Строительство уникальных зданий и сооружений. ISSN 2304-6295. 10 (49). 2016. 20-34

Construction of Unique Buildings and Structures

journal homepage: www.unistroy.spb.ru

Энергетическая эффективность здания с применением технологии «зеленая кровля»

А.И. Копылова[1], А.К. Богомолова[2], Д.В. Немова[3]

[1,2,3] Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, 195251, Россия, г. Санкт-Петербург, Политехническая ул., 29

Информация о статье	История	Ключевые слова
УДК 692.4	Подана в редакцию 15.09.2016	зеленая кровля; энергосбережение в зданиях; энергоэффективность; экономическая эффективность; расход тепловой энергии; сопротивление теплопередаче; теплоизоляция;

АННОТАЦИЯ

Проблема сокращения энергопотребления эксплуатируемых зданий стала предпосылкой для совершенствования энергосберегающих технологий. Энергоэффективность и сокращение затрат в процессе эксплуатации реализуются за счет снижения теплопотерь через внешнее покрытие. Инновационная технология зеленых кровель привлекает все большее внимание в связи с ее инженерными, тепло-экономическими и экологическими преимуществами. Энергосбережение достигается в связи с повышенными теплоизоляционными свойствами зеленой кровли. В статье рассматриваются технология «зеленая кровля» и типовая кровельная конструкция как покрытия для двух зданий с различными отношениями площади покрытия к площади ограждающих конструкций в условиях Санкт-Петербурга. По результатам проведенного теплотехнического расчета зданий с различными вариантами кровельного покрытия оценивается энергетическая и экономическая эффективность зданий с применением технологии «зеленая кровля».

Содержание

1. Введение 21
2. Обзор литературы 21
3. Цель и постановка задач 22
4. Анализ методов оценки эффективности инвестиционно-строительных проектов 22
5. Результаты теплотехнического расчета с применением технологии «зеленая кровля» 25
6. Теплотехнический расчет здания с большим отношением площади покрытия к площади ограждающих конструкций 26
7. Заключение 29

Контактный автор:
1. +7(921)6470854, nastya01021@mail.ru (Копылова Анастасия Игоревна, студент)
2. +7(981)9712570, blum841233@yandex.ru (Богомолова Арина Константиновна, студент)
3. +7(921)8900267, darya.nemova@gmail.com (Немова Дарья Викторовна, к.т.н., ст.преп.)

1. Введение

Проблема сокращения энергопотребления эксплуатируемых зданий стала предпосылкой для совершенствования энергосберегающих технологий. Рациональное использование энергии, а также энергосбережение достигаются в основном на стадиях проектирования и эксплуатации зданий [1-3].

В городском строительстве под энергоэффективностью понимают совокупность мероприятий, которые направлены на уменьшение потребляемой зданиями тепловой энергии. Эта энергия необходима для поддержания в помещениях требуемых параметров микроклимата при соответствующем технико-экономическом обосновании внедряемых мероприятий и обеспечении безопасности [4].

К возможным путям решения энергосбережения зданий и сооружений относятся [4-9]:

- технологии зелёных кровель,
- энергоэффективные системы вентиляции,
- современные ограждающие конструкции с высокими показателями теплозащиты,
- нетрадиционные возобновляемые источники энергии,
- энергоэффективные системы освещения и др.

Инновационная технология зеленых кровель привлекает все большее внимание в связи с ее тепло-экономическими преимуществами. Энергоэффективность и сокращение затрат в процессе эксплуатации реализуются за счет снижения теплопотерь через внешнее покрытие здания. Наиболее рациональным способом достижения этой цели является повышение теплозащитных свойств ограждающих конструкций. В связи с этим, главным показателем покрытия является сопротивление теплопередаче, от которого зависит количество теряемой теплоты. Таким образом, при грамотном подборе «пирога» кровли возможно значительно повысить энергоэффективность здания.

Объектом исследования данной работы является конструкция зеленой кровли, представляющая собой покрытие для двух зданий с различными отношениями площади покрытия к площади ограждающих конструкций применительно к климатическим условиям города Санкт-Петербург. Кровельная конструкция находится под климатическими воздействиями с внешней стороны и под воздействием пара, возникающего в помещении и движущегося наружу. Для оценки влияния зеленой кровли на энергоэффективность здания также рассматривается вариант типового кровельного покрытия, проводится теплотехнический расчет вышеприведенных зданий с применением двух различных кровельных конструкций.

Методика теплотехнического расчета базируется на требованиях СП 50.13330.2012 [10]. Теплотехнический расчет включает в себя:

- расчет сопротивления теплопередаче кровельной конструкции;
- расчет удельного расхода тепловой энергии на отопление здания.

2. Обзор литературы

Основные исследования, посвященные применению зеленых кровель для повышения энергоэффективности зданий, осуществлялись преимущественно за рубежом. Значительный вклад в развитие данной тематики внесли следующие специалисты: G. Heidarinejad, A. Esmaili, P. Karachalioua, H. Pangalou, M. Santamouris, J. Coma, G. Pérez, A. Castell, F. Ascione, N. Biancoa, G. Turni, G. Virk, A. Jansz, A. Mavrogianni, A. Mylona, J. Stocker, M. Davies, H.F. Castleton, V. Stovin, J.B. Davison, K. Sopian, E. Salleh, C.H. Lim, S. Riffat, E. Saadatian и другие [11-25].

Работа P. Karachaliou, M. Santamouris, H. Pangalou [11] посвящена изучению тепловых характеристик и энергетической эффективности интенсивной зеленой кровли, при озеленении которой применялись растения с низкой потребностью во влаге. Влияние кровли на энергосбережение исследовано с помощью экспериментальных и теоретических методик. По результатам исследования, применение такого типа озеленения уменьшает среднюю температуру в помещении на 0,7К, что может существенно снизить ежегодные затраты на охлаждение и отопление здания.

В статье [12] проводится анализ влияния модернизированных зеленых и холодных крыш на снижение энергопотребления. Рассматривается офисное здание в центре Лондона. Микроклиматическое моделирование показало, что применение зеленых кровель способно сократить ежегодное потребление энергии здания. В свою очередь, холодные крыши являются эффективными в летнее время. Однако, это не компенсирует большой расход энергии в зимний период. В результате исследования делается вывод об эффективности применения утеплителя как метода сокращения годового энергопотребления.

J. Coma, G. Pérez, C. Solé, A. Castell, L.F. Cabeza [13] совместно провели экспериментальную работу по оценке энергопотребления и теплового режима для трех одинаковых домов с различными кровельными конструкциями, расположенных в провинции Льейда (Испания). Конструкция для одного из домов

представляет собой обычную плоскою кровлю с традиционным утеплителем, в то время как в двух других домах слой изоляции крыши заменен на экстенсивную зеленую кровлю толщиной 9 см. По результатам эксперимента конструкции зеленых кровель показывают меньшее энергопотребление в теплый период и более высокий уровень потребления энергии в отопительный период времени по сравнению с обычной кровлей.

Изучением технологий зеленых кровель и влияния их на энергосбережение в России занимались следующие авторы: Э.Е. Семенова, А.А. Шамарина, Н.Б. Кондратьева и др. [2, 26-29].

В настоящее время существует большое количество публикаций, посвященных обзору технологий зеленых кровель, значительная часть которых не акцентирует внимание на проблеме влияния данных технологий на энергоэффективность зданий. В связи с этим, исследование зеленых крыш достаточно перспективное направление, требующее дальнейшее изучение.

3. Цель и постановка задач

Целью работы – оценка влияния зеленых кровель на энергетическую эффективность зданий.

Основные задачи формулируются следующим образом:

- Произвести теплотехнический расчет с применением стандартной кровельной конструкции;
- Произвести теплотехнический расчет с применением зеленой кровли;
- Оценить влияние применения технологии «зеленая кровля» на энергоэффективность зданий.

4. Анализ методов оценки эффективности инвестиционно-строительных проектов

Сравнение затрат тепловой энергии на отопление произведем только по показателям трансмиссионных теплопотерь здания (потерь тепловой энергии здания через ограждающие конструкции), согласно допущениям, принятым в [2].

Данные допущения применимы к двум рассматриваемым зданиям. Первое здание представляет собой жилой семиэтажный дом с малым отношением площади покрытия к общей площади ограждающих конструкций. Второе здание представляет собой двухэтажную школу с большим отношением площади покрытия к общей площади ограждающих конструкций.

Приведем теплотехнический расчет для жилого многоэтажного дома.

Общие характеристики жилого многоэтажного здания

Таблица 1. Площади наружных ограждающих конструкций здания

№ п/п	Тип наружной ограждающей конструкции	Площадь конструкции A_i, м^2
1	Наружные стены – A_w	4558,74
2	Окна – A_F	1558,1
3	Наружные двери – A_{ed}	190,21
4	Покрытие – A_c	1581,5
5	Перекрытия над проездами – A_{c2}	219,0
6	Полы по грунту – A_{f1}	1564,87
7	Общая площадь ограждающих конструкций – A_e^{sum}	9672,42

Характеристики наружных ограждений

Структура наружной стены, считая от наружной поверхности:

- кирпичная кладка из керамического кирпича полнотелого на цементно-песчаном растворе – 120 мм;
- воздушная прослойка – 3 мм;
- утеплитель ISOVER вентфасад Оптима – 80 мм;
- газобетонные блоки – 200 мм.

Окна представляют собой двухкамерные стеклопакеты из обычного стекла, с расстоянием между стеклами 6 мм с утепленными оконными профилями. Наружные двери – металлические.

Структура полов по грунту, считая от наружной поверхности:

- керамическая плитка на клеевом растворе – 10 мм;
- гидроизоляция – 10 мм;
- цементно-песчаная стяжка – 20 мм;
- утеплитель ISOVER – 120 мм;
- гидроизоляция – 10 мм;
- железобетонная плита – 200 мм.

В рамках данной работы приводится расчет расхода тепловой энергии здания с применением стандартной кровельной конструкции, состав которой приведен в таблице 2.

Таблица 2. Теплотехнические характеристики отдельных слоев кровли

№ п/п	Материал	Толщина слоя δ, м	Плотность материала ρ, кг/м^3	Коэффициент теплопроводности $\lambda_Б$, Вт/(м·°С)
1	Гипсовая штукатурка	0,005	1000	0,35
2	Железобетонная плита покрытия	0,2	2500	2,04
3	Теплоизоляционный материал URSA	0,14	45	0,043
4	Керамзитовый гравий	0,04	600	0,26
5	Выравнивающая цементно-песчаная стяжка	0,025	1800	0,93
6	Четыре слоя рубероида на битумной мастике	0,01	600	0,17
7	Слой гравия на антисептированной битумной мастике	0,01	600	0,2

Климатические и энергетические характеристики

Таблица 3. Климатические характеристики

№ п/п	Показатель	Обозначение параметра	Единица измерения	Расчетное значение
1	Расчетная температура внутреннего воздуха для жилого здания	t_{int}	°С	20
2	Расчетная температура наружного воздуха в холодный период года	t_{ext}	°С	-26
3	Продолжительность отопительного периода для жилого здания	z_{ht}	сут/год	220
4	Средняя температура наружного воздуха за отопительный период	t_{ext}^{av}	°С	-1,8
5	Градусо-сутки отопительного периода	D_d	°С·сут/год	4796

Таблица 4. Требуемые и расчетные сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций

№ п/п	Тип наружной ограждающей конструкции	Требуемое сопротивление теплопередаче, $R_i^{тр}$, м²·°С/Вт	Расчетное сопротивление теплопередаче, R_i, м²·°С/Вт
1	Наружные стены – R_w	1,94	3,78
2	Покрытие – R_c	3,68	3,8
3	Перекрытия над проездами– R_{c2}	3,68	3,8
4	Окна – R_F	0,49	0,51
5	Наружные двери – R_{ed}	0,79	1,1
6	Полы по грунту – R_{f1}^{r}	3,25	3,3

Приведенное сопротивление теплопередаче ограждающих конструкций должно приниматься не менее установленной нормируемой величины, максимальное значение которой зависит от количества градусо-суток отопительного сезона рассматриваемого района строительства и принимается по [10].

Общее сопротивление теплопередаче однородного многослойного кровельного покрытия в предположении однородного температурного поля:

$$R_0 = R_{si} + R_k + R_{se}, \quad (1)$$

$$R_{si} = 1/\alpha_{\text{int}}, \quad (2)$$

где α_{int} =8,7 Вт/(м²·°С) – коэффициент теплоотдачи внутренней поверхности ограждающей конструкции;

$$R_{se} = 1/\alpha_{ext}, \quad (3)$$

α_{ext} =23 Вт/(м²·°С) – коэффициент теплоотдачи наружной поверхности ограждающей конструкций;

R_k – термическое сопротивление ограждающей конструкции, м²·°С/Вт, с последовательно расположенными однородными слоями, определяемое по формуле:

$$R_k = R_1 + R_2 + ... + R_n, \quad (4)$$

где $R_1, R_2, .., R_n$ – термическое сопротивление отдельных слоев ограждающих конструкций:

$$R = \frac{\delta}{\lambda}, \quad (5)$$

δ – толщина слоя, м;

λ – расчетный коэффициент теплопроводности материала слоя, Вт/м²·°С, принимаемый по приложению Т [10].

Получаем:

$$R_0 = \frac{1}{8{,}7} + \frac{0{,}005}{0{,}35} + \frac{0{,}2}{2{,}04} + \frac{0{,}14}{0{,}043} + \frac{0{,}04}{0{,}26} + \frac{0{,}025}{0{,}17} + \frac{0{,}01}{0{,}17} + \frac{0{,}01}{0{,}2} + \frac{1}{12} = 3{,}8 \ \text{м}^2 \cdot °\text{С/Вт}.$$

При сравнении полученного значения R_0 с нормируемым устанавливаем, что $R_0 > R^{req}$. Следовательно, стандартная кровельная конструкция удовлетворяет требованиям [10] в отношении сопротивления теплопередаче.

Расчет трансмиссионных потерь тепловой энергии на отопление Q_{h1}^{y}, кВт·час/год, рассматриваемого многоквартирного жилого здания за отопительный период произведем по формуле:

$$Q_{h1}^{y} = 0{,}024 \cdot D_d \cdot \sum_i \frac{A_i}{R_i} \cdot n, \quad (6)$$

где: 0,024 – переводной коэффициент потерь тепловой энергии через наружные ограждающие конструкции из Вт·сут в кВт·ч (1 сут = 24 ч, 1 Вт = 0,001 кВт, 1 Вт·сут = 0,024 кВт·ч);

D_d – градусо-сутки отопительного периода, принятые для жилого здания, расположенного в Санкт-Петербурге, равные 4796 °С·сут/год, принятые по таблице 3;

A_i – площадь i-го типа наружной ограждающей конструкции (стены, окна, покрытия и т.д.), принимаемая для рассматриваемого здания по таблице 1;

R_i – приведенное сопротивление теплопередаче i-го типа наружной ограждающей конструкции, принятое по таблице 4;

n – коэффициент, учитывающий зависимость положения наружной поверхности ограждающих конструкций (стен, окон, покрытия и т.п.) по отношению к наружному воздуху и уменьшающий разность температур для отдельного ограждения, которое не соприкасается с наружным воздухом; для наружных стен, окон и балконных дверей, совмещенного покрытия, перекрытий над проездами и под эркерами n принимается равным 1.

Рассчитаем по формуле (6) для рассматриваемого многоквартирного жилого здания потери тепловой энергии через наружные ограждающие конструкции за отопительный период.

Получим:

$$Q_{h1}^{y} = 0{,}024 \cdot D_d \cdot \left(\frac{A_w}{R_w^r} + \frac{A_F}{R_F^r} + \frac{A_{ed}}{R_{ed}^r} + \frac{A_c}{R_c^r} + n \cdot \frac{A_{c1}}{R_{c1}^r} + \frac{A_{c2}}{R_{c2}^r} + n \cdot \frac{A_f}{R_f^r} + \frac{A_{f1}}{R_{f1}^r} \right) =$$

$$0{,}024 \cdot 4796 \cdot \left(\frac{4558{,}74}{3{,}78} + \frac{1558{,}1}{0{,}51} + \frac{190{,}21}{1{,}1} + \frac{1581{,}5}{3{,}8} + \frac{219}{3{,}8} + \frac{1564{,}87}{3{,}3} \right) = 619495{,}6 \text{ кВт} \cdot \text{час/год},$$

$A_w, A_F, A_{ed}, A_c, A_{c1}, A_{c2}, A_f, A_{f1}$ – площадь соответственно стен, заполнений светопроемов, наружных дверей, совмещенных покрытий, чердачных перекрытий теплых чердаков, перекрытий над проездами и под эркерами, перекрытий над неотапливаемыми подвалами и полов по грунту;

$R_w^r, R_F^r, R_{ed}^r, R_c^r, R_{c1}^r, R_{c2}^r, R_f^r, R_{f1}^r$ – приведенное сопротивление теплопередаче соответствующих элементов ограждающих конструкций.

5. Результаты теплотехнического расчета с применением технологии «зеленая кровля»

Для исходного жилого здания проведен аналогичный вышеописанный теплотехнический расчет с применением конструкции зеленой кровли, состав которой приведен в таблице 5.

Получены следующие результаты:

- сопротивление теплопередаче кровельной конструкции:
  $R_c^* = 5{,}64$ (м$^2 \cdot {}^o$С) / *В*т);
- годовой расход тепловой энергии:
  $Q_{h2}^{y} = 603867{,}2$ кВт · час/год.

Таблица 5. Теплотехнические характеристики отдельных слоев зеленой кровли

№ п/п	Материал	Толщина слоя δ, м	Плотность материала ρ, кг/м³	Коэффициент теплопроводности $\lambda_Б$, Вт/(м·°С)
1	Гипсовая штукатурка	0,005	1000	0,35
2	Железобетонная плита покрытия	0,2	2500	2,04
3	Керамзитобетон	0,1	1000	0,41
4	Выравнивающая цементно-песчаная стяжка	0,02	1800	0,93
5	Гидроизоляция	0,008	3,5	0
6	Противокорневая пленка ВСФ 40 (ЦинКо РУС) в 2 слоя	0,0008	1400	0,23
7	Утеплитель пенополистирол	0,2	12	0,044
8	Разделительно-скользящая мембрана ТГВ 21 (ЦинКо РУС)	0,0005		0,023
9	Флорадрейн ФД 40 (ЦинКо РУС)	0	916	0,26
10	Системный фильтр ТГ (ЦинКо РУС)	0,0009		0,023
11	Субстрат Цирхум (ЦинКо РУС)	0,3	1800	1,16

6. Теплотехнический расчет здания с большим отношением площади покрытия к площади ограждающих конструкций

Для более точной оценки влияния зеленых кровель на годовой расход тепловой энергии рассмотрим здание школы, имеющее большую площадь покрытия, соизмеримую с площадью наружных стен.

Теплотехнические характеристики ограждающих конструкций здания школы совпадают с характеристиками ранее рассмотренного жилого многоэтажного здания. Расчет годового расхода тепловой энергии через наружные ограждающие конструкции производился для двух вариантов (с применением типовой кровельной конструкции и с применением конструкции «зеленая кровля») применительно к климатическим условиям города Санкт-Петербурга.

Общие характеристики здания школы

Таблица 6. Площади наружных ограждающих конструкций здания

№ п/п	Тип наружной ограждающей конструкции	Площадь конструкции A_i, м²
1	Наружные стены – A_w	7008,7
2	Окна – A_F	936,8
3	Наружные двери – A_{ed}	50
4	Покрытие – A_c	8160,8
5	Перекрытия над проездами и под эркерами – A_{c2}	444,7
6	Полы по грунту – A_{f1}	8120,87
7	Общая площадь ограждающих конструкций – A_e^{sum}	24721,87

Для здания школы получены следующие результаты годового расхода тепловой энергии через наружные ограждающие конструкции:

с применением обычной кровли, Q^{y}_{h3} = 974003,8 кВт·ч/год;

с применением технологии «зеленая кровля», Q^{y}_{h4} =893358,6 кВт·ч/год.

Результаты расчета трансмиссионных потерь тепловой энергии в здании в течение отопительного периода для двух рассматриваемых зданий с различными видами покрытия приведены в таблице 7.

Таблица 7. Годовой расход потерь тепловой энергии через наружные ограждающие конструкции рассматриваемых зданий за отопительный период

№ п/п	Наружные ограждающие конструкции здания	Обозначение параметра	Годовой расход тепловой энергии через наружные ограждающие конструкции, Q^{y}_{hi}		
			кВт·ч/год	МДж/год	Гкал/год
1.1	Жилого дома с применением обычной кровли	Q^{y}_{h1}	619495,6	2230184,2	533,2
1.2	Жилого дома с применением технологии «зеленая кровля»	Q^{y}_{h2}	603867,2	2173921,9	519,3
2.1	Школа с применением обычной кровли	Q^{y}_{h3}	974003,8	3506413,7	837,6
2.2	Школа с применением технологии «зеленая кровля»	Q^{y}_{h4}	893358,6	3216091,0	768,3

В таблице 7 приняты следующие коэффициенты пересчета величин тепловой энергии:

1 кВт·ч/год = 3600 кДж/год= 3,6 МДж/год;

1 кВт·ч/год = 3600 кДж/год = $3,6\cdot10^{6}$ Дж/год = $3,6\cdot10^{6}/4,187$ кал/год= $3,6\cdot10^{-3}/4,187$ Гкал/год = $86\cdot10^{-5}$ Гкал/год.

Рассчитаем разницу между годовыми расходами тепловой энергии для жилого дома с применением обычной и зеленой кровель:

$\Delta Q^{y}_{h1} = Q^{y}_{h1} - Q^{y}_{h2} = 619495,6 - 603867,2 = 15628,4$ кВт·ч/год.

Рассчитаем разницу между годовыми расходами тепловой энергии для здания школы с применением обычной и зеленой кровель:

$\Delta Q^{y}_{h2} = Q^{y}_{h3} - Q^{y}_{h4} = 974003,8 - 893358,6 = 80645,2$ кВт·ч/год.

Как видно из данных, представленных в таблице 7, наименьшие потери тепловой энергии через наружные ограждающие конструкции соответствуют зданиям с применением технологии «зеленая кровля». Наибольшая разница между годовыми расходами тепловой энергии наблюдается для здания с большим отношением площади покрытия к площади ограждающих стен.

Экономическое сопоставление затрат на отопление

Сравним экономические затраты на отопление здания с применением типовой кровельной конструкции и технологии «зеленая кровля» применительно к двум вариантам ранее рассмотренных зданий. В соответствии с Распоряжением Комитета по тарифам СПб от 27.11.2015г. №364-р [30] стоимость 1 Гкал для Санкт-Петербурга равна 1295,18 руб. Умножим эту величину на годовые потери тепловой энергии, рассчитанные в течение одного отопительного периода. Результаты приведены в таблице 8.

Таблица 8. Годовые затраты тепловой энергии на отопление здания

№ п/п	Наружные ограждающие конструкции здания	Годовой расход тепловой энергии, Q_{hi}^{y}	Затраты тепловой энергии на отопление здания
		Гкал/год	Руб./год
1.1	Жилого дома с применением обычной кровли	533,2	690590
1.2	Жилого дома с применением технологии «зеленая кровля»	519,3	672587
2.1	Школа с применением обычной кровли	837,6	1084843
2.2	Школа с применением технологии «зеленая кровля»	768,3	995087

Как видно из таблицы 8, зеленая кровля не только сокращает расход тепловой энергии за один отопительный период, но также значительно сокращает экономические расходы на отопление здания.

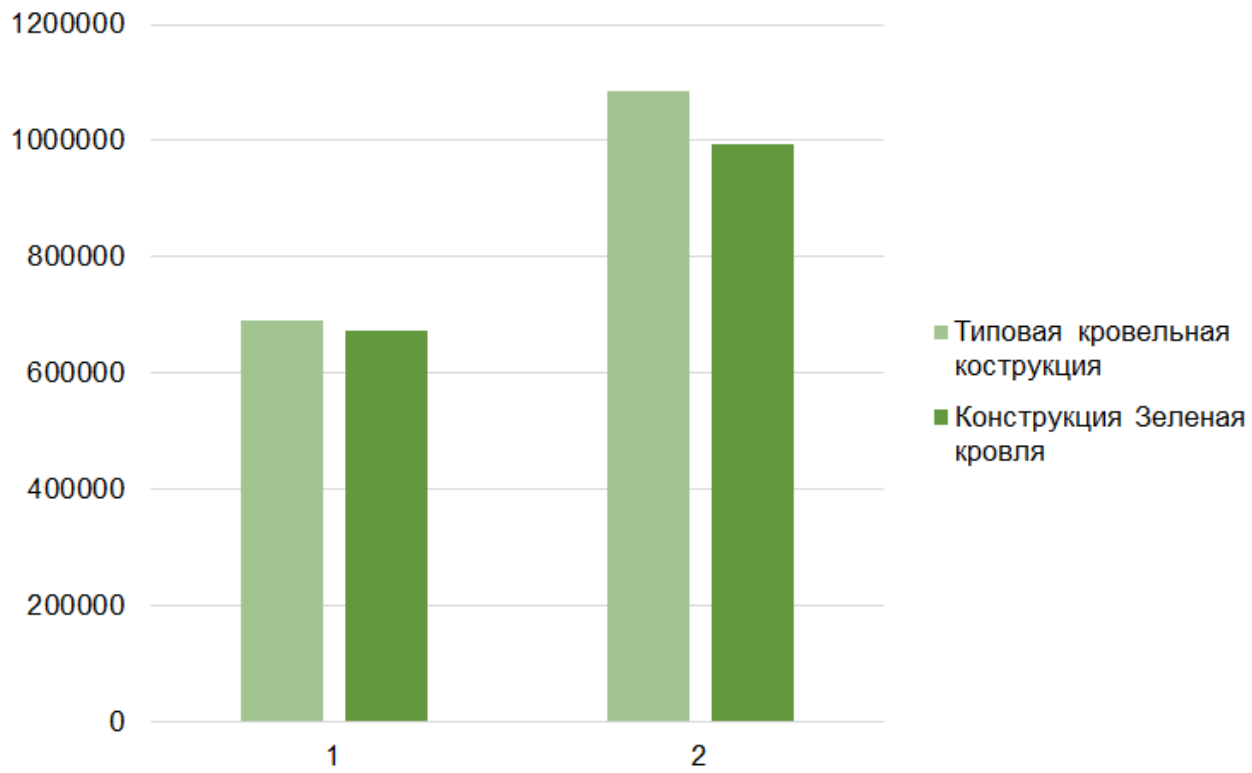

Рисунок 1. Экономическое сопоставление затрат на отопление в руб/год

Для рассмотренных выше зданий можно сделать вывод, что при большем отношении площади покрытия к общей площади ограждающих стен годовые затраты на отопление здания меньше.

На основании численного моделирования вариантов отношений построим график изменения разницы годовых затрат на отопление здания применительно к двум типам кровли в зависимости от отношения площади покрытия к площади ограждающих стен (рисунок 2).

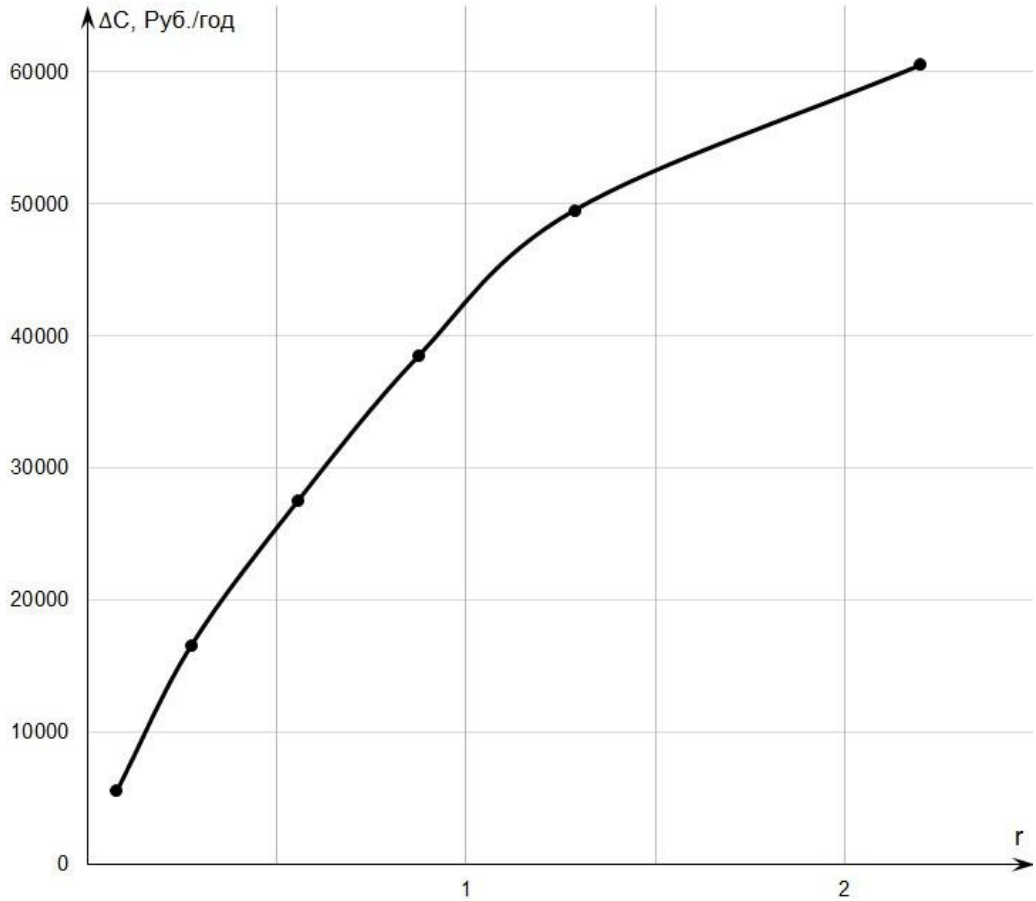

Рисунок 2. Экономическая эффективность здания (ΔC) в зависимости от отношения площади покрытия к площади ограждающих стен (r).

7. Заключение

В статье был произведен теплотехнический расчет для двух зданий с различными отношениями площади покрытия к площади ограждающих конструкций, проведен анализ потерь тепловой энергии через оболочку зданий, экономически сопоставлены затраты на отопление зданий. По итогам исследования получены следующие результаты:

1. Чем выше уровень теплоизоляции ограждающих конструкций здания, тем меньше оказываются потери тепловой энергии на его отопление в течение отопительного периода. Следовательно, меньше тепла необходимо подвести к отопительным приборам здания, и расходы за отопление могут оказаться значительно ниже.
2. Потери тепловой энергии здания с применением типовой кровельной конструкции больше по сравнению со зданием с применением технологии «зеленая кровля».
3. Потери тепловой энергии меньше при большем отношении площади покрытия здания к площади ограждающих конструкций (здание школы).
4. Применение технологии «зеленые кровля» значительно сокращает экономические расходы на отопление здания.

Литература

[1]. Бескоровайная А.В., Семенова Э.Е. Зарубежный опыт применения энергосберегающих технологий в строительстве // Научный вестник Воронежского Государственного Архитектурно-строительного университета. Серия: высокие технологии. Экология. 2014. № 1. С. 118-120.

[2]. Ватин Н.И., Немова Д.В., Рымкевич П.П., Горшков А.С. Влияние уровня тепловой защиты ограждающих конструкций на величину потерь тепловой энергии в здании // Инженерно-строительный журнал. 2012. № 8. С. 4-14.

[3]. Нефедова А.В., Чернышев Д.Е., Цейтин Д.Н. Анализ проекта мультикомфортного дома ISOVER // Строительство уникальных зданий и сооружений. 2014. № 10(25). С. 73-87.

[4]. Горшков А.С. Энергоэффективность в строительстве: вопросы нормирования и меры по снижению энергопотребления зданий // Инженерно-строительный журнал. 2010. № 1. С. 9-13.

[5]. Немова Д.В. Системы вентиляции в жилых зданиях как средство повышения энергоэффективности // Строительство уникальных зданий и сооружений. 2012. № 3. С. 83-86.

[6]. Аверьянова О.В. Экономическая эффективность энергосберегающих мероприятий // Инженерно-строительный журнал. 2011. № 5. С. 53-59.

[7]. Булгаков, С.Н. Энергоэффективные строительные системы и технологии // АВОК. Вентиляция. Отопление. Кондиционирование. 1999. №2.

[8]. Ватин Н.И., Гринфельд Г.И. Теплопередача и паропроницаемость ограждающих конструкций из газобетона с облицовкой из силикатного кирпича // СтройПРОФИль. 2007. № 6. С. 46-48.

[9]. Ватин Н.И., Горшков А.С., Немова Д.В. Энергоэффективность ограждающих конструкций при капитальном ремонте // Строительство уникальных зданий и сооружений. 2013. № 3 (8). С. 1-11.

[10]. СП 50.13330.2012. Тепловая защита зданий. Актуализированная редакция СНиП 23-02-2003.

[11]. Karachaliou P., Santamouris M., Pangalou H. Experimental and numerical analysis of the energy performance of a large scale intensive green roof system installed on an office building in Athens. Energy and Buildings. 2016. Vol. 114. Pp. 256-264.

[12]. Virk G., Jansz A., Mavrogianni A., Mylona A., Stocker J., Davies M. Microclimatic effects of green and cool roofs in London and their impacts on energy use for a typical office building. Energy and Buildings. 2015. Vol.88. Pp. 214-228.

[13]. Coma J., Pérez G., Solé C., Castell A., Cabeza L.F. Thermal assessment of extensive green roofs as passive tool for energy savings in buildings. 2016. Vol. 85. Pp. 1106-1115.

[14]. Jaffal I., Ouldboukhitine S., Belarbi R. A comprehensive study of the impact of green roofs on building energy performance. Renewable Energy. 2012. Vol. 43. Pp. 157-164.

[15]. Heidarinejad,G., Esmaili A. Numerical simulation of the dual effect of green roof thermal performance. Energy Conversion and Management. 2015. Vol. 106. Pp. 1418–1425.

[16]. Ascione F., Bianco N., de'Rossi F., Turni G., Vanoli G.P. Green roofs in European climates. Are effective solutions for the energy savings in air-conditioning? Applied Energy. 2013. Vol. 104. Pp. 845–859.

[17]. Costanzo V., Evola G., Marletta L. Energy savings in buildings or UHI mitigation? Comparison between green roofs and cool roofs. Energy and Buildings. 2016. Vol. 114. Pp. 247–255.

[18]. Chang N., Rivera B.J., Wanielista M.P. Optimal design for water conservation and energy savings using green roofs in a green building under mixed uncertainties. Journal of Cleaner Production. 2011. Vol. 19. Issue 11. Pp.1180–1188.

[19]. Castleton H.F., Stovin V., Beck S.B.M., Davison J.B. Green roofs. Building energy savings and the potential for retrofit. Energy and Buildings. 2010. Vol. 42. Issue 10. Pp. 1582-1591.

[20]. Saadatian O., Sopian K., Salleh E., Lim C.H., Riffat S., Saadatian E., Toudeshki A., Sulaiman M.Y. A review of energy aspects of green roofs. Renewable and Sustainable Energy Reviews. 2013. Vol. 23. Pp. 155-168.

[21]. Hodo-Abalo S., Banna M., Zeghmati B. Performance analysis of a planted roof as a passive cooling technique in hot-humid tropics. Renewable Energy. 2012. Vol. 39. Issue 1. Pp.140–148.

[22]. Santamouris M., Pavlou C., Doukas P., Mihalakakou G., Synnefa A., Hatzibiros A., Patargias P. Investigating and analysing the energy and environmental performance of an experimental green roof system installed in a nursery school building in Athens, Greece. Energy. 2007. Vol. 32. Issue 9. Pp. 1781-1788.

[23]. Spala A., Bagiorgas H.S., Assimakopoulos M.N., Kalavrouziotis J., Matthopoulos D., Mihalakakou G. On the green roof system. Selection, state of the art and energy potential investigation of a system installed in an office building in Athens, Greece. 2008. Vol. 33. Issue 1. Pp. 173-177.

[24]. Wang Y., Chen Y. Analysis of the Influence of the Roof Greening Technology on Building Energy Efficiency. Applied Mechanics and Materials. 2013. Vol. 253-255. Pp. 716-719.

[25]. Semaan M., Pearce A. Assessment of the Gains and Benefits of Green Roofs in Different Climates. Procedia Engineering. 2016. Vol. 145. Pp. 333-339.

[26]. Бескоровайная А.В., Семенова Э.Е. Эффективность применения эксплуатируемых кровель // Научный вестник Воронежского Государственного Архитектурно-строительного университета. Серия: высокие технологии. Экология. 2015. № 1. С. 86-89.

[27]. Шамарина А.А. Эксплуатируемые кровли как средство городского дизайна // Вестник Пермского Национального Исследовательского Политехнического университета. Урбанистика. 2012. № 4(8). С. 47-59.

[28]. Кондратьева Н.Б., Бессмертная Е.А. Взаимосвязь конструктивных элементов зданий и их энергоэффективности на примере устройства зеленых крыш // Актуальные проблемы архитектуры. Симферополь: НАПКС. 2011. Вып.3. Ч.1. С. 28-31.

[29]. Билялова Л.М., Цымбал А.А., Кондратьева Н.Б. Применение «зеленых» технологий в архитектуре // Актуальные проблемы архитектуры. Симферополь: НАПКС. 2012. Вып. 4. С. 6-11.

[30]. Комитет по тарифам Санкт-Петербурга // Распоряжение Комитета по тарифам СПб от 27.11.2015г. №364-р. Об установлении цен (тарифов) в сфере теплоснабжения открытого акционерного общества «Территориальная генерирующая компания N1» (Невский филиал, Санкт-Петербург), на территории Санкт-Петербурга на 2016-2018 годы. Спб. 2015.

The energy efficiency of the building with application of green roof technology

A.I. Kopylova[1], A.K. Bogomolova[2], D.V. Nemova[3]

[1,2,3] Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University, 29 Politechnicheskaya St., St. Petersburg, 195251, Russia

ARTICLE INFO	Articlehistory	Keywords
scientific article **doi:**	Received 15.09.2016	green roof; building energy saving; energy efficiency; economic efficiency; consumption of heat energy; heat transmission resistance; thermal insulation;

ABSTRACT

The problem of reducing energy consumption maintained buildings became a prerequisite for the improvement of energy-saving technologies. Energy efficiency and reduction of costs in the operation are realized by reducing heat loss through the outer covering. The innovative technology of green roofs has attracted increasing attention due to its engineering, warmth-economic, environmental benefits. Energy saving is achieved due to the high thermal insulation properties of the green roof. In this article structure of green roof and typical roof structure are considered as a covering for two buildings with different relations of square of covering to square of enclosing structures in Saint Petersburg. By results of the thermotechnical calculation are assessed the energy and economic efficiency of buildings with application of green roof technology.

Corresponding author:
1. +7(921)6470854, nastya01021@mail.ru (Anastasiya Igorevna Kopylova, Student)
2. +7(981)9712570, blum841233@yandex.ru (Arina Konstantinovna Bogomolova, Student)
3. +7(921)8900267, darya.nemova@gmail.com (Darya Viktorovna Nemova,Ph.D.,Senior Lecturer)

References

[1]. Beskorovaynaya A.V., Semenova E.E. Construction and Architecture.Series: high technology. Ecology. 2014. No. 1. Pp. 118-120. (rus)

[2]. Vatin N.I., Nemova D.V., Rymkevich P.P., Gorshkov A.S. Magazine of Civil Engineering. 2012. No. 8. Pp. 4-14. (rus)

[3]. Nefedova A.V., Chernyshev D.E., Tseytin D.N. Construction of Unique Buildings and Structures. 2014. No. 10 (25). Pp. 73-87. (rus)

[4]. Gorshkov A.S.. Magazine of Civil Engineering. 2010. No. 1. Pp. 9-13. (rus)

[5]. Nemova D.V. Construction of Unique Buildings and Structures. 2012. No. 3. Pp. 83-86. (rus)

[6]. Averyanova O.V. Magazine of Civil Engineering. 2011. No. 5. Pp. 53-59. (rus)

[7]. Bulgakov. S.N. AVOK. Ventilation. Heating. Air conditioning. 1999. No.2. (rus)

[8]. Vatin N.I., G.I. Grinfeld. Stroyprofile. 2007. No. 6. Pp. 46-48. (rus)

[9]. Vatin N.I., A.S. Gorshkov, D.V. Nemova. Construction of Unique Buildings and Structures. 2013. No. 3 (8). Pp. 1-11. (rus)

[10]. SP 50.13330.2012. Teplovaya zashchita zdaniy. Aktualizirovannaya redaktsiya SNiP 23-02-2003 [Thermal performance of the buildings. Actualized edition of SNiP 23-02-2003]. 2012. (rus)

[11]. Karachaliou P., Santamouris M., Pangalou H. Experimental and numerical analysis of the energy performance of a large scale intensive green roof system installed on an office building in Athens. Energy and Buildings. 2016. No. 114. Pp. 256-264.

[12]. Virk G., Jansz A.A., Mavrogianni A., Mylona A., Stocker J., Davies M. Microclimatic effects of green and cool roofs in London and their impacts on energy use for a typical office building. Energy and Buildings. 2015. No. 88. Pp. 214-228.

[13]. Coma J., Pérez G., Solé C., Castell A., Cabeza L.F. Thermal assessment of extensive green roofs as passive tool for energy savings in buildings. Renewable Energy. 2016. No 85. Pp. 1106-1115.

[14]. Jaffal I., Ouldboukhitine S., Belarbi R. A comprehensive study of the impact of green roofs on building energy performance. Renewable Energy. 2012. No. 43. Pp. 157-164.

[15]. Heidarinejad G., Esmaili A. Numerical simulation of the dual effect of green roof thermal performance. Energy Conversion and Management. 2015. No.106. Pp. 1418–1425.

[16]. Ascione F., Bianco N., de'Rossi F., Turni G., Vanoli G.P. Green roofs in European climates. Are effective solutions for the energy savings in air-conditioning? Applied Energy. 2013. No. 104. Pp. 845–859.

[17]. Costanzo V., Evola G., Marletta L. Energy savings in buildings or UHI mitigation? Comparison between green roofs and cool roofs. Energy and Buildings. 2016. Pp. 247–255.

[18]. Chang N., Rivera B.J., Wanielista M.P. Optimal design for water conservation and energy savings using green roofs in a green building under mixed uncertainties. Journal of Cleaner Production. 2011. No. 19 (11). Pp.1180–1188.

[19]. Castleton H.F., Stovin V., Beck S.B.M., Davison J.B. Green roofs. Building energy savings and the potential for retrofit. Energy and Buildings. 2010. No. 42 (10). Pp. 1582-1591.

[20]. Saadatian O., Sopian K., Salleh E., Lim C.H., Riffat S., Saadatian E., Toudeshki A., Sulaiman M.Y. A review of energy aspects of green roofs. Renewable and Sustainable Energy Reviews. 2013. No. 23. Pp. 155-168.

[21]. Hodo-Abalo S., Banna M., Zeghmati B. Performance analysis of a planted roof as a passive cooling technique in hot-humid tropics. Renewable Energy. 2012. No. 39 (1). Pp.140–148.

[22]. Santamouris M., Pavlou C., Doukas P., Mihalakakou G., Synnefa A., Hatzibiros A., Patargias P. Investigating and analysing the energy and environmental performance of an experimental green roof system installed in a nursery school building in Athens, Greece. Energy. 2007. No. 32 (9). Pp. 1781-1788.

[23]. Spala A., Bagiorgas H.S., Assimakopoulos M.N., Kalavrouziotis J., Matthopoulos D., Mihalakakou G. On the green roof system. Selection, state of the art and energy potential investigation of a system installed in an office building in Athens, Greece. Renewable Energy. 2008. No. 33 (1). Pp. 173-177.

[24]. Wang Y., Chen Y. Analysis of the Influence of the Roof Greening Technology on Building Energy Efficiency. Applied Mechanics and Materials. 2013. No. 253-255. Pp. 716-719.

[25]. Semaan M., Pearce A. Assessment of the Gains and Benefits of Green Roofs in Different Climates. Procedia Engineering. 2016. No. 145. Pp. 333-339.

[26]. Beskorovaynaya A.V., Semenova E.E. Construction and Architecture. Series: high technology. Ecology. 2015. No. 1. Pp. 86-89. (rus)

[27]. Shamarina A.A. Scientific Herald of the Perm National Research Polytechnic University. Urban studies. 2012. No. 4 (8), Pp. 47-59. (rus)

[28]. Kondratyeva N.B., Bessmertnaya E.A. Vzaimosvyaz konstruktivnykh elementov zdaniy i ikh energoeffektivnosti na primere ustroystva zelenykh krysh [The relationship of structural elements of buildings and their energy efficiency by the example of the device green roofs] // Actual problems of architecture. Simferopol: NAPKS. 2011. No. 3(1). Pp. 28-31. (rus)

[29]. Bilyalova L.M., Tsymbal A.A., Kondrat'yeva N.B. Primenenie «zelenykh» tekhnologiy v arkhitekture [The use of green technologies in architecture] // Actual problems of architecture. Simferopol: NAPKS. 2012. No. 4. Pp. 6-11. (rus)

[30]. Komitet po tarifam Sankt-Peterburga. Rasporyazheniye Komiteta po tarifam SPb ot 27.11.2015g. No 364-r. Ob ustanovlenii tsen (tarifov) v sfere teplosnabzheniya otkrytogo aktsionernogo obshchestva ‘Territorial'naya generiruyushchaya kompaniya N 1’ (Nevskiy filial, Sankt-Peterburg) na territorii Sankt-Peterburga na 2016-2018 gody [The Committee on Tariffs St. Petersburg. Order of the committee on tariffs of St. Petersburg from 27.11.2015g. No 364-r. On the establishment of prices (tariffs) in sphere of a heat supply of open joint stock company ‘Territorial generating company N 1’(Nevsky branch, St. Petersburg) on the territory of St. Petersburg in the years 2016-2018]. Saint-Petersburg. 2015. (rus)

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

Kopylova A.I., Bogomolova A.K., Nemova D.V., 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)