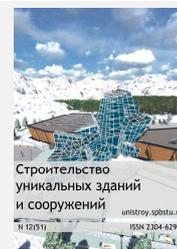


Construction of Unique Buildings and Structures



journal homepage: www.unistroy.spb.ru

Оптимальная толщина утеплителя наружной стены для создания энергоэффективного и экологичного здания в условиях Санкт-Петербурга

Д.О. Советников¹, Д.О. Семашкина², Д.В. Баранова³

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

Информация о статье	История	Ключевые слова
doi 10.18720/CUBS.51.1	Подана в редакцию 21.11.2015	энергоэффективность; зеленое строительство; теплоизоляция; строительные материалы; устойчивое строительство;

АННОТАЦИЯ

На сегодняшний день в строительстве особо актуальна проблема энергоэффективного и экологичного жилья. Одним из важнейших шагов на пути решения данной проблемы является проектирование теплоизоляции здания с использованием максимально рациональных материалов с точки зрения как теплофизических, так и экологических характеристик. Авторами статьи были рассмотрены различные теплоизоляционные материалы, характеризующиеся высокими техническими параметрами и экологичностью. Описаны свойства материалов, а также проведены расчеты согласно принятым в России нормам. На основании проведенных расчетов и принципов "зеленого" строительства было выбрано наиболее рациональное решение утепления ограждающей конструкции здания с использованием экструдированного пенополистирола.

Содержание

1.	Введение	8
2.	Обзор литературы	8
3.	Цель и задачи	9
4.	Основная часть	9
5.	Выводы	15

Контактный автор:

- * +7(911)9019058, sovetnikov.daniil@gmail.com (Советников Даниил Олегович, студент)
- +7(981)1532171, daria.semashkina@gmail.com (Семашкина Дарья Олеговна, студент)
- +7(921)6401200, baranova-d@mail.ru (Баранова Дарья Вадимовна, студент)

1. Введение

XXI век характеризуется бурным развитием промышленности, которое затронуло все отрасли человеческой деятельности. И безусловно, вместе с ростом промышленных мощностей растет и потребление всех видов ресурсов, увеличивается количество отходов, в погоне за быстрой выгодой производители часто используют некачественные и вредные материалы, что в свою очередь отрицательно сказывается на окружающей среде и здоровье человека.

Не исключением является и строительная отрасль, которая потребляет более 40% всех энергетических ресурсов планеты, на неё приходится значительная доля вредных выбросов углекислого газа и твердых отходов. Но в тоже время она является и наиболее перспективной областью для внедрения новых идей и концепций для создания устойчивой среды обитания людей. Достижение действительно эффективных результатов возможно лишь при комплексном соблюдении норм и стандартов, отвечающих за экологичность, энерго- и ресурсоэффективность, а также экономическую эффективность проекта на каждом из этапов производства: от добычи сырья до утилизации объекта.

Одним из самых рациональных методов снижения потребления энергоресурсов и выбросов в атмосферу является уменьшение тепловых потерь здания за счет улучшения его теплоизоляционных характеристик. Особое внимание необходимо уделять ограждающим конструкциям, т.к. именно через них происходит наибольшее количество трансмиссионных потерь.

Необходимо подчеркнуть, что для соответствия концепции устойчивого развития при выборе необходимого варианта стеновой конструкции, кроме непосредственно теплофизических характеристик, следует учитывать и экологичность материалов, которая может быть оценена с помощью так называемых "зеленых" стандартов [1–4].

2. Обзор литературы

В настоящее время в сфере строительства разработаны и применяются на практике всевозможные системы добровольной экологической сертификации зеленых зданий, которые направлены на создание экологически чистой среды обитания человека. Наиболее распространенными и влиятельными международными системами являются британская BREEAM [1], американская LEED [2] и немецкая DGNB [3].

В России существует собственная система сертификаций зданий "Зеленые стандарты" [4]. Главной отличительной особенностью данной системы от зарубежных аналогов является ее соответствие принятой в России нормативно-правовой базе, СНиПам, ГОСТам и другим регламентирующим документам строительной сферы. На основе системы сертификации "Зеленые стандарты" был утвержден Национальный экологический стандарт ГОСТ Р 54694–2012 "Оценка соответствия. Экологические требования к объектам недвижимости" [5].

Также существует отдельная сертификация теплоизоляционных материалов СТО ЛЖ 1.05.5760-11-1.0 «Теплоизоляционные материалы. Требования экологической безопасности. Правила применения», разработанная экологическим союзом [6].

В статье [7] Красиминова С.С., Малышева В.А. и Рожков Д.Н. рассмотрели некоторые современные биопозитивные строительные и отделочные материалы, их свойства и характеристики. Авторами было произведено моделирование дома из строительных материалов, удовлетворяющих требованиям экологичности.

Сычев С.А. в работе [8] перечисляет основные требования в отношении воздействия на окружающую среду, принятые в устойчивом строительстве. Автором предложены наиболее распространенные объемно-планировочные, конструктивные и технологические решения, комплексное выполнение которых позволит создать здание максимально соответствующее экостандартам, учитывая природно-климатические условия местности, функциональное назначение, архитектурные предпочтения и требования нормативных документов.

Асдрубали Ф., Д'Алессандро Ф. и Шиавери С. в исследовании [9] рассмотрели природные и перерабатываемые тепло- и звукоизоляционные материалы. Авторами были произведены сравнительные анализы тепловых характеристик различных материалов, такие как теплопроводность, теплоемкость и плотность. Также были приведены данные об акустических параметрах материалов и оценки их жизненного цикла. Особое внимание было уделено исследованиям, ориентированным на использование

местных материалов и промышленных отходов в качестве сырья, так как подобный подход сокращает затраты на транспортировку и утилизацию.

Статья [10] А. Корженича, В. Петранека, Ж. Зака, Ж. Хрудова описывает результаты исследовательского проекта, целью которого являлось разработка нового изоляционного материала из возобновляемых ресурсов, таких как джут, лен, конопля, с физическими и механическими характеристиками, сопоставимыми с широко распространенными изоляционными материалами. В центре внимания исследователей было воздействие изменения влагосодержания на скорость изменения других свойств материала. Результаты испытаний показали, что материал на основе правильного сочетания природных материалов абсолютно сопоставим с обычными теплоизоляционными материалами.

В статье Ф. Бало [11] были рассмотрены "зеленые" изоляционные материалы на основе глины, золы-уноса, золы из рисовой шелухи и эпоксидированного таллового масла. Были проанализированы плотность и теплопроводные свойства данных материалов, а также их экономические и экологические параметры. Произведен расчет толщины теплоизоляционного слоя для ограждающей стены в г. Элазыг, Турция. Вычислены параметры энергосбережения, сроки окупаемости, и количество вредных выбросов.

В статьях [12-15] рассмотрены наиболее эффективные методики утепления зданий, установлены критерии выбора теплоизоляции для наилучшей теплозащиты ограждающих конструкций в соответствии с региональными нормами.

В исследованиях [16-19] авторами проанализированы принципы устойчивого строительства, а также рациональность использования экологичных материалов в качестве утеплителя «зеленых домов».

Статьи [20-26] посвящены детальному анализу пригодности применения экологических материалов в качестве теплоизоляционных. Рассмотрены теплофизические свойства, произведены оценка качества, эффективности и экологической безопасности различных материалов.

В работах [27-29] были подняты проблемы повышения теплозащиты и энергетической эффективности зданий на основе современных энергосберегающих технологий. Произведены расчетные оценки уровня тепловой защиты исследуемых зданий требованиям СП 50.13330.2012. Проанализирована энергетическая и экономическая эффективность различных технологий. Приведены мероприятия, рекомендуемые для повышения уровня теплозащиты здания и нормализации влажностного режима ограждающих конструкций.

3. Цель и задачи

Основная цель статьи – подобрать наиболее рациональный с точки зрения энергоэффективности и экологичности вариант утепления для ограждающей конструкции.

Задачи, выполняемые при написании статьи:

- Подобрать несколько вариантов утеплителей, соответствующих пунктам экологических стандартов
- Описать основные характеристики выбранных материалов
- Рассчитать необходимую толщину утеплителя, соответствующую требуемому значению сопротивления теплопередаче
- Определить удельные теплопотери на 1 м² ограждающей стены
- Выбрать наиболее рациональный вариант, основываясь на сравнении полученных результатов

4. Основная часть

Для определения экологической безопасности строительных материалов проводятся специальные сертификации, на основе существующих сегодня в мире более чем 400 "зеленых" маркировок и стандартов. Наивысшей является маркировка I типа, при которой продукция проходит официальную сертификацию независимой стороной, и происходит анализ ее влияния на природную среду и человека по всему жизненному циклу, при этом выявляется ее минимальное влияние. Большинство программ экомаркировки I типа входят во Всемирную ассоциацию экомаркировки (Global Ecolabelling Network, GEN).

В России действует пока что единственная программа экологической маркировки I типа "Листок жизни", которая предъявляет к материалам следующие требования [6]:

- Общие требования
 - Соблюдение законодательства (той страны, где расположено производство)

- Потребительские характеристики и постоянство качества продукции
- Требования к исходному сырью и материалам
 - Качество используемого сырья и способы его добычи
- Требования к конечному продукту
 - Нормы эмиссии вредных веществ
 - Содержание опасных химических веществ, вторичного сырья, тяжелых металлов, антипиренов
 - Использование пенообразователей в ячеистых теплоизоляционных материалах
- Требования к производству
 - Система экологического менеджмента
 - Эффективность потребления ресурсов
 - Обращение с отходами на производстве
 - Защита персонала предприятия от возможных вредных воздействий
- Требования к упаковке
 - Содержание галогенов
 - Возможность переработки упаковочных материалов
 - Минимизация упаковки
- Информирование
 - Информация для потребителя
 - Информация для сотрудников
 - Документация по требованиям экомаркировки

Сертифицированная продукция соответствует требованиям международного уровня, безопасна для здоровья человека и оказывает минимальное воздействие на окружающую среду.

Для сравнения основных свойств были отобраны теплоизоляционные материалы, которые по заявлению производителей являются экологически чистыми.

Экструдированный пенополистирол XPS CARBON ECO

Синтетический теплоизоляционный материал, который получают путём смешивания гранул полистирола при высоком давлении и температуре с введением вспенивающего агента и последующего выдавливания из экструдера. Выпускается в виде плит стандартных размеров, которые следует беречь от интенсивного солнечного воздействия во избежание разрушения.

Основными свойствами данного материала являются:

- низкий показатель теплопроводности
- практически полное отсутствие водопоглощения (0,2–0,4% по объёму)
- химическая стойкость
- высокая прочность на сжатие
- высокая степень горючести
- высокая паронепроницаемость

Рассматриваемый в статье XPS CARBON ECO компании “Технониколь” прошел сертификацию и получил экомаркировку I типа “Листок жизни”.

ШелтерЭкоСтрой Стандарт

Теплоизоляционный материал в виде нетканых матов, изготавливаемых из полиэфирного волокна с добавлением полиэфирного бикомпонентного волокна. Образующиеся при производстве мягкие отходы нетоксичны, обезвреживания не требуют, подлежат дальнейшей переработке.

Основные свойства материала:

- не растворим в воде
- биохимически устойчив
- устойчив к действию разбавленных кислот и органических растворителей
- не образует токсичных соединений в воздушной среде и сточных водах
- срок эксплуатации от 50 лет

Юнипор

Материал, получаемый путем вспенивания и последующей полимеризации карбамидоформальдегидной смолы. Производится в виде жидкой массы, которой заполняются утепляемые полости, а также в виде крошки, плит и матов, которые более удобны для транспортировки.

Основные свойства материала:

- не позволяет скапливаться конденсату
- не поддерживает горение
- срок службы 60–80 лет
- бактерициден
- гигроскопичен

ГеоКар

Материал на основе торфяного связующего, в качестве наполнителя могут использоваться древесные опилки, стружка, рубленая солома, льнокостра. Производится в виде блоков, не требующих обжига.

Основные свойства материала:

- массовое распространение сырья для производства
- бактерициден
- долговечность (до 75 лет)
- достаточно высокая теплопроводность
- значительное водопоглощение

Техфом

Основой материала является жидкое натриевое стекло. Изделия получают холодным вспениванием и формованием, при атмосферном давлении. Мелкопористая структура материала обеспечивает низкую теплопроводность изделий, а часть открытых пор легко пропускает пары и значительно снижает уровень шума. Выпускается в форме плит.

Основные свойства материала:

- бактерициден
- нейтрален к кислотам и щелочам, не разрушается от воздействия ультрафиолетовых лучей
- высокая паропроницаемость
- не оказывает раздражающего и кожно-резорбтивного воздействия
- не выделяет газов и паров при возгорании
- достаточно высокая механическая прочность

Экотеплин

Материал, состоящий из короткого льноволокна, в качестве связующего используется крахмал, для повышения огнезащиты и предотвращения возникновения плесени и грибков добавляется бура. Производится в форме плит.

Основные свойства материала:

- антисептические свойства
- высокая огнестойкость
- долговечность (более 60 лет)
- возможность переработки
- высокая паропроницаемость

Эковата

Целлюлозный волоконный утеплитель. Состоит из измельченной и распушенной переработанной макулатуры групп МС7Б, МС8В, книжно-журнальной продукции, газет и газетной бумаги. Также в состав входят антисептики и антипиретики, обеспечивающие защиту от плесени, грызунов, насекомых и

пожаростоекость. Возможны ручная укладка, механизированная сухая укладка с помощью выдувных установок и напыление эковаты на поверхность в смеси с водой и клеем.

Материал отличается следующими свойствами:

- высокая технологичность (возможность укладки даже в самых труднодоступных местах)
- укладка единым слоем без швов и пустот
- гигроскопична
- низкая воздухопроницаемость

Полиуретан

Теплоизоляционный материал на основе двухкомпонентной системы, состоящей из полиольного и изоцианатного компонентов с добавлением катализаторов, стабилизаторов, огнезащитных добавок и вспенивателя. Производится в виде спрея, который напыляется непосредственно на изолируемую поверхность.

Свойства материала:

- очень низкая теплопроводность
- низкая паропроницаемость и водопоглощение
- высокая адгезия ко многим материалам
- бесшовное нанесение утеплителя
- возможность переработки
- биологически нейтрален
- низкая пожаробезопасность

Тизол Euro – Лайт

Плиты, изготовленные из волокон минеральной (каменной) ваты, скрепленные между собой отвержденным связующим, состоящим из раствора синтетической смолы, гидрофобизирующих, обеспыливающих и модифицирующих добавок.

Свойства материала:

- легко поддается обработке, быстрый монтаж
- негорючий материал
- хорошо сохраняет форму, не допускает усадки

Основные технические свойства описанных выше материалов приведены в таблице 1.

Таблица 1. Технические свойства теплоизоляционных материалов

Наименование материала	Плотность, кг/м ³	Теплопроводность при 25 ±5°C, Вт/(м·К)	Группа горючести	Водопоглощение по объему об, %	Паропроницаемость, мг/(м·ч·Па)
Технониколь CARBON ECO	26 – 32	0,029	Г4	0,2	0,011
Шелтерэкострой Стандарт	12,5 – 54,1	0,031	Г3	–	0,3
Юнипор	10 – 30	0,028 – 0,037	Г2	20	0,23
Геокар	250 – 430	0,047 – 0,08	Г2	170	–
Техфом	140	0,045	НГ	63	0,55
Экотеплин	32 – 34	0,037	Г1	0,5	0,4
Эковата	30 – 75	0,032 – 0,041	Г2	1	0,3
Полиуретан	30 – 200	0,019 – 0,025	Г4	2,5	0,5
Тизол Euro – Лайт 50	50	0,036	НГ	80	0,3

Примечание: обозначение "–" означает, что достоверной информации о данной характеристике материала найдено не было.

Расчет требуемой толщины слоя теплоизоляции и величины трансмиссионных потерь ⁽¹⁾

В качестве расчетной модели принимается однородная стена жилого здания следующей конфигурации (рисунок 1):

- Железобетонная плита толщиной 200 мм
- Теплоизоляционный материал
- Штукатурный слой, 10 мм

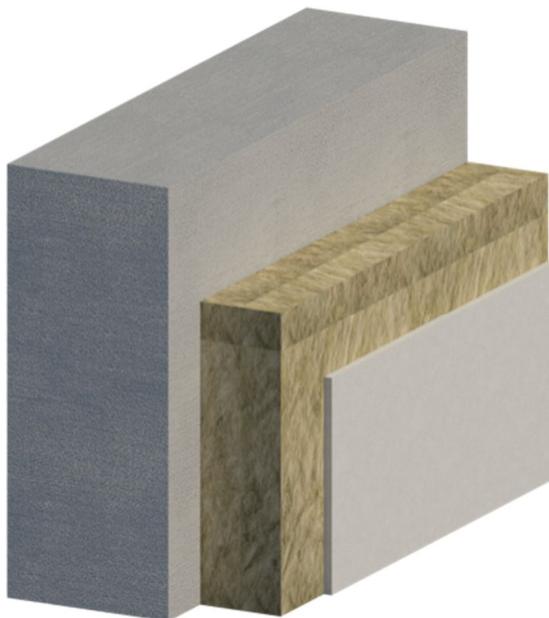


Рисунок 1. Модель исследуемой стены

1. Определение градусо-суток отопительного периода

$$\text{ГСОП} = (t_{\text{вн}} - t_{\text{от}}) \cdot Z_{\text{от}},$$

где $t_{\text{вн}}$ – расчетная средняя температура воздуха внутри здания, °С

$t_{\text{от}}$ – средняя температура наружного воздуха за отопительный период, °С ⁽²⁾

$Z_{\text{от}}$ – продолжительность отопительного периода, сут/год. ⁽²⁾

2. Определение значения сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций

Требуемое сопротивление теплопередаче ограждающих конструкций:

$$R_o^{\text{тп}} = a \cdot \text{ГСОП} + b,$$

где a, b – коэффициенты для стен, принимаемые по СП 50.13330.2012, табл. 3.

Условное сопротивление на основе значения требуемого:

$$R_o^{\text{усл}} = \frac{R_o^{\text{тп}}}{r},$$

где r – коэффициент теплотехнической однородности наружных ограждений, принимаемый по СТО 00044807-001-2006.

Для установления требуемой толщины теплоизоляционного слоя при проектировании наружных стен условное сопротивление теплопередаче определяют по формуле:

$$R_o^{\text{усл}} = \frac{1}{\alpha_{\text{вн}}} + \sum_{i=1}^n \frac{\delta_i}{\lambda_i} + \frac{1}{\alpha_{\text{н}}},$$

где δ_i – толщина i -го слоя конструкции, м;

λ_i – теплопроводность i -го слоя конструкции, Вт/(м·К);

$\alpha_{вн}$ – коэффициент теплообмена у внутренней поверхности ограждающих конструкций, Вт/(м²·К), принимаемый по СП 50.13330.2012;

$\alpha_{н}$ – коэффициент теплообмена у наружной поверхности ограждающей конструкции, Вт/(м²·К), принимаемый по СП 50.13330.2012.

3. Расчет толщины теплоизоляции при одинаковом для всех материалов значении $R_o^{усл}$

$$\delta_{из} = \left(R_o^{усл} - \frac{1}{\alpha_{вн}} - \sum_{i=1}^{n-1} \frac{\delta_i}{\lambda_i} - \frac{1}{\alpha_{н}} \right) \lambda_{из},$$

где $\lambda_{из}$ – теплопроводность изоляционного слоя, Вт/(м·К).

4. Определение суммарных потерь тепловой энергии через 1 м² наружной стены

$$Q = \frac{ГСОП \cdot 24}{1000 \cdot R_o^{усл}} \text{ кВт} \cdot \text{ч}/(\text{м}^2 \cdot \text{год}).$$

Ниже приведен пример расчета для материала "Техноколь XPS CarbonEco".

Исходные данные для расчета:

$\alpha_{вн} = 8,7$ по табл. 4 СП 50.13330.2012;

$\alpha_{н} = 23$ по табл. 6 СП 50.13330.2012;

$r = 0,7$ по табл. 8 СТО 00044807-001-2006, соответствующий железобетонной панели с эффективным утеплителем и гибкими стальными связями;

$\lambda_{ж/б} = 2,04$ – теплопроводность железобетона по Приложению Т СП 50.13330.2012;

$\lambda_{шт} = 0,21$ – теплопроводность штукатурки по Приложению Т.

1. $ГСОП = (t_{вн} - t_{от}) \cdot Z_{от} = (21 - (-1,3)) \cdot 213 = 4750 \text{ (}^\circ\text{C} \cdot \text{сут)}$.

2. $R_o^{ТР} = a \cdot ГСОП + b = 0,00035 \cdot 4750 + 1,4 = 3,062 \text{ ((м}^2 \cdot ^\circ\text{C)/Вт)}$.

$$R_o^{усл} = \frac{R_o^{ТР}}{r} = \frac{3,062}{0,7} = 4,375 \text{ (м}^2 \cdot ^\circ\text{C/Вт)}$$

3. $\delta_{из} = \left(R_o^{усл} - \frac{1}{\alpha_{вн}} - \sum_{i=1}^{n-1} \frac{\delta_i}{\lambda_i} - \frac{1}{\alpha_{н}} \right) \lambda_{из} = \left(4,375 - \frac{1}{8,7} - \frac{0,2}{2,04} - \frac{0,001}{0,21} - \frac{1}{23} \right) 0,029 = 0,119 \text{ м}$.

4. $Q = \frac{ГСОП \cdot 24}{1000 \cdot R_o^{усл}} = \frac{4750 \cdot 24}{1000 \cdot 4,375} = 26,057 \text{ (кВт} \cdot \text{ч)/(м}^2 \cdot \text{год)}$.

Результаты расчетов для всех рассматриваемых материалов занесены в таблицу 2 и графически представлены на рисунке 2.

Таблица 2. Результаты расчетов толщины утеплителей при заданном значении $R_o^{усл} = 4,375 \text{ (м}^2 \cdot ^\circ\text{C)/Вт}$

Материал	Техноколь CARBON ECO	Шелтер-экострой Стандарт	Юнипор	Геокар	Техфом	Эко-теплин	Эковата	Полиуретан	Тизол Euro - Лайт 50
$\lambda_{из}$	0,029	0,031	0,037	0,08	0,045	0,037	0,041	0,025	0,036
$\delta_{из}$	0,119	0,128	0,152	0,329	0,185	0,152	0,169	0,103	0,148



Рисунок 2. Сравнение толщины различных утеплителей

5. Выводы

1. На сегодняшний день экологичности возводимых зданий и сооружений придается всё большее значение, поэтому при выборе утеплителей важно уделять внимание не только теплоизоляционным характеристикам, но и их воздействию на окружающую среду и здоровье человека.

2. Основываясь на данном принципе, были выбраны теплоизоляционные материалы и рассмотрены их основные свойства.

3. Для сравнения теплофизических свойств выбранных материалов было определено значение требуемого сопротивления теплопередаче, и на основе этого параметра рассчитана толщина теплоизоляционного слоя, а также величина трансмиссионных потерь.

4. Исходя из расчетов наиболее рациональным вариантом с точки зрения толщины ограждающей конструкции является полиуретан. Однако, производство данного материала в России на данный момент весьма ограничено и использование полиуретана может быть, как экономически невыгодно, так и противоречить положениям "зеленых" стандартов "об использовании материалов местного происхождения".

5. В связи с этим, более выгодным будет использование Технониколь CARBON ECO, который, кроме того, единственный из всех рассмотренных материалов имеет экомаркировку I класса "Листок жизни".

6. Таким образом, окончательный вариант ограждающей конструкции с учетом имеющегося номенклатурного ряда теплоизоляционных изделий:

- Стена из железобетона, 200 мм
- Утеплитель Технониколь CARBON ECO, 120 мм
- Штукатурный слой, 10 мм

Литература

- [1]. BREEAM-BRE Environmental Assessment Method. BREEAM Europe Commercial 2009 Assessor Manual, SD 5066A Issue 1.0. BRE Global, 2009 [электронный ресурс]. URL: <http://www.breeam.org> (дата обращения: 08.11.2016).
- [2]. LEED-The Leadership in Energy & Environmental Design. LEED 2009 for New Construction and Major Renovations Rating System US Green Building Council 2009. URL: <http://www.usgbc.org> (дата обращения: 08.11.2016).
- [3]. DGNB-Deutsche Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen e.V [электронный ресурс]. URL: <http://www.dgnb.de/en/> (дата обращения: 08.11.2016).
- [4]. "Центр экологической сертификации - Зелёные стандарты" [электронный ресурс] URL: <http://www.greenstand.ru> (дата обращения: 08.11.2016).
- [5]. ГОСТ Р 54694-2012 "Оценка соответствия. Экологические требования к объектам недвижимости".
- [6]. СТО ЛЖ 1.05.5760-11-1.0 «Теплоизоляционные материалы. Требования экологической безопасности. Правила применения».
- [7]. Красимирова С.С., Малышева В.А., Рожков Д.Н. Обзор биопозитивных строительных материалов, применяемых при строительстве экоддома // Master's Journal. 2014. № 1. С. 363-369.
- [8]. Сычев С.А. Эко технологии строительства с учетом критериев энергоэффективного зданий // Science Time. 2014. № 10 (10). С. 343-349.

- [9]. Asdrubali F., D'Alessandro F., Schiavoni S. A review of unconventional sustainable building insulation materials. *Sustainable Materials and Technologies*. 2015. Vol. 3. pp. 210-227.
- [10]. Korjenic A., Petránek V., Zach J., Hroudová J. Development and performance evaluation of natural thermal-insulation materials composed of renewable resources. *Energy and Buildings*. 2011. Vol. 43. Issue 9. pp 2518-2523.
- [11]. Balo F. Feasibility study of "green" insulation materials including tall oil: Environmental, economical and thermal properties. *Energy and Buildings*. 2015. Vol. 86. pp. 161-175.
- [12]. Горшков А.С., Немова Д.В., Ватин Н.И. Формула энергоэффективности // Строительство уникальных зданий и сооружений. 2013. №7. С.42-63.
- [13]. Иванищев Н. Профессиональное утепление дома // Промышленный электрообогрев и электроотопление. № 4. 2014. С. 44-46.
- [14]. Anaïs Jeanjean, Régis Olives, Xavier Py. Selection criteria of thermal mass materials for low-energy building construction applied to conventional and alternative materials. *Energy and Buildings*. 2013. Vol. 63. pp. 36-48.
- [15]. Uniben Yao, Ayikoe Tettey, Ambrose Dodoo, Leif Gustavsson. Effects of different insulation materials on primary energy and CO2 emission of a multi-storey residential building. *Energy and Buildings*. 2014. Vol. 82. pp. 369-377.
- [16]. Халиуллин А.Р. Эко-устойчивая архитектура как симбиоз энергоэффективного и адаптируемого строительства // Известия КГАСУ. 2013. №1(23). С. 61-69.
- [17]. Kuo-Tsang Huang, Wen-Pin Huang, Tzu-Ping Lin, Ruey-Lung Hwang. Implementation of green building specification credits for better thermal conditions in naturally ventilated school buildings. *Energy and Buildings*. 2015. Vol. 86. pp. 141-150.
- [18]. Chikhi M., Agoudjil B., Boudenne A., Gherabli A. Experimental investigation of new biocomposite with low cost for thermal insulation. *Energy and Buildings*. 2013. Vol. 66. pp. 267-273.
- [19]. Шелковникова Т.И., Никишова О.В. Теплотехнические и экологические свойства теплоизоляционных материалов // Научный вестник Воронежского государственного архитектурно-строительного университета. 2010. №1. С. 114-119.
- [20]. Минько Н.И., Пучка О.В., Евтушенко Е.И. Пеностекло - современный эффективный неорганический теплоизоляционный материал // Фундаментальные исследования. 2013. №6 (4). С. 849-854.
- [21]. Трещалин М.Ю., Киселев М.В., Мухамеджанов Г.К., Трещалина А.В. Проектирование, производство и методы оценки качества нетканых материалов. Кострома: Костромской государственный технологический университет. 2013. 283 с.
- [22]. Жук П. М. Система оценки экологической безопасности по жизненному циклу неорганических волокнистых теплоизоляционных материалов // Вестник МГСУ. №12. 2013. С. 118-122.
- [23]. Фриштер В. Эковата - эффективная теплоизоляция для комфортного и доступного жилья // Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века. №1. 2008. С. 28.
- [24]. Kangcheng Wei, Chenglong Lv, Minzhi Chen, Xiaoyan Zhou. Development and performance evaluation of a new thermal insulation material from rice straw using high frequency hot-pressing. *Energy and Buildings*. 2015. Vol. 87. pp. 116-122.
- [25]. Ruifang Zhang, Junjie Feng, Xudong Cheng, Lunlun Gong. Porous thermal insulation materials derived from fly ash using a foaming and slip casting method. *Energy and Buildings*. 2014. Vol. 81. pp. 262-267.
- [26]. Nuno V. Gama, Belinda Soares, Carmen S.R. Freire, Rui Silva. Bio-based polyurethane foams toward applications beyond thermal insulation. *Materials & Design*. 2015. Vol. 76. pp.77-85.
- [27]. Копылова А.И., Богомолова А.К., Немова Д.В. Энергетическая эффективность здания с применением технологии «зеленая кровля» // Строительство уникальных зданий и сооружений. 2016. № 10 (49). С. 20–34.
- [28]. Корниенко С.В., Ватин Н.И., Горшков А.С. Натурные теплофизические испытания жилых зданий из газобетонных блоков // Инженерно-строительный журнал. 2016. № 4 (64). С. 10–25.
- [29]. Корниенко С.В., Ватин Н.И., Горшков А.С. Оценка влажностного режима стен с фасадными теплоизоляционными композиционными системами // Строительство уникальных зданий и сооружений. 2016. № 6 (45). С. 34–54.
- [30]. СП 50.13330.2012. Тепловая защита зданий.
- [31]. СП 131.13330.2012. Строительная климатология.
- [32]. СТО 00044807-001-2006. Теплозащитные свойства ограждающих конструкций зданий.

The optimum thickness of exterior wall insulation to create energy efficient and environmentally friendly building in St. Petersburg

D.O. Sovetnikov ¹, D.O. Semashkina ², D.V. Baranova ³

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

ARTICLE INFO

scientific article

doi: 10.18720/CUBS.51.1

Article history

Received 21.11.2016

Keywords

energy-efficient;
green building;
thermal insulation;
building materials;
sustainable construction;

ABSTRACT

Construction is one of the most energy-intensive sectors of the economy, which at the same time is one of the most flexible in terms of the introduction of innovations aimed at achieving a sustainable, comfortable and efficient environment. Today special attention is paid to the energy-efficient and environmentally friendly housing. One of the most important steps on the way of solving this problem is to design the thermal insulation of the building with the most rational use of materials in terms of thermal and environmental performance. The authors considered various insulation materials, characterized by high technical parameters and environmental friendliness. The properties of materials were described. The calculations were made to choose the most rational solution to insulation of the building envelope. Specific heat loss per 1 m² of the exterior wall were determined. The proposed design using XPS is consistent with both Russian standards and the principles of green building.

Corresponding author:

- 1.* +7(911)9019058, sovetnikov.daniil@gmail.com (Daniil Sovetnikov, Student)
2. +7(981)1532171, daria.semashkina@gmail.com (Daria Semashkina, Student)
3. +7(921)6401200, baranova-d@mail.ru (Daria Baranova, Student)

References

- [1]. BREEAM-BRE Environmental Assessment Method. BREEAM Europe Commercial 2009 Assessor Manual, SD 5066A Issue 1.0. BRE Global, 2009 [online]. URL: <http://www.breeam.org> (date of reference: 08.11.2016).
- [2]. LEED-The Leadership in Energy & Environmental Design. LEED 2009 for New Construction and Major Renovations Rating System US Green Building Council 2009. URL: <http://www.usgbc.org> (date of reference: 08.11.2016).
- [3]. DGNB-Deutsche Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen e.V [online]. URL: <http://www.dgnb.de/en/> (date of reference: 08.11.2016).
- [4]. "Tsentral'noy ekologicheskoy sertifikatsii - Zelenyye standarty" [online] URL: <http://www.greenstand.ru> (date of reference: 08.11.2016).
- [5]. Russian State Standard GOST R 54694-2012 "Otsenka sootvetstviya. Ekologicheskiye trebovaniya k obyektam nedvizhimosti".
- [6]. Standard of Organization STO LZh 1.05.5760-11-1.0 «Teploizolyatsionnyye materialy. Trebovaniya ekologicheskoy bezopasnosti. Pravila primeneniya».
- [7]. Krasimirova S.S., Malysheva V.A., Rozhkov D.N. Obzor biopozitivnykh stroitelnykh materialov, primenyayemykh pri stroitelstve ekodoma [Overview biopositive construction materials which used in the construction of eco-houses]. Master's Journal. 2014. № 1. pp. 363-369. (rus)
- [8]. Sychev S.A. Eko tekhnologii stroitelstva s uchetom kriteriyev energoeffektivnogo zdaniy [Construction eco technology with account of building's energy efficiency criteria]. Science Time. 2014. № 10 (10). pp. 343-349. (rus)
- [9]. Asdrubali F., D'Alessandro F., Schiavoni S. A review of unconventional sustainable building insulation materials. Sustainable Materials and Technologies. 2015. Vol. 3. pp. 210-227.
- [10]. Korjenic A., Petránek V., Zach J., Hroudová J. Development and performance evaluation of natural thermal-insulation materials composed of renewable resources. Energy and Buildings. 2011. Vol. 43. Issue 9. pp 2518-2523.
- [11]. Balo F. Feasibility study of "green" insulation materials including tall oil: Environmental, economical and thermal properties. Energy and Buildings. 2015. Vol. 86. pp. 161-175.
- [12]. Gorshkov A.S., Nemova D.V., Vatin N.I. Formula energoeffektivnosti [The energy saving formula]. Construction of Unique Buildings and Structures. 2013. №7. pp.42-63. (rus)
- [13]. Ivanishchev N. Professionalnoye utepleniye doma [Professional thermal insulation for home]. Promylenyye elektroobogrev i elektrootopleniye. № 4. 2014. pp. 44-46. (rus)
- [14]. Anaïs Jeanjean, Régis Olives, Xavier Py. Selection criteria of thermal mass materials for low-energy building construction applied to conventional and alternative materials. Energy and Buildings. 2013. Vol. 63. pp. 36-48.
- [15]. Uniben Yao, Ayikoe Tettey, Ambrose Doodoo, Leif Gustavsson. Effects of different insulation materials on primary energy and CO2 emission of a multi-storey residential building. Energy and Buildings. 2014. Vol. 82. pp. 369-377.
- [16]. Khaliullin A.R. Eko-ustoychivaya arkhitektura kak simbioz energoeffektivnogo i adaptiruyemogo stroitelstva [Eco-sustainable architecture as a symbiosis of energy-efficient and adaptable building]. Izvestiya KGASU. 2013. №1(23). pp. 61-69. (rus)
- [17]. Kuo-Tsang Huang, Wen-Pin Huang, Tzu-Ping Lin, Ruey-Lung Hwang. Implementation of green building specification credits for better thermal conditions in naturally ventilated school buildings. Energy and Buildings. 2015. Vol. 86. pp. 141-150.
- [18]. Chikhi M., Agoudjil B., Boudenne A., Gherabli A. Experimental investigation of new biocomposite with low cost for thermal insulation. Energy and Buildings. 2013. Vol. 66. pp. 267-273.
- [19]. Shelkovnikova T.I., Nikishova O.V. Teplotekhnicheskiye i ekologicheskiye svoystva teploizolyatsionnykh materialov [Heat engineering and ecological properties of heat-insulating materials] Nauchnyy vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta. 2010. №1. pp. 114-119. (rus)
- [20]. Minko N.I., Puchka O.V., Yevtushenko Ye.I., Nartsev V.M. Penosteklo - sovremennyy effektivnyy neorganicheskiy teploizolyatsionnyy material [Foamed glass is a modern and inorganic insulating material]. Fundamentalnyye issledovaniya. 2013. №6 (4). pp. 849-854. (rus)
- [21]. Treshchalin M.Yu., Kiselev M.V., Mukhamedzhanov G.K., Treshchalina A.V. Proyektirovaniye, proizvodstvo i metody otsenki kachestva netkanykh materialov [Design, production and quality evaluation methods of nonwoven fabric]. Kostroma: Kostromskoy gosudarstvennyy tekhnologicheskyy universitet, 2013. 283 p. (rus)
- [22]. Zhuk P. M. Sistema otsenki ekologicheskoy bezopasnosti po zhiznennomu tsiklu neorganicheskikh voloknistykh teploizolyatsionnykh materialov [Evaluation system of ecological safety on life cycle of inorganic fibrous heat-insulating materials]. Vestnik MGSU. №12. 2013. pp. 118-122. (rus)
- [23]. Frishter V. Ekovata- effektivnaya teploizolyatsiya dlya komfortnogo i dostupnogo zhilya [The ECO-WOOL is an efficient heat-insulating material for comfort reasonable residential buildings]. Stroitelnyye materialy, oborudovaniye, tekhnologii XXI veka. №1. 2008. p. 28. (rus)
- [24]. Kangcheng Wei, Chenglong Lv, Minzhi Chen, Xiaoyan Zhou. Development and performance evaluation of a new thermal insulation material from rice straw using high frequency hot-pressing. Energy and Buildings. 2015. Vol. 87. pp. 116-122.

- [25].Ruifang Zhang, Junjie Feng, Xudong Cheng, Lunlun Gong. Porous thermal insulation materials derived from fly ash using a foaming and slip casting method. *Energy and Buildings*. 2014. Vol. 81. pp. 262-267.
- [26].Nuno V. Gama, Belinda Soares, Carmen S.R. Freire, Rui Silva. Bio-based polyurethane foams toward applications beyond thermal insulation. *Materials & Design*. 2015. Vol. 76. pp.77-85.
- [27].Kopylova A.I., Bogomolova A.K., Nemova D.V. Energeticheskaya effektivnost zdaniya s primeneniym tekhnologii «zelenaya krovlya» [The energy efficiency of the building with application of green roof technology]. *Construction of Unique Buildings and Structures*. 2016. № 10 (49). pp. 20–34.(rus)
- [28].Korniyenko S.V., Vatin N.I., Gorshkov A.S. Naturnyye teplofizicheskiye ispytaniya zhilykh zdaniy iz gazobetonnykh blokov [Thermophysical field testing of residential buildings made of autoclaved aerated concrete blocks]. *Magazine of Civil Engineering*. 2016. № 4 (64). pp. 10–25.(rus)
- [29].Korniyenko S.V., Vatin N.I., Gorshkov A.S. Otsenka vlazhnostnogo rezhima sten s fasadnymi teploizolyatsionnymi kompozitsionnymi sistemami. [Assessment of moisture conditions of walls with façade's thermoinsulation composite systems with external mortar layers]. *Construction of Unique Buildings and Structures*. 2016. № 6 (45). pp. 34–54.(rus)
- [30].Set of Rules SP 50.13330.2012. Teplovaya zashchita zdaniy.
- [31].Set of Rules SP 131.13330.2012. Stroitel'naya klimatologiya.
- [32].Standard of Organization STO 00044807-001-2006. Teplozashchitnyye svoystva ograzhdayushchikh konstruksiy zdaniy.

Советников Д.О., Семашкина Д.О., Баранова Д.В., Оптимальная толщина утеплителя наружной стены для создания энергоэффективного и экологичного здания в условиях Санкт-Петербурга // Строительство уникальных зданий и сооружений. 2016. №12 (51). С. 7-19.

Sovetnikov D.O., Semashkina D.O., Baranova D.V. The optimum thickness of exterior wall insulation to create energy efficient and environmentally friendly building in St. Petersburg. Construction of Unique Buildings and Structures, 2016, 12 (51), Pp. 7-19. (rus)