конструкции [34, 49].

2. Обзор литературы

Классификация современных фасадных систем представлена в книге А. Менейлюк «Современные фасадные системы» [1]. В этой книге подробно описываются конструктивно-технологические решения таких систем, что позволяет изучить особенности каждой из них. Анализ основных факторов, влияющих на тепловую надежность стен зданий, приводится в [2-11]. Вопросы, связанные с энергоэффективностью ограждающих конструкций описаны в [9, 16-24]. В [27-28] описаны методы повышения уровня теплозащиты ограждающих конструкций зданий.

3. Виды энергоэффективных фасадных систем

Выделим для анализа несколько видов энергоэффективных фасадов:

1. Традиционный фасад,
2. Штукатурный утепленный фасад,
3. Вентилируемый фасад (колодцевая кладка и навесной вентфасад).

Следовательно, сравнение фасадов будем производить по следующим факторам:

1. Влияние сезонных колебаний температур наружного воздуха,
2. Коэффициенты линейного расширения материалов,
3. Влияние атмосферных осадков,
4. Устойчивость к ветровому воздействию,
5. Миграция водяных паров,
6. Капиллярный подъем влаги из почвы,
7. Воздействие солнечной радиации,
8. Химическое воздействие агрессивных веществ,
9. Расчетный срок эксплуатации фасадной конструкции,
10. Ремонтопригодность фасада дома,
11. Доступность запасных фасадных элементов для ремонта вышедших из строя.

Приводим более подробную характеристику всех типов фасадных систем по конструктивному устройству с выведением их достоинств и особенностей монтажа.

1. Традиционный фасад

К наиболее часто встречающимся вариантам традиционных фасадов условно можно отнести композиции стен, в которых несущую и теплоизоляционную функции выполняет сама стена, а фасадный слой из лицевого (клинкерного) кирпича придает архитектурную выразительность зданию и защищает от неблагоприятных внешних воздействий.

Подобное конструктивное решение возможно потому, что комплекс свойств современных стеновых блоков позволяет возводить стены жилых домов, не нуждающиеся в дополнительных утепляющих мероприятиях [3,56].

Достоинства традиционных фасадов из лицевого керамического (клинкерного) кирпича:

- 1.1. Отсутствие специальных конструктивных элементов и многовековая традиционность подобных фасадов не требует наличия специальных умений и навыков у каменщиков [15,69];
- 1.2. Кирпичный слой защищает стену от всех факторов внешнего воздействия [11,79,81];
- 1.3. Влага, имеющаяся в толще стен и внутри здания, имеет возможность миграции за пределы дома [36,90];
- 1.4. Выбор клинкерного кирпича и последующая гидрофобизация поверхности кирпичной кладки делают такой фасад устойчивым к разрушительному воздействию попеременного замерзания и оттаивания [24, 29];
- 1.5. Близкие по значению коэффициенты температурного расширения всех материалов стены исключают возникновение температурных напряжений при смене времён года [15];
- 1.6. С эстетической точки зрения кирпичный фасад является стандартом в малоэтажном домостроении и оставляет широкое поле для архитектурного творчества;
- 1.7. Высокая экологичность кирпичных фасадов.
- 1.8. Кирпичный фасад является самым пожаростойким типом ограждающих конструкций;
- 1.9. Длительный срок безремонтной эксплуатации, который может превышать столетие;
- 1.10. Средняя ремонтпригодность [12, 39,89];
- 1.11. Абсолютная стойкость к солнечной радиации [10,74];
- 1.12. Абсолютная стойкость к ветровым нагрузкам [8];
- 1.13. Обожжённая керамика абсолютно инертна в химическом смысле [30].

2. Штукатурный утепленный фасад

Производители крупногабаритных керамических стеновых блоков заявляют о том, что при правильном подборе толщины блоков дополнительное утепление стене не требуется, а защита стены от неблагоприятных воздействий внешней среды может быть обеспечена обычными штукатурными составами, предназначенными для создания гладкой поверхности под защитно-декоративную окраску [28, 14]. В частности, можно применять либо лёгкие штукатурки с водоотталкивающим кроющим (закрывающим) слоем, либо обычные штукатурки, армированные сеткой [28].

Достоинства простой штукатурки однослойной стены

- 2.1. Сравнительно низкая стоимость материалов и штукатурно-окрасочных работ [27, 33];
- 2.2. Отсутствие специальных конструктивных элементов и многовековая традиционность подобных фасадов не требует наличия специальных умений и навыков у штукатуров и маляров [26];
- 2.3. Незначительная толщина штукатурного слоя (8-20 мм), хорошо сцепленного со стеной, практически не вносит дополнительных требований к усилению цокольной и фундаментной части здания [19, 20, 22];
- 2.4. Влага, имеющаяся в толще стен и внутри здания, имеет возможность миграции за пределы дома [19,50-54];
- 2.5. Близкие по значению коэффициенты температурного расширения всех материалов стены исключают возникновение температурных напряжений при смене времён года [21];
- 2.6. Большой выбор фактурных штукатурных составов и широкий спектр лакокрасочных материалов позволяют достичь многообразия архитектурных решений;
- 2.7. Низкое содержание полимерных материалов уменьшает возможность образования нежелательных продуктов распада в процессе эксплуатации. Основные компоненты штукатурных составов являются экологически чистыми, биоинертными веществами [15];

- 2.8. Подобный фасад почти не уступает кирпичному фасаду в показателях пожаростойкости. Исключения могут составить случаи окраски штукатурного слоя горючими лакокрасочными материалами [33, 84];
- 2.9. Хорошая ремонтпригодность;
- 2.10. Высокая стойкость к солнечной радиации (особенно неокрашенных систем);
- 2.11. Абсолютная стойкость к ветровым нагрузкам.

3. Вентилируемые фасады

Вентилируемый фасад — это конструкция, состоящая из материалов облицовки (плит или листовых материалов) и под облицовочной системы, которая крепится к стене так, чтобы между облицовкой и стеной образовалась вентилируемая воздушная прослойка. Система вентилируемого фасада состоит из несущего каркаса, утеплителя и облицовочных панелей [23]. Используя такой тип конструкции, удаётся решить проблему миграции пара путём создания вентилируемой воздушной прослойки между утеплителем и наружной облицовкой стены. Разность температур в помещении и на улице приводит к образованию теплового потока, который направлен от нагретой среды к холодной [38]. Холодный уличный воздух, соприкасаясь с более теплой поверхностью утеплителя, нагревается и поднимается вверх. При этом конденсация пара и, следовательно, увлажнения материалов стены не происходит [37]. Выделяют две основные разновидности вентилируемых фасадов:

- 3.1. Колодцевая кладка,
- 3.2. Навесной вентилируемый фасад.

Достоинства и недостатки фасадной системы с колодцевой кладкой в большинстве случаев совпадают с описанным выше примером традиционной стены с лицевым кирпичным слоем. Остановимся подробнее на специфических моментах:

- 3.1.1. Такой фасад позволяет значительно сократить толщину несущей стены, что приводит не только к прямой экономии стеновых материалов, но позволяет смягчить требования, предъявляемые к несущей способности фундамента [3];
- 3.1.2. При правильном устройстве такого фасада исключаются опасности конденсации влаги внутри элементов стены [3, 28];
- 3.1.3. В случае катастрофического разрушения теплоизоляционного слоя функциональность фасада может быть довольно легко восстановлена посредством заливки образовавшейся полости полимеризующимися на воздухе пенными составами или засыпкой лёгкими засыпками — керамзитом или крошкой пеностекла [26, 39];
- 3.1.4. Для фасадной кирпичной кладки не обязательно использовать «тёплые» кладочные растворы [18];
- 3.1.5. В качестве материала для лицевого слоя фасада можно использовать экономичные керамические и клинкерные кирпичи «американского формата» [3].

Достоинства навесных вентилируемых фасадов:

- 3.2.1. Высокая технологичность: подготовка несущей стены практически не требуется, все элементы конструкции имеют высокую степень заводской готовности
- 3.2.2. Высокая скорость монтажа;
- 3.2.3. Отсутствие «мокрых» процессов;
- 3.2.4. Монтаж системы вентилируемых фасадов прост, но требует квалификации и подготовки рабочих;
- 3.2.5. Не требуется устройство лесов, монтаж можно вести с люлек;
- 3.2.6. Фасадные облицовочные элементы при необходимости можно подгонять «в размер» непосредственно на стройплощадке [33];
- 3.2.7. Возможность проведения монтажных работ в любое время года;
- 3.2.8. Имеет конструктивные особенности, позволяющие увеличить срок службы элементов здания, расчётный срок эксплуатации может достигать 50-100 лет;

3.2.9. Низкие затраты при эксплуатации;

3.2.10. Широкий выбор облицовочных материалов позволяет осуществить практически любое дизайнерское решение.

4. Заключение

В результате проведенного анализа можно сделать следующие выводы:

1. В традиционном и штукатурном утепленном типе фасадных систем основную теплоизоляционную функцию выполняет сама стена, тогда как в вентилируемом фасаде главную роль имеет утеплитель и вентилируемый зазор.
2. В традиционном и штукатурном утепленном типе фасадных систем монтаж простой, напротив монтаж вентилируемого фасада требует более детального подхода, так как в случае неправильного монтажа такой конструкции теплоизоляционные качества фасада могут быть потеряны.
3. Незначительная толщина штукатурного слоя в штукатурной фасадной системе практически не вносит дополнительных требований к усилению цокольной и фундаментной части здания. С другой стороны, в традиционном типе фасадных систем в качестве облицовки используют клинкерный кирпич, но при этом выбор клинкерного кирпича и последующая гидрофобизация поверхности кирпичной кладки делают такой фасад устойчивым к разрушительному воздействию попеременного замерзания и оттаивания.
4. Несущая стена у вентилируемого фасада самая тонкая по сравнению с другими рассмотренными системами, следовательно, стоимость затрат на материалы самая низкая, но при этом стоимость монтажных работ самая высокая.

Тип системы выбирается из условий финансирования объекта и технических требований к возводимому зданию.

Литература

- [1]. Меньлюк А.И. Современные фасадные системы. К.: Изд-во Освита, 2008. 340 с.
- [2]. Адамович Е. Облицовка вентилируемого фасада: множество вариантов // Будмайстер. 2002 . №3 (23/24). С. 32-33.
- [3]. Навесные фасадные системы с утеплением и воздушным зазором / Цыкановский Е., Гагарин В., Грановский А., Павлова М. // Технологии строительства. 2002 №6. С. 28-33.
- [4]. Дрижук Д., Фленкин М. Проблемы выбора фасадной системы // Технологии строительства. 2002 . №6. С. 34-37.
- [5]. Забельская М. Фасадные системы: проблемы и их решение // Будмайстер. 2003 .№ 8. С. 26-29.
- [6]. Жадановский Б. В., Кужин М. Ф. Организационно-технологические решения устройства навесных фасадных систем при реконструкции жилых и общественных зданий // Промышленное и гражданское строительство (ПГС) : Ежемесячный научно-технический и производственный журнал / Российское общество инженеров строительства; Российская инженерная академия. 2012 .№ 1 .С. 62-64 .
- [7]. Стенин В. А. Параметры чувствительности ограждающих конструкций зданий при оценке их энергоэффективности // Промышленное и гражданское строительство (ПГС) : Ежемесячный научно-технический и производственный журнал / Российское общество инженеров строительства; Российская инженерная академия. 2004 . №4 . С. 28-29 .
- [8]. Гликин С. М. Разработка и совершенствование эффективных ограждающих конструкций // Промышленное и гражданское строительство (ПГС) : Ежемесячный научно-технический и производственный журнал / Российское общество инженеров строительства; Российская инженерная академия. 2004 . №6 . С. 20-21
- [9]. Король Е. А. Эффективные ограждающие конструкции с высоким уровнем теплозащиты // Промышленное и гражданское строительство (ПГС) : Ежемесячный научно-технический и производственный журнал / Российское общество инженеров строительства; Российская инженерная академия. 2001 . №9 . С. 24-25 .
- [10]. Бирюкова Т. П. Ограждающие конструкции стен с использованием современных фасадных систем // Промышленное и гражданское строительство (ПГС) : Ежемесячный научно-технический и производственный журнал / Российское общество инженеров строительства; Российская инженерная академия. 2005 . №1. С. 50-51.
- [11]. Богуславский Л. Д. Техничко - экономические расчеты при проектировании наружных ограждающих конструкций зданий: учебное пособия для вузов. М.: Изд-во Высшая школа, 1969.С. 168.
- [12]. Фокин К.Ф. Строительная теплотехника ограждающих частей здания.М. : Стройиздат, 1973 .С. 285.
- [13]. Васмут Г. В. Фасады с вентилируемым зазором - энергоэффективные ограждающие конструкции // XL Неделя науки СПбГПУ : материалы международной научно-практической конференции, 5-10 декабря 2011 года / Санкт-Петербургский научный центр РАН; Санкт-Петербургский академический университет - научно-образовательный центр нанотехнологий РАН; Санкт-Петербургский государственный политехнический университет [и др.] .— СПб., 2011 .— Ч. 1 : Инженерно-строительный факультет / С. 185-186
- [14]. Малышева А. В. Оптимизация конструктивных решений стеновых ограждающих конструкций // XL Неделя науки СПбГПУ : материалы международной научно-практической конференции, 5-10 декабря 2011 года / Санкт-Петербургский научный центр РАН; Санкт-Петербургский академический университет - научно-образовательный центр нанотехнологий РАН; Санкт-Петербургский государственный политехнический университет [и др.] .— СПб., 2011 .— Ч. 1 : Инженерно-строительный факультет / С. 186-188
- [15]. Русина Е. В. Влияние конструктивных решений ограждающих конструкций жилых многоквартирных зданий на параметры их энергоэффективности и экологичности // XL Неделя науки СПбГПУ : материалы международной научно-практической конференции, 5-10 декабря 2011 года / Санкт-Петербургский научный центр РАН; Санкт-Петербургский академический университет - научно-образовательный центр нанотехнологий РАН; Санкт-Петербургский государственный политехнический университет [и др.] .— СПб., 2011 .— Ч. 1 : Инженерн
- [16]. Мельникова А.Б. Техничко-экономические обоснования по выбору ограждающих конструкций гражданских многоэтажных зданий в Санкт-Петербурге [Электронный ресурс] / А.Б. Мельникова, Ю.П. Черняев — Электрон. текстовые дан. (1 файл : 88,2 Кб) // XXXIV неделя науки СПбГПУ : материалы Всероссийской межвузовской научно-технической конференции студентов и аспирантов : 28 ноября - 3 декабря 2005 г. / Санкт-Петербургский государственный политехнический университет, Совет по научно-исследовательской работе студ

- [17]. Нечаева Н. Ю. Повышение экономической эффективности фасадных систем с воздушным зазором [Электронный ресурс] : статья / Н. Ю. Нечаева. — Электрон. текстовые дан. (1 файл : 536 Кб). — СПб., 2008. — Adobe Acrobat Reader 6.0. — <URL: http://dl.unilib.neva.ru/dl/local/1666_4.pdf>.
- [18]. Горшков, А. С. Энергоэффективность в строительстве: вопросы нормирования и меры по снижению энергопотребления зданий [Электронный ресурс] / А.С. Горшков. — Электрон. текстовые дан. // Инженерно-строительный журнал : научно-техническое издание о строительной отрасли / под ред. В. М. Якубсон; науч. ред. Н. И. Ватин. — СПб., 2010. — №1(11) [Электронный ресурс]. — (Анализ). — ISSN 2071-0305. — Загл. с титул. экрана. — Электрон. версия печ. публикации. — Свободный доступ из сети Интернет (чтение, печ.
- [19]. Якубсон В. М. Вопросы эффективности ограждающих конструкций [Электронный ресурс] / В.М. Якубсон. — Электрон. текстовые дан. // Инженерно-строительный журнал : научно-техническое издание о строительной отрасли / под ред. В. М. Якубсон; науч. ред. Н. И. Ватин. — СПб., 2010. — №2(12) [Электронный ресурс]. — (События). — ISSN 2071-0305. — Загл. с титул. экрана. — Электрон. версия печ. публикации. — Свободный доступ из сети Интернет (чтение, печать, копирование). — Текстовый файл. — Adobe Acrobat Rea
- [20]. Ливчак В.И., Табунщиков Ю.А. Руководство АВОК–8–2007. Руководство по расчету теплопотребления эксплуатируемых жилых зданий.
- [21]. Гагарин В. Г. Методы экономического анализа повышения уровня теплозащиты ограждающих конструкций зданий // АВОК. 2009. №№1–3. С. 50-53.
- [22]. Руководство по оценке экономической эффективности инвестиций в энергосберегающие мероприятия / Дмитриев А. Н., Ковалев И. Н., Табунщиков Ю. А., Шилкин Н. В. // М. : Изд-во АВОК-ПРЕСС, 2005. 100 с.
- [23]. О нормативных требованиях к тепловой защите зданий / Бондаренко В., Ляхович Л., Хлевчук В., Матросов Ю. // БСТ. 2001. № 11.
- [24]. Энергосбережение в зданиях / Матросов Ю., Ливчак В., Щипанов Ю. // Новые МГСН 2.01-99 // Энергосбережение. 1999. № 2. С. 3–13.
- [25]. Матросов Ю., Бутовский И. Стратегия нормирования теплозащиты зданий с эффективным использованием энергии // Жилищное строительство. 1999. № 1–3.
- [26]. Дмитриев А. Новое энергоэффективное строительство Москвы // Энергосбережение. 2001. № 6.
- [27]. Теплозащита фасадов с вентилируемым воздушным зазором / Гагарин В. Г., Козлов В. В., Цыкановский Е. Ю. // АВОК. 2004. № 2. С. 20–26, 2004. № 3. С. 20–26.
- [28]. Рекомендации по проектированию навесных фасадных систем с вентилируемым воздушным зазором для нового строительства и реконструкции зданий. М.: Правительство Москвы, Москомархитектура, 2001.
- [29]. Анализ технического уровня эжекционных кондиционеров и сопоставление основных направлений в СССР и за рубежом / Кокорин О. Я., Кронфельд Я. Г., Малахов М. А. // – М. : ЦНИИТ – Эстроймаш, 1970.
- [30]. Езерский В. А., Монастырев П. В. Крепежный каркас вентилируемого фасада и температурное поле наружной стены // Жилищное строительство. 2003. № 10.
- [31]. Рекомендации по проектированию навесных фасадных систем с вентилируемым воздушным зазором для нового строительства и реконструкции зданий. М.: Москомархитектура, 2002.
- [32]. СНиП II-3-79*. Строительная теплотехника. М.: ГУП ЦПП, 1998.
- [33]. Влияние воздухоизоляционного состава на теплотехнические характеристики ограждающих конструкций / М.А. Платонова, Ватин Н.И., Немова Д.В., Матошкина С. А., Иотти Д., Того И. // Строительство уникальных зданий и сооружений. 2014. № 4(19). С.83-95
- [34]. Энергоэффективность ограждающих конструкций при капитальном ремонте / Ватин Н. И., Горшков А. С., Немова Д. В. // Строительство уникальных зданий и сооружений. 2013. №3(8).
- [35]. Немова Д.В. Навесные вентилируемые фасады: обзор основных проблем // Инженерно-строительный журнал. 2010. № 5. С. 7-11
- [36]. Горшков А.С. Энергоэффективность в строительстве: вопросы нормирования и меры по снижению энергопотребления зданий // Инженерно-строительный журнал. 2010. № 1. С. 9-13
- [37]. Немова Д.В. Энергоэффективные технологии в ограждающих конструкция // Строительство уникальных зданий и сооружений. 2012. №3. С.77-82
- [38]. Ватин Н.И., Немова Д.В. НВФ: основные проблемы и их решения // Мир строительства и недвижимости. 2010. №36. С. 2-4.

- [39]. Горшков А. С. Энергоэффективность в строительстве: вопросы нормирования и меры по снижению энергопотребления зданий // Инженерно-строительный журнал. 2010. №1. С. 9-13.
- [40]. Батинич Р. Вентилируемые фасады зданий: Проблемы строительной теплофизики, систем обеспечения микроклимата и энергосбережения в зданиях / Сб. докл. IV науч.-практ. конф. М.: НИИСФ, 1999.
- [41]. Богословский В. Н. Тепловой режим здания. М., 1979.
- [42]. Sedlbauer K., Kunzel H. M. Luftkonvektions einflusse auf den Warmedurchgang von beluften Fassaden mit Mineralwollendammung // WKS. 1999. Jg. 44. H.43.
- [43]. Руководство АВОК–8–2007. Руководство по расчету теплотребления эксплуатируемых жилых зданий.
- [44]. Бондаренко В., Ляхович Л., Хлевчук В., Матросов Ю. и др. О нормативных требованиях к тепловой защите зданий // БСТ. 2001. № 11.
- [45]. Матросов Ю., Бутовский И. и Гольдштейн Д. Новая концепция нормирования теплозащиты зданий. Энергетическая эффективность / Бюллетень ЦЭНЭФ. М., 1994. Октябрь-декабрь.
- [46]. Осипов Г., Матросов Ю. и Бутовский И. Территориальные нормы по теплозащите зданий // БСТ. 1999. № 8.
- [47]. Матросов Ю., Ливчак В., Щипанов Ю. Энергосбережение в зданиях. Новые МГСН 2.01-99 // Энергосбережение. 1999. № 2. С. 3–13.
- [48]. Достоинства и недостатки ветрозащитных пленок в вентилируемых фасадах // «СтройПРОФИль» №1, 2008.
- [49]. СНиП 23-02-2003. Тепловая защита зданий. М.: Госстрой России, 2004.
- [50]. СП 50.13330.2012 Тепловая защита зданий. Актуализированная редакция СНиП 23-02-2003. М.: Госстрой России, 2012.
- [51]. Шойхет Б.М. Структура и проницаемость волокнистых теплоизоляционных материалов // Энергосбережение. 2008 №7.
- [52]. Шойхет Б.М., Ставрицкая Л.В., Овчаренко Е.Г. О технических требованиях к волокнистым теплоизоляционным материалам для строительства // Энергосбережение. 2002. №1.
- [53]. Ахмяров Т. А., Спиридонов А. В., Шубин И. Л. Принципы проектирования и оценки наружных ограждающих конструкций с использованием современных технологий «активного» энергосбережения и рекуперации теплового потока // Жилищное строительство. 2014. № 6.
- [54]. Ахмяров Т. А., Спиридонов А. В., Шубин И. Л. Создание наружных ограждающих конструкций с повышенным уровнем теплозащиты // Энергосбережение. 2014. № 6.
- [55]. Ахмяров Т. А., Беляев В. С., Спиридонов А. В., Шубин И. Л. Система активного энергосбережения с рекуперацией тепла // Энергосбережение. 2013. № 4.
- [56]. Беляев В. С., Лобанов В. А., Ахмяров Т. А. Децентрализованная приточно-вытяжная система вентиляции с рекуперацией тепла // Жилищное строительство. 2011. № 3.
- [57]. Ohne Verfasser: Die neue Commerzbank-Zentrale Frankfurt. Geschäftsbericht (1996).
- [58]. Gertis, K. et dl.: Sind neuere Fassadenentwicklungen bauphysikalisch sinnvoll? Teil 1: Transparente Warmedämmung. Bauphysik 21 (1999), H. 1, S. 1-9.
- [59]. Lang, W.: Zur Typologie mehrschaliger Gebäudefassaden aus Glas. Unveröffentlichtes Manuskript.
- [60]. Ohne Verfasser: Haus der Wirtschaftsförderung in Duisburg. Baumeister (1991), H. 1, S. 18-19.
- [61]. Kaiser, N.: Hauskleid. DB 125 (1991), H. 2, S. 87-92.
- [62]. Bachmann, W: Ein Engländer in Duisburg. Baumeister (1993), H. 1, S. 26-29.
- [63]. Ohne Verfasser: Haus der Wirtschaftsförderung in Duisburg. Detail (1993), H. 3, S. 292-297.
- [64]. 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;
- [65]. Barbara Schломann, Joachim Schleich 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;
- [66]. Chen Lv, Junzhi Zhang., 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;

- [67]. Sian Christina, Patrick Waterson, Andrew Dainty, Kevin Daniels A socio-technical approach to improving retail energy efficiency behaviours // *Applied Ergonomics*. 2015. No. 47, pp.324-335;
- [68]. 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;
- [69]. 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;
- [70]. 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;
- [71]. M. Karmellos, A. Kiprakis, G. Mavrotas 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;
- [72]. Eduard Oró, Victor Depoorter, Albert Garcia, Jaume Salom Energy efficiency and renewable energy integration in data centres. Strategies and modelling review // *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2015. No 42, pp.429-445;
- [73]. Paula Rocha, Afzal Siddiqui, Michael Stadler Improving energy efficiency via smart building energy management systems: A comparison with policy measures // *Energy and Buildings*. 2015. No 88, pp. 203-213;
- [74]. Wei Yu, Baizhan Li, Hongyuan Jia, Ming Zhang, Di Wang Application of multi-objective genetic algorithm to optimize energy efficiency and thermal comfort in building design // *Energy and Buildings*. 2015. No 88, pp. 135-143;
- [75]. Anil Kumar Patil Heat transfer mechanism and energy efficiency of artificially roughened solar air heaters—A review // *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2015. No 42, pp. 681-689;
- [76]. Philip J. Davies, Stephen Emmitt, Steven K. Firth Delivering improved initial embodied energy efficiency during construction // *Sustainable Cities and Society*. 2015. No 14, pp. 267-279;
- [77]. Paul J. Kuehn, Maggie Ezzat Mashaly Automatic energy efficiency management of data center resources by load-dependent server activation and sleep modes // *Ad Hoc Networks*. 2015. No 25, pp.497-504;
- [78]. I. Naveros, C. Ghiaus Order selection of thermal models by frequency analysis of measurements for building energy efficiency estimation // *Applied Energy*. 2015. No 139, pp.230-244;
- [79]. Vadim Mizonov, Nicolay Yelin, Aleksey Sakharov Theoretical study of the thermal state of building envelop in the neighborhood of embedded item // *Applied Thermal Engineering*. 2015. No 79, pp. 149-152;
- [80]. Sooyoung Kim, Ji-Hyun Lee, Jin Woo Moon Performance evaluation of artificial neural network-based variable control logic for double skin enveloped buildings during the heating season // *Building and Environment*. 2014. No 82, pp. 328-338;
- [81]. Yan Zhou, Guangcai Gong Exergy analysis of the building heating and cooling system from the power plant to the building envelop with hourly variable reference state // *Energy and Buildings*. 2013. No 56, pp. 94-99;
- [82]. A.F. Elsafty, C. Joumaa, M.M.Abo Elazm, A.M. Elharidi Case Study Analysis for Building Envelop and its Effect on Environment // *Energy Procedia*. 2013. No 36, pp. 958-966;
- [83]. Satu Paiho, Isabel Pinto Seppä, Christel Jimenez An energetic analysis of a multifunctional façade system for energy efficient retrofitting of residential buildings in cold climates of Finland and Russia // *Sustainable Cities and Society*. 2015. No 15, pp.75-85;
- [84]. Yuehong Lu, Shengwei Wang, Yang Zhao, Chengchu Yan Renewable energy system optimization of low/zero energy buildings using single-objective and multi-objective optimization methods // *Energy and Buildings*. 2015. No 89, pp.61-75;
- [85]. Mawada Abdellatif, Ahmed Al-Shamma Review of sustainability in buildings // *Sustainable Cities and Society*. 2015. No 14, pp.171-177;
- [86]. M. Benhammou, B. Draoui, M. Zerrouki, Y. Marif Performance analysis of an earth-to-air heat exchanger assisted by a wind tower for passive cooling of buildings in arid and hot climate // *Energy Conversion and Management*. 2015. No 91, pp.1-11;
- [87]. Hamidul Islam, Margaret Jollands, Sujeeva Setunge Life cycle assessment and life cycle cost implication of residential buildings—A review // *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2015. No 42, pp.129-140;
- [88]. James A. Dirks, Willy J. Gorrissen, John H. Hathaway, Daniel C. Skorski, Michael J. Scott, Trenton C. Pulsipher, Maoyi Huang, Ying Liu, Jennie S. Rice Impacts of climate change on energy consumption and peak demand in buildings: A detailed regional approach // *Energy*. 2015. No 79, pp. 20-32;
- [89]. R. Li, Y.J. Dai, R.Z. Wang Experimental and theoretical analysis on thermal performance of solar thermal curtain wall in building envelope // *Energy and Buildings*. 2015. No 87, pp. 324-334.

Energy-efficient façade systems

A.E. Kiryudcheva¹, V.V. Shishkina²

Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University, 29 Polytechnicheskaya st., St.Petersburg, 195251, Russia.

ARTICLE INFO

Analytical review

Article history

Received 2 June 2014
Accepted 26 March 2015

Keywords

energy efficiency,
comparative analysis,
façade systems,
building envelope,
façades classification

ABSTRACT

Final cost and appearance of the building depends on the correct choice of façade structure. During the operation facades resist the ravages of various factors. The durability of the house depends on the success of the façade.

Today the number of façade systems exceeds hundreds of varieties. Almost all walling manufacturers try to provide the consumer a ready façade solution. On the other hand, this approach develops technology installation, allows to achieve stability properties and attractive appearance, but on the other hand, the question of difficult choice between systems arises.

¹ *Corresponding author:*
+7 (921) 978 7942, kirudcheva@mail.ru (Anastasia Evgenjevna Kiryudcheva, Student)

² +7 (981) 882 6083, Lampyxx@mail.ru (Viktoriya Viktorovna Shishkina, Student)

References

- [1]. Менейлюк А.И. *Современные фасадные системы*. К.: Изд-во Освита, 2008. 340 с.
- [2]. Адамович Е. *Облицовка вентилируемого фасада: множество вариантов* // Будмайстер. 2002 . №3 (23/24). С. 32-33.
- [3]. *Навесные фасадные системы с утеплением и воздушным зазором* / Цыкановский Е., Гагарин В., Грановский А., Павлова М. // Технологии строительства. 2002 №6. С. 28-33.
- [4]. Дрижук Д., Фленкин М. *Проблемы выбора фасадной системы* // Технологии строительства. 2002 . №6. С. 34-37.
- [5]. Забельская М. *Фасадные системы: проблемы и их решение* // Будмайстер. 2003 . № 8. С. 26-29.
- [6]. Жадановский Б. В., Кужин М. Ф. *Организационно-технологические решения устройства навесных фасадных систем при реконструкции жилых и общественных зданий* // Промышленное и гражданское строительство (ПГС) : Ежемесячный научно-технический и производственный журнал / Российское общество инженеров строительства; Российская инженерная академия. 2012 . № 1 . С. 62-64 .
- [7]. Стенин В. А. *Параметры чувствительности ограждающих конструкций зданий при оценке их энергоэффективности* // Промышленное и гражданское строительство (ПГС) : Ежемесячный научно-технический и производственный журнал / Российское общество инженеров строительства; Российская инженерная академия. 2004 . №4 . С. 28-29 .
- [8]. Гликин С. М. *Разработка и совершенствование эффективных ограждающих конструкций* // Промышленное и гражданское строительство (ПГС) : Ежемесячный научно-технический и производственный журнал / Российское общество инженеров строительства; Российская инженерная академия. 2004 . №6 . С. 20-21
- [9]. Король Е. А. *Эффективные ограждающие конструкции с высоким уровнем теплозащиты* // Промышленное и гражданское строительство (ПГС) : Ежемесячный научно-технический и производственный журнал / Российское общество инженеров строительства; Российская инженерная академия. 2001 . №9 . С. 24-25 .
- [10]. Бирюкова Т. П. *Ограждающие конструкции стен с использованием современных фасадных систем* // Промышленное и гражданское строительство (ПГС) : Ежемесячный научно-технический и производственный журнал / Российское общество инженеров строительства; Российская инженерная академия. 2005 . №1. С. 50-51.
- [11]. Богуславский Л. Д. *Технико - экономические расчеты при проектировании наружных ограждающих конструкций зданий: учебное пособие для вузов*. М.: Изд-во Высшая школа, 1969. С. 168.
- [12]. Фокин К.Ф. *Строительная теплотехника ограждающих частей здания*. М. : Стройиздат, 1973 .С. 285.
- [13]. Васмут Г. В. *Фасады с вентилируемым зазором - энергоэффективные ограждающие конструкции* // XL Неделя науки СПбГПУ : материалы международной научно-практической конференции, 5-10 декабря 2011 года / Санкт-Петербургский научный центр РАН; Санкт-Петербургский академический университет - научно-образовательный центр нанотехнологий РАН; Санкт-Петербургский государственный политехнический университет [и др.] .— СПб., 2011 .— Ч. 1 : Инженерно-строительный факультет / С. 185-186
- [14]. Малышева А. В. *Оптимизация конструктивных решений стеновых ограждающих конструкций* // XL Неделя науки СПбГПУ : материалы международной научно-практической конференции, 5-10 декабря 2011 года / Санкт-Петербургский научный центр РАН; Санкт-Петербургский академический университет - научно-образовательный центр нанотехнологий РАН; Санкт-Петербургский государственный политехнический университет [и др.] .— СПб., 2011 .— Ч. 1 : Инженерно-строительный факультет / С. 186-188
- [15]. Русина Е. В. *Влияние конструктивных решений ограждающих конструкций жилых многоквартирных зданий на параметры их энергоэффективности и экологичности* // XL Неделя науки СПбГПУ : материалы международной научно-практической конференции, 5-10 декабря 2011 года / Санкт-Петербургский научный центр РАН; Санкт-Петербургский академический университет - научно-образовательный центр нанотехнологий РАН; Санкт-Петербургский государственный политехнический университет [и др.] .— СПб., 2011 .— Ч. 1 : Инженерн
- [16]. Мельникова А.Б. *Технико-экономические обоснования по выбору ограждающих конструкций гражданских многоэтажных зданий в Санкт-Петербурге [Электронный ресурс]* / А.Б. Мельникова, Ю.П. Черняев — Электрон. текстовые дан. (1 файл : 88,2 Кб) // XXXIV неделя науки СПбГПУ : материалы Всероссийской межвузовской научно-технической конференции студентов и аспирантов

: 28 ноября - 3 декабря 2005 г. / Санкт-Петербургский государственный политехнический университет, Совет по научно-исследовательской работе студ

- [17]. Нечаева Н. Ю. Повышение экономической эффективности фасадных систем с воздушным зазором [Электронный ресурс] : статья / Н. Ю. Нечаева. — Электрон. текстовые дан. (1 файл : 536 Кб) .— СПб., 2008. — Adobe Acrobat Reader 6.0. — <URL: http://dl.unilib.neva.ru/dl/local/1666_4.pdf>.
- [18]. Горшков, А. С. Энергоэффективность в строительстве: вопросы нормирования и меры по снижению энергопотребления зданий [Электронный ресурс] / А.С. Горшков. — Электрон. текстовые дан. // Инженерно-строительный журнал : научно-техническое издание о строительной отрасли / под ред. В. М. Якубсон; науч. ред. Н. И. Ватин. — СПб., 2010. — №1(11) [Электронный ресурс]. — (Анализ). — ISSN 2071-0305. — Загл. с титул. экрана. — Электрон. версия печ. публикации. — Свободный доступ из сети Интернет (чтение, печ)
- [19]. Якубсон В. М. Вопросы эффективности ограждающих конструкций [Электронный ресурс] / В.М. Якубсон. — Электрон. текстовые дан. // Инженерно-строительный журнал : научно-техническое издание о строительной отрасли / под ред. В. М. Якубсон; науч. ред. Н. И. Ватин. — СПб., 2010. — №2(12) [Электронный ресурс]. — (События). — ISSN 2071-0305. — Загл. с титул. экрана. — Электрон. версия печ. публикации. — Свободный доступ из сети Интернет (чтение, печать, копирование). — Текстовый файл. — Adobe Acrobat Rea
- [20]. Ливчак В.И., Табунчиков Ю.А. Руководство АВОК–8–2007. Руководство по расчету теплопотребления эксплуатируемых жилых зданий.
- [21]. Гагарин В. Г. Методы экономического анализа повышения уровня теплозащиты ограждающих конструкций зданий // АВОК. 2009. №№1–3. С. 50-53.
- [22]. Руководство по оценке экономической эффективности инвестиций в энергосберегающие мероприятия / Дмитриев А. Н., Ковалев И. Н., Табунчиков Ю. А., Шилкин Н. В. // М. : Изд-во АВОК-ПРЕСС, 2005. 100 с.
- [23]. О нормативных требованиях к тепловой защите зданий / Бондаренко В., Ляхович Л., Хлевчук В., Матросов Ю. // БСТ. 2001. № 11.
- [24]. Энергосбережение в зданиях / Матросов Ю., Ливчак В., Щипанов Ю. // Новые МГСН 2.01-99 // Энергосбережение. 1999. № 2. С. 3–13.
- [25]. Матросов Ю., Бутовский И. Стратегия нормирования теплозащиты зданий с эффективным использованием энергии // Жилищное строительство. 1999. № 1–3.
- [26]. Дмитриев А. Новое энергоэффективное строительство Москвы // Энергосбережение. 2001. № 6.
- [27]. Теплозащита фасадов с вентилируемым воздушным зазором / Гагарин В. Г., Козлов В. В., Цыкановский Е. Ю. // АВОК. 2004. № 2. С. 20–26, 2004. № 3. С. 20–26.
- [28]. Рекомендации по проектированию навесных фасадных систем с вентилируемым воздушным зазором для нового строительства и реконструкции зданий. М.: Правительство Москвы, Москомархитектура, 2001.
- [29]. Анализ технического уровня эжекционных кондиционеров и сопоставление основных направлений в СССР и за рубежом / Кокорин О. Я., Кронфельд Я. Г., Малахов М. А. // – М. : ЦНИИТ – Эстроймаш, 1970.
- [30]. Езерский В. А., Монастырев П. В. Крепежный каркас вентилируемого фасада и температурное поле наружной стены // Жилищное строительство. 2003. № 10.
- [31]. Рекомендации по проектированию навесных фасадных систем с вентилируемым воздушным зазором для нового строительства и реконструкции зданий. М.: Москомархитектура, 2002.
- [32]. СНиП II-3-79*. Строительная теплотехника. М.: ГУП ЦПП, 1998.
- [33]. Влияние воздухоизоляционного состава на теплотехнические характеристики ограждающих конструкций / М.А. Платонова, Ватин Н.И., Немова Д.В., Матошкина С. А., Иютти Д., Того И. // Строительство уникальных зданий и сооружений. 2014. № 4(19). С.83-95
- [34]. Энергоэффективность ограждающих конструкций при капитальном ремонте / Ватин Н. И., Горшков А. С., Немова Д. В. // Строительство уникальных зданий и сооружений. 2013. №3(8).
- [35]. Немова Д.В. Навесные вентилируемые фасады: обзор основных проблем // Инженерно-строительный журнал. 2010. № 5. С. 7-11
- [36]. Горшков А.С. Энергоэффективность в строительстве: вопросы нормирования и меры по снижению энергопотребления зданий // Инженерно-строительный журнал. 2010. № 1. С. 9-13
- [37]. Немова Д.В. Энергоэффективные технологии в ограждающих конструкция // Строительство уникальных зданий и сооружений. 2012. №3. С.77-82

- [38]. Ватин Н.И., Немова Д.В. НВФ: основные проблемы и их решения // Мир строительства и недвижимости. 2010. №36. С. 2-4.
- [39]. Горшков А. С. Энергоэффективность в строительстве: вопросы нормирования и меры по снижению энергопотребления зданий // Инженерно-строительный журнал. 2010. №1. С. 9-13.
- [40]. Батинич Р. Вентилируемые фасады зданий: Проблемы строительной теплофизики, систем обеспечения микроклимата и энергосбережения в зданиях / Сб. докл. IV науч.-практ. конф. М.: НИИСФ, 1999.
- [41]. Богословский В. Н. Тепловой режим здания. М., 1979.
- [42]. Sedlbauer K., Kunzel H. M. Luftkonvektions einflüsse auf den Warmedurchgang von belüfteten Fassaden mit Mineralwollendämmung // WKSB. 1999. Jg. 44. H.43.
- [43]. Руководство АВОК-8-2007. Руководство по расчету теплотребления эксплуатируемых жилых зданий.
- [44]. Бондаренко В., Ляхович Л., Хлевчук В., Матросов Ю. и др. О нормативных требованиях к тепловой защите зданий // БСТ. 2001. № 11.
- [45]. Матросов Ю., Бутовский И. и Гольдштейн Д. Новая концепция нормирования теплозащиты зданий. Энергетическая эффективность / Бюллетень ЦЭНЭФ. М., 1994. Октябрь-декабрь.
- [46]. Осипов Г., Матросов Ю. и Бутовский И. Территориальные нормы по теплозащите зданий // БСТ. 1999. № 8.
- [47]. Матросов Ю., Ливчак В., Щипанов Ю. Энергосбережение в зданиях. Новые МГСН 2.01-99 // Энергосбережение. 1999. № 2. С. 3-13.
- [48]. Достоинства и недостатки ветрозащитных пленок в вентилируемых фасадах // «СтройПРОФИль» №1, 2008.
- [49]. СНиП 23-02-2003. Тепловая защита зданий. М.: Госстрой России, 2004.
- [50]. СП 50.13330.2012 Тепловая защита зданий. Актуализированная редакция СНиП 23-02-2003. М.: Госстрой России, 2012.
- [51]. Шойхет Б.М. Структура и проницаемость волокнистых теплоизоляционных материалов // Энергосбережение. 2008 №7.
- [52]. Шойхет Б.М., Ставрицкая Л.В., Овчаренко Е.Г. О технических требованиях к волокнистым теплоизоляционным материалам для строительства // Энергосбережение. 2002. №1.
- [53]. Ахмяров Т. А., Спиридонов А. В., Шубин И. Л. Принципы проектирования и оценки наружных ограждающих конструкций с использованием современных технологий «активного» энергосбережения и рекуперации теплового потока // Жилищное строительство. 2014. № 6.
- [54]. Ахмяров Т. А., Спиридонов А. В., Шубин И. Л. Создание наружных ограждающих конструкций с повышенным уровнем теплозащиты // Энергосбережение. 2014. № 6.
- [55]. Ахмяров Т. А., Беляев В. С., Спиридонов А. В., Шубин И. Л. Система активного энергосбережения с рекуперацией тепла // Энергосбережение. 2013. № 4.
- [56]. Беляев В. С., Лобанов В. А., Ахмяров Т. А. Децентрализованная приточно-вытяжная система вентиляции с рекуперацией тепла // Жилищное строительство. 2011. № 3.
- [57]. Ohne Verfasser: Die neue Commerzbank-Zentrale Frankfurt. Geschäftsbericht (1996).
- [58]. Gertis, K. et dl.: Sind neuere Fassadenentwicklungen bauphysikalisch sinnvoll? Teil 1: Transparente Warmedämmung. Bauphysik 21 (1999), H. 1, S. 1-9.
- [59]. Lang, W.: Zur Typologie mehrschaliger Gebäudefassaden aus Glas. Unveröffentlichtes Manuskript.
- [60]. Ohne Verfasser: Haus der Wirtschaftsförderung in Duisburg. Baumeister (1991), H. 1, S. 18-19.
- [61]. Kaiser, N.: Hauskleid. DB 125 (1991), H. 2, S. 87-92.
- [62]. Bachmann, W: Ein Engländer in Duisburg. Baumeister (1993), H. 1, S. 26-29.
- [63]. Ohne Verfasser: Haus der Wirtschaftsförderung in Duisburg. Detail (1993), H. 3, S. 292-297.
- [64]. 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;

- [65]. Barbara Schломann, Joachim Schleich 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;
- [66]. Chen Lv, Junzhi Zhang, 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;
- [67]. Sian Christina, Patrick Waterson, Andrew Dainty, Kevin Daniels A socio-technical approach to improving retail energy efficiency behaviours // *Applied Ergonomics*. 2015. No. 47, pp.324-335;
- [68]. 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;
- [69]. 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;
- [70]. 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;
- [71]. M. Karmellos, A. Kiprakis, G. Mavrotas 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;
- [72]. Eduard Oró, Victor Depoorter, Albert Garcia, Jaume Salom Energy efficiency and renewable energy integration in data centres. Strategies and modelling review // *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2015. No 42, pp.429-445;
- [73]. Paula Rocha, Afzal Siddiqui, Michael Stadler Improving energy efficiency via smart building energy management systems: A comparison with policy measures // *Energy and Buildings*. 2015. No 88, pp. 203-213;
- [74]. Wei Yu, Baizhan Li, Hongyuan Jia, Ming Zhang, Di Wang Application of multi-objective genetic algorithm to optimize energy efficiency and thermal comfort in building design // *Energy and Buildings*. 2015. No 88, pp. 135-143;
- [75]. Anil Kumar Patil Heat transfer mechanism and energy efficiency of artificially roughened solar air heaters—A review // *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2015. No 42, pp. 681-689;
- [76]. Philip J. Davies, Stephen Emmitt, Steven K. Firth Delivering improved initial embodied energy efficiency during construction // *Sustainable Cities and Society*. 2015. No 14, pp. 267-279;
- [77]. Paul J. Kuehn, Maggie Ezzat Mashaly Automatic energy efficiency management of data center resources by load-dependent server activation and sleep modes // *Ad Hoc Networks*. 2015. No 25, pp.497-504;
- [78]. I. Naveros, C. Ghiaus Order selection of thermal models by frequency analysis of measurements for building energy efficiency estimation // *Applied Energy*. 2015. No 139, pp.230-244;
- [79]. Vadim Mizonov, Nicolay Yelin, Aleksey Sakharov Theoretical study of the thermal state of building envelop in the neighborhood of embedded item // *Applied Thermal Engineering*. 2015. No 79, pp. 149-152;
- [80]. Sooyoung Kim, Ji-Hyun Lee, Jin Woo Moon Performance evaluation of artificial neural network-based variable control logic for double skin enveloped buildings during the heating season // *Building and Environment*. 2014. No 82, pp. 328-338;
- [81]. Yan Zhou, Guangcai Gong Exergy analysis of the building heating and cooling system from the power plant to the building envelop with hourly variable reference state // *Energy and Buildings*. 2013. No 56, pp. 94-99;
- [82]. A.F. Elsafty, C. Joumaa, M.M.Abo Elazm, A.M. Elharidi Case Study Analysis for Building Envelop and its Effect on Environment // *Energy Procedia*. 2013. No 36, pp. 958-966;
- [83]. Satu Paiho, Isabel Pinto Seppä, Christel Jimenez An energetic analysis of a multifunctional façade system for energy efficient retrofitting of residential buildings in cold climates of Finland and Russia // *Sustainable Cities and Society*. 2015. No 15, pp.75-85;
- [84]. Yuehong Lu, Shengwei Wang, Yang Zhao, Chengchu Yan Renewable energy system optimization of low/zero energy buildings using single-objective and multi-objective optimization methods // *Energy and Buildings*. 2015. No 89, pp.61-75;
- [85]. Mawada Abdellatif, Ahmed Al-Shamma Review of sustainability in buildings // *Sustainable Cities and Society*. 2015. No 14, pp.171-177;
- [86]. M. Benhammou, B. Draoui, M. Zerrouki, Y. Marif Performance analysis of an earth-to-air heat exchanger assisted by a wind tower for passive cooling of buildings in arid and hot climate // *Energy Conversion and Management*. 2015. No 91, pp.1-11;

- [87]. Hamidul Islam, Margaret Jollands, Sujeeva Setunge *Life cycle assessment and life cycle cost implication of residential buildings—A review // Renewable and Sustainable Energy Reviews. 2015. No 42, pp.129-140;*
- [88]. James A. Dirks, Willy J. Gorrissen, John H. Hathaway, Daniel C. Skorski, Michael J. Scott, Trenton C. Pulsipher, Maoyi Huang, Ying Liu, Jennie S. Rice *Impacts of climate change on energy consumption and peak demand in buildings: A detailed regional approach // Energy. 2015. No 79, pp. 20-32;*
- [89]. R. Li, Y.J. Dai, R.Z. Wang *Experimental and theoretical analysis on thermal performance of solar thermal curtain wall in building envelope // Energy and Buildings. 2015. No 87, pp. 324-334.*
- Кiryudcheva A.E., Shishkina V.V. Энергоэффективные фасадные системы // Строительство уникальных зданий и сооружений. 2015. №4(31). С. 248-262.*
- Kiryudcheva A.E., Shishkina V.V. Energy-efficient façade systems. Construction of Unique Buildings and Structures, 2015, 4(31), Pp. 248-262. (rus)*