

УДК 692.4

ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТЬ ОБЩЕСТВЕННЫХ ЗДАНИЙ С ПРИМЕНЕНИЕМ ТЕХНОЛОГИИ «ЗЕЛЕНАЯ КРОВЛЯ»

В.М. Саматова¹, О.С. Гамаюнова²

^{1,2} Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого,
г. Санкт-Петербург (Российская Федерация)

Аннотация. На энергетическую эффективность зданий необходимо обращать внимание еще начиная со стадии проектирования. Внедрение в проект энергоэффективных и энергосберегающих технологий во многом позволит сократить энергопотребление зданий, а также обеспечить экономию затрат на отопление. Одним из возможных решений проблемы энергосбережения зданий и сооружений является применение технологии «зеленых кровель». Цель работы - изучить целесообразность использования технологии «зеленая кровля» при строительстве общественных зданий. Для достижения цели в ходе работы были рассмотрены основные типы «зеленых кровель», выявлены их преимущества и недостатки. С помощью теплотехнического расчета на примере высотного бизнес-центра был сделан вывод о том, что «зеленая кровля» способна сократить затраты на отопление за счет высокого сопротивления теплопередаче «зеленого» кровельного настила, который в 1,5 раза превышает сопротивление теплопередаче «стандартной» конструкции кровли. Дополнительные расчеты показали, что экономическая выгода напрямую зависит от отношения площади покрытия к площади ограждающих наружных стен.

Ключевые слова: кровля, кровельное покрытие, зеленая кровля, зеленые крыши, зеленая архитектура, экстенсивное озеленение, интенсивное озеленение, энергоэффективность, устойчивое развитие, городская среда.

Ссылка для цитирования: Саматова В.М., Гамаюнова О.С. Энергоэффективность общественных зданий с применением технологии «зеленая кровля» // Инженерные исследования. 2022. №3 (8). С. 20-29. EDN: ALXIDF

ENERGY EFFICIENCY OF PUBLIC BUILDINGS USING GREEN ROOF TECHNOLOGY

V.M. Samatova¹, O.S. Gamayunova²

^{1,2} Peter the Great St.Petersburg Polytechnic University, St.Petersburg (Russian Federation)

Abstract. The energy efficiency of buildings should be considered from the design stage. The introduction of energy-efficient and energy-saving technologies into the project will largely reduce the energy consumption of buildings, as well as ensure savings in heating costs. One of the possible solutions to the problem of energy saving of buildings and structures is the use of «green roofs» technology. The purpose of the work is to study the feasibility of using the «green roof» technology in the construction of public buildings. To achieve the goal in the course of the work, the main types of «green roofs» were considered, their advantages and disadvantages were identified. Using a thermal engineering calculation using the example of a high-rise business center, it was concluded that the «green roof» can reduce heating costs due to the high heat transfer resistance of the «green roof», which is 1.5 times higher than the heat transfer resistance of the «standard» design roofs. Additional calculations showed that the economic benefit directly depends on the ratio of the coverage area to the area of the enclosing outer walls.

Keywords: roofing, roofing, green roofing, green roofs, green architecture, extensive planting, intensive planting, energy efficiency, sustainable development, urban environment.

For citation: Samatova V.M., Gamayunova O.S. Energy efficiency of public buildings using green roof technology // Inzhenernyye issledovaniya [Engineering Research]. 2022. No.3 (8). Pp. 20-29. EDN: ALXIDF

ВВЕДЕНИЕ

На энергетическую эффективность зданий необходимо обращать внимание еще начиная со стадии проектирования. Внедрение в проект энергоэффективных и энергосберегающих технологий во многом позволит сократить энергопотребление зданий, а также обеспечить экономию затрат на отопление. Одним из возможных решений проблемы энергосбережения зданий и сооружений является применение технологии «зеленых кровель» [1-4].

Технология «зеленая кровля» по типу покрытий подразделяется на экстенсивную и интенсивную. Экстенсивную кровлю следует применять для зданий с малым воспринимаемым весом или для реставраций зданий с заменой обычного покрытия на зелено (при предварительном расчете допустимой нагрузки). Интенсивное озеленение следует применять при новом строительстве для создания дополнительных общественных пространств и мест отдыха. При использовании технологии «зеленая кровля» необходимо еще на этапе проектирования учитывать дополнительные нагрузки, вызванные значительным весом данной кровли [5-7].

Оценка влияния «зеленых кровель» на энергетическую эффективность зданий представлена в работах [8, 9]. Учитывая конструктивные преимущества технологии «зеленая кровля» [5], при грамотном экономическом подходе можно сократить срок окупаемости таких кровель [1, 10, 11]. Отдельное внимание при этом стоит уделить исследованию влажностного режима ограждающих конструкций [12, 13].

Оценить влияние кровельного покрытия на энергоэффективность высотного здания бизнес-центра можно с помощью теплотехнического расчета для двух типов кровель: «стандартной» и «зеленой». Анализ тепло-энергоэффективности выполняется на основании теплотехнического расчета, приведенного в статье [14] и требованиях, изложенных в СП 50.13330.2012 «Тепловая защита зданий. Актуализированная редакция СНиП 23-02-2003».

Основные характеристики здания бизнес-центра представлены в табл.1 и табл.2.

Таблица 1. Характеристики наружных ограждений
 Table 1. Characteristics of outdoor fences

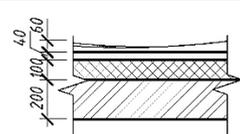
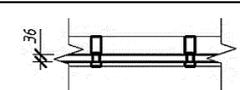
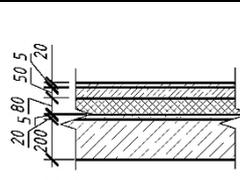
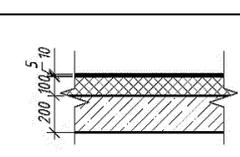
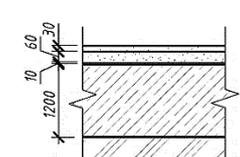
№ п/п	Тип наружной ограждающей конструкции	Схема ограждения	Структура ограждения, считая от наружной поверхности
1	Вентилируемый фасад		<ul style="list-style-type: none"> – Металлические фасадные кассеты, 60 мм; – Воздушная прослойка, 40 мм; – Утеплитель Техновент стандарт минераловатный, 100 мм; – Газобетон, 200 мм
2	Витраж светопрозрачный		<ul style="list-style-type: none"> – Стеклопакет огнестойкий ФотоТех, 36 мм
3	Полы над неотапливаемым подвалом		<ul style="list-style-type: none"> – Керамогранитные плиты, 20 мм; – Плиточный клеевой раствор Ceresit CM 12, 5 мм; – Цементно-песчаная стяжка армированная, 50 мм; – Теплоизоляция ТЕХНОНИКОЛЬ CARBON PROF, 50 мм; – Гидроизоляция гидромат 2D, 5 мм; – Выравнивающая ЦПС, 20мм; – Железобетонная плита, 200 мм.
4	Стены заглубленных помещений		<ul style="list-style-type: none"> – Гидроизоляция гидромат 2D, 10 мм; – Пароизоляция Бентотех АСЛ 100, 5 мм; – Экструзионный пенополистерол Carbon Prof (утеплитель), 100 мм; – Железобетонная стена, 200 мм.
5	Пол по грунту		<ul style="list-style-type: none"> – Альфапол МБ, 30 мм; – Уклонообразующая ЦПС, 60 мм; – Гидроизоляция иидромат 2D, 10 мм. – Железобетонная плита, 1200 мм.

Таблица 2. Площади наружных ограждающих конструкций бизнес-центра
 Table 2. Areas of external enclosing structures of the business center

№ п/п	Тип наружной ограждающей конструкции	Площадь конструкции, A_i , м ²
1	Наружные стены	
1.1	вентилируемый фасад – A_{c1}	4090,77
1.2	стекло-прозрачный фасад – A_{c2}	12645,80
2	Окна, двери на эксплуатируемые кровли – A_o	1837,50
3	Входные наружные двери	
3.1	стекло-прозрачные – A_{d1}	34,02
3.2	металлические – A_{d2}	3,78
4	Покрытие (совмещенное) – A_k	1475,44
5	Перекрытие над неотапливаемым подвалом – A_n	1770,22
6	Полы по грунту – $A_{пол}$	1845,00
6.1	Стены заглубленных помещений – A_{c3}	1438,77
7	Общая площадь ограждающих конструкций – $A_{ок}^{сум}$	25141,3

Высотный бизнес-центр располагается по адресу: г. Санкт-Петербург, Приморский проспект, участок 83, (восточнее пересечения с Яхтенной улицей). На основании СП 50.13330.2012 и СП 131.13330.2020 определены климатические характеристики района строительства, которые представлены в табл.3.

Таблица 3. Климатические характеристики
 Table 3. Climate characteristics

№ п/п	Показатель	Обозначение параметра	Единица измерения	Расчетное значение
1	Расчетная температура внутреннего воздуха для общественного здания	t_b	°С	19
2	Расчетная температура наружного воздуха в холодный период года	t_n	°С	-26
3	Продолжительность отопительного периода для общественного здания	$z_{от}$	сут/год	211
4	Средняя температура наружного воздуха за отопительный период	$t_{от}$	°С	-1,2
5	Градусо-сутки отопительного периода	ГСОП	°С · сут/год	4262,2

Расчет градусо-суток отопительного периода в табл.3 производился по формуле (1):

$$ГСОП = (t_b - t_{от}) \cdot z_{от} \quad (1)$$

Согласно СП 50.13330.2012 и ГОСТ 30494-2011 принимаем условия эксплуатации для ограждающих конструкций категории – Б.

РАСЧЕТ СОПРОТИВЛЕНИЯ ТЕПЛОПЕРЕДАЧЕ

Для расчета сопротивления теплопередаче будем использовать общий подход, основанный на расчете термического сопротивления для многослойных ограждающих конструкций. В соответствии с СП 50.13330.2012, для сложных составных «пирогов» теплозащитной оболочки здания, необходимо учитывать термическое сопротивление каждого слоя системы в отдельности.

Определим сопротивления теплопередаче на примере «зеленой кровли». Теплотехнические характеристики для каждого слоя кровли в отдельности представлены в табл.4.

Таблица 4. Теплотехнические характеристики слоев «зеленой кровли»
 Table 4. Thermal characteristics of the layers of the «green roof»

№ п/п	Материал	Толщина слоя δ , м	Плотность материала ρ , кг/м ³	Коэффициент теплопроводности λ_B , Вт/(м · °С)
1	Субстрат с зелеными насаждениями «Кустарник»	0,3	1400	1,16
2	Дренажные мембраны PLANTER Extra-Geo	0,008	970	0,43
3	Противокорневая пленка Техноэласт Грин	0,004	1250	0,22

№ п/п	Материал	Толщина слоя δ , м	Плотность материала ρ , кг/м ³	Коэффициент теплопроводности λ_B , Вт/(м · °С)
4	Гидроизоляция LOGICBASE V-SL – 2 слоя	0,004	1300	0,19
5	Армированная ЦПС	0,05	1800	0,93
6	Разделительный слой полиэтиленовая пленка	0,0001	940	0,36
7	Уклонообразующий слой из керамзитового гравия	0,04	600	0,19
8	Разделительный слой полиэтиленовая пленка	0,0001	940	0,36
9	Утеплитель экструзионный пенополистирол ТЕХНОНИКОЛЬ CARBON PROF	0,2	45	0,032
10	Железобетонная плита	0,2	2500	2,04

Согласно СП 50.13330.2012 общее сопротивление теплопередаче многослойных ограждающих конструкций с однородными слоями определяется по формуле (2):

$$R_0 = \frac{1}{\alpha_B} + \sum_s R_s + \frac{1}{\alpha_H} \quad (2)$$

Где $\alpha_B = 8,7$ Вт/(м² · °С) – коэффициент теплоотдачи внутренней поверхности ограждающей конструкции (согласно табл.4. СП 50.13330.2012);

$\alpha_H = 23$ Вт/(м² · °С) – коэффициент теплоотдачи наружной поверхности ограждающей конструкции (согласно табл.6. СП 50.13330.2012);

R_s – термическое сопротивление слоя однородной части ограждающей конструкции, (м² · °С)/Вт, определяемое по формуле (3):

$$R_s = \frac{\delta_s}{\lambda_s} \cdot y_s^{y,e} \quad (3)$$

δ_s – толщина слоя, м;

λ_s – расчетная теплопроводность материала слоя, Вт/(м² · °С);

$y_s^{y,e}$ – коэффициент условий эксплуатации материала слоя, доли ед.; принимаем $y_s^{y,e} = 1$ доли ед.

Исходя из формул (2) и (3), получаем общее сопротивление теплопередаче для конструкции «зеленая кровля»:

$$R_0 = \frac{1}{8,7} + \frac{0,3}{1,16} + \frac{0,008}{0,43} + \frac{0,004}{0,22} + \frac{0,004}{0,19} + \frac{0,05}{0,93} + \frac{0,0001}{0,36} + \frac{0,04}{0,19} + \frac{0,0001}{0,36} + \frac{0,2}{0,032} + \frac{0,2}{2,04} + \frac{1}{23} = 7,08 \frac{\text{м}^2 \cdot \text{°С}}{\text{Вт}}$$

Стоит отметить, что в соответствии с СП 50.13330.2012 необходимо учитывать, что приведенное сопротивление теплопередаче применяемой ограждающей конструкции должно быть больше или равно нормируемому значению $R_0^{\text{норм}}$.

Нормируемое значение приведенного сопротивления теплопередаче определяется по формуле (4):

$$R_0^{\text{норм}} = R_0^{\text{ТР}} \cdot m_p \quad (4)$$

где $R_0^{\text{ТР}}$ – базовое значение требуемого сопротивления теплопередаче ограждающей конструкции, м² · °С/Вт, (определяется по табл. 3 СП 50.13330.2012);

m_p – коэффициент, учитывающий особенности региона строительства. В расчете принимается равным 1.

Согласно климатическим характеристикам, представленным в табл.3, значение для величины градусо-суток отопительного периода (ГСОП) отличается от указанных в табл.3 СП 50.13330.2012. В этом случае базовое значение требуемого сопротивления теплопередаче рассчитывается по формуле (5):

$$R_0^{\text{ТР}} = a \cdot \text{ГСОП} + b \quad (5)$$

где ГСОП – градусо-сутки отопительного периода, °С · сут/год;

a , b – коэффициенты, значения которых принимается по табл. 3 СП 50.13330.2012, (м² · °С)/Вт.

Определив все необходимые значения, получаем нормируемое сопротивление теплопередаче по формуле (5) для кровли общественного здания в условиях Санкт-Петербурга:

$$R_0^{\text{норм}} = R_0^{\text{ТР}} = 0,0004 \cdot 4262,2 + 1,6 = 3,305 \text{ (м}^2 \cdot \text{°С)/Вт.}$$

Из сравнения полученного и нормируемого сопротивления теплопередаче «зеленой кровли» делаем вывод, что данная ограждающая конструкция удовлетворяет требованиям в отношении сопротивления теплопередаче (6):

$$R_0^{\text{норм}} < R_0 \quad (6)$$

Далее по аналогии проведем анализ сопротивления теплопередаче «стандартной» конструкции кровли. Состав слоев и теплотехнические характеристики «стандартной» кровли представлены в табл.5.

Таблица 5. Теплотехнические характеристики слоев «стандартной» конструкции кровли
 Table 5. Thermal performance of layers of «standard» roof construction

№ п/п	Материал	Толщина слоя δ , м	Плотность материала ρ , кг/м ³	Коэффициент теплопроводности λ_B , Вт/(м ² ·°С)
1	Техноэласт ЭКП	0,0042	1260	0,22
2	Унифлекс ВЕНТ ЭПВ	0,003	1200	0,22
3	Армированная ЦПС	0,05	1800	0,93
4	Уклонообразующий слой из керамзитового гравия	0,04	600	0,19
5	Разделительный слой из рубероида	0,0005	600	0,17
6	Минераловатный утеплитель ТЕХНОРУФ Н ПРОФ	0,08	120	0,041
7	Минераловатный утеплитель мягкий	0,1	60	0,044
8	Железобетонная плита	0,2	2500	2,04

Стоит отметить, что конструкция стандартной кровли выбиралась из учета возможности использования для высотного здания.

По формулам (2) и (5) определяем общее и нормируемое сопротивление теплопередаче для «стандартного» кровельного покрытия:

$$R_0 = \frac{1}{8,7} + \frac{0,0042}{0,22} + \frac{0,003}{0,22} + \frac{0,05}{0,93} + \frac{0,04}{0,19} + \frac{0,0005}{0,17} + \frac{0,08}{0,041} + \frac{0,1}{0,044} + \frac{0,2}{2,04} + \frac{1}{23} = 4,78 \text{ (м}^2 \cdot \text{°С)/Вт}$$

$$R_0^{\text{норм}} = R_0^{\text{TP}} = 0,0004 \cdot 4262,2 + 1,6 = 3,305 \text{ (м}^2 \cdot \text{°С)/Вт}$$

Как видно из полученных значений, «стандартная» кровля также удовлетворяет требованиям по сопротивлению теплопередаче $R_0^{\text{норм}} < R_0$. Но стоит отметить, что приведённое сопротивление «зеленой кровли» практически в 1,5 раза выше, чем у «стандартного» кровельного покрытия. Это дает право утверждать, что «зеленая кровля» обладает высокими показателями по теплоизоляции.

По описанной выше методике и приведенным формулам (2) и (5) были найдены требуемые и расчетные сопротивления теплопередаче для всех ограждающих конструкций бизнес-центра. Полученные результаты сведены в табл.6.

Таблица 6. Требуемые и расчетные сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций
 Table 6. Required and design resistance to heat transfer of enclosing structures

№ п/п	Тип наружной ограждающей конструкции	Требуемое сопротивление теплопередаче R_i^{TP} , (м ² ·°С)/Вт	Расчетное сопротивление теплопередаче R_i , (м ² ·°С)/Вт
1	Наружные стены		
1.1	Вентилируемый фасад – A_{c1}	2,48	3,44
1.2	Стекло-прозрачный фасад – A_{c2}	0,41	0,69
2	Окна, двери на эксплуатируемые кровли – A_o	0,41	1,1
3	Входные наружные двери		
3.1	стекло-прозрачные – A_{d1}	0,25	0,4
3.2	металлические – A_{d2}	1,48	1,1
4	Покрытие (зеленая кровля) – A_k	3,305	7,08
4.1	Покрытие (типовая кровля) – A_k	3,305	4,78
5	Перекрытие над неотапливаемым подвалом – $A_{п}$	2,79	2,15
6	Полы по грунту – $A_{пол}$	3,305	7,11
6.1	Стены заглубленных помещений – A_{c3}	2,47	3,60

РАСЧЕТ ГОДОВОГО РАСХОДА ТЕПЛОВОЙ ЭНЕРГИИ

Расчет расхода тепловой энергии производится для здания бизнес-центра в первом случае с кровельной конструкцией «зеленая кровля», во втором случае - со «стандартным» кровельным покрытием. Для обоих случаев расчета приняты следующие допущения:

– строительный объем здания, ориентация фасадов по сторонам света и расчетное количество людей, находящихся в бизнес-центре - неизменны;

– воздухообмен и системы вентиляции для здания со «стандартной» и «зеленой кровлей» – одинаковые.

Согласно всем перечисленным и принятым факторам величины бытовых и солнечных теплопоступлений, а также инфильтрационные затраты на отопление будут одинаковыми, поэтому сравнение затрат тепловой энергии на отопление произведем только по показателям потерь тепловой энергии здания через ограждающие конструкции.

Расчет трансмиссионных потерь тепловой энергии на отопление здания бизнес-центра производится согласно прил. Г и прил. Ж СП 50.13330.2012 по формуле (7):

$$Q_{от}^{год} = 0,024 \cdot ГСОП \cdot \sum_i \left(\frac{A_i}{R_i} \cdot n \right) \quad (7)$$

где $Q_{от}^{год}$ – трансмиссионные потери тепловой энергии на отопление, кВт·ч/год;

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

A_i – площадь соответствующего фрагмента (i-го типа) наружной ограждающей конструкции, м;

R_i – приведенное сопротивление теплопередаче фрагмента (i-го типа) наружной ограждающей конструкции, (м²·°C)/Вт;

n – коэффициент, учитывающий зависимость положения наружной поверхности ограждающих конструкций (стен, окон, покрытия и т.п.) по отношению к наружному воздуху (для наружных стен, окон, дверей на эксплуатируемую кровлю, совмещенного покрытия, перекрытий над проездами коэффициент n принимается равным 1).

Согласно СП 50.13330.2012 для помещений, в которых отличается внутренняя или наружная температура от принятых в расчете ГСОП, коэффициент n определяется по формуле (8):

$$n = \frac{t_{в}^* - t_{от}^*}{t_{в} - t_{от}} \quad (8)$$

где $t_{в}^*$, $t_{от}^*$ – средняя температура внутреннего и наружного воздуха для данного помещения, °C;

$t_{от}$ – средняя температура наружного воздуха, °C;

$t_{в}$ – расчетная температура внутреннего воздуха здания, °C.

По проекту подвальные помещения не отапливаются, поэтому они не входят в отапливаемый объем здания. В среднем за отопительный период температура воздуха в подвале составляет 8 °C.

Тогда коэффициент, учитывающий отличие внутренней температуры подвала от температуры наружного воздуха, по формуле (8) составляет:

$$n = \frac{t_{в} - t_{под}}{t_{в} - t_{от}} = \frac{19 - 8}{19 - (-1,2)} = 0,544$$

По формуле (7) рассчитаем потери тепловой энергии через ограждающие конструкции за отопительный период для высотного здания бизнес-центра с применением технологии «зеленая кровля» и для этого же здания со «стандартным» кровельным покрытием.

Для бизнес-центра с «зеленой кровлей»:

$$Q_{от1}^{год} = 0,024 \cdot ГСОП \cdot \left(\frac{4090,77}{3,44} + \frac{12645,80}{0,69} + \frac{1837,50}{1,1} + \frac{34,02}{0,4} + \frac{3,78}{1,1} + \frac{1475,44}{7,08} + \frac{1770,22}{2,15} + \frac{1845,00}{7,11} \cdot 0,544 + \frac{1438,77}{3,60} \cdot 0,544 \right) = 2318537,60 \text{ (кВт} \cdot \text{ч/год)}$$

Для бизнес-центра со «стандартной» кровлей:

$$Q_{от2}^{год} = 0,024 \cdot ГСОП \cdot \left(\frac{4090,77}{3,44} + \frac{12645,80}{0,69} + \frac{1837,50}{1,1} + \frac{34,02}{0,4} + \frac{3,78}{1,1} + \frac{1475,44}{4,78} + \frac{1770,22}{2,15} + \frac{1845,00}{7,11} \cdot 0,544 + \frac{1438,77}{3,60} \cdot 0,544 \right) = 2328794,91 \text{ (кВт} \cdot \text{ч/год)}$$

Разница расходов тепловой энергии на отопление здания с двумя различными покрытиями составляет:

$$Q_{от}^{год} = Q_{от2}^{год} - Q_{от1}^{год} = 2328794,91 - 2318537,6 = 10257,31 \text{ (кВт} \cdot \text{ч/год)} = 8,82 \text{ Гкал/год.}$$

Для перевода из кВт·ч/год в Гкал/год используется коэффициент пересчета:

$$1 \text{ (кВт} \cdot \text{ч/год)} = 86 \cdot 10^{-5} \text{ Гкал/год.}$$

Сравним экономические затраты на отопление высотного здания бизнес-центра с ранее описанными типами кровельных конструкций. В соответствии с Распоряжение Комитета по тарифам Санкт-Петербурга от 20.12.2021 № 221-р, стоимость 1 Гкал (на 1 полугодие 2022) для Санкт-Петербурга равна 1784,87 руб. Путем умножения данной величины на годовые потери тепловой энергии,

рассчитанные в течение одного отопительного периода, получим экономические затраты на отопление. Результаты расчета годовых затрат тепловой энергии приведены в табл.7.

Таблица 7. Годовые затраты тепловой энергии за отопительный период
 Table 7. Annual costs of heat energy for the heating period

№ п/п	Наружные ограждающие конструкции здания	Годовой расход тепловой энергии через наружные ограждающие конструкции, $Q_{от}^{год}$		Затраты тепловой энергии на отопление здания руб./год
		кВт·ч/год	Гкал/год	
1	Бизнес-центр с применением «Зеленой кровли»	2318537,60	1993,94	3558927,86
2	Бизнес-центр с применением типовой кровли	2328794,91	2002,76	3574672,70
	Разница результатов	10257,31	8,82	15744,84

Проанализировав полученные результаты годовых расходов $Q_{от1}^{год}$ и затраты на отопление тепловой энергии из табл.7 отметим, что использование технологии «зеленая» кровля не только сокращает расход тепловой энергии за один отопительный период, но и уменьшает экономические расходы на отопление.

Для рассматриваемого высотного здания бизнес-центра экономические затраты на отопление при «стандартном» кровельном покрытии превышают затраты на использование технологии «зеленая кровля» на 15744,84 руб.

ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИИ «ЗЕЛЕНАЯ КРОВЛЯ» В СТРОИТЕЛЬСТВЕ

Для анализа целесообразности применения технологии «зеленая кровля» помимо высотного бизнес-центра рассмотрим здание химико-биологической школы на 408 учеников при следующих допущениях:

- наружные решения ограждающих конструкций, применяемые в здании школы аналогичны ограждающим конструкциям бизнес-центра;
- сравнение энергоэффективности происходит за счет замены «стандартного» покрытия на «зеленую кровлю»; покрытия «стандартной» и «зеленой» кровли аналогичны применяемым в бизнес-центре и имеют те же значения расчетного сопротивления теплопередаче;
- расчет затрат тепловой энергии на отопление производится только по показателям тепловых потерь через ограждающие конструкции;
- здание располагается в г. Санкт-Петербург.

Для начала определим площадь наружных ограждающих конструкций школы и рассчитаем сопротивление теплопередаче (табл.8).

Таблица 8. Площадь наружных ограждающих конструкций школы и расчетное сопротивление теплопередаче
 Table 8. The area of the outer enclosing structures of the school and the design resistance to heat transfer

№ п/п	Тип наружной ограждающей конструкции	Площадь конструкции, A_i , м ²	Расчетное сопротивление теплопередаче R_i , (м ² ·°C)/Вт
1	Наружные стены: вентилируемый фасад – A_{c1}	4913,3	3,44
2	Окна – A_o	1055,7	1,1
3	Входные наружные двери металлические – $A_{д2}$	46,20	1,1
4	Покрытие «стандартное» – A_k	5579,38	4,78
5	Перекрытие над неотапливаемым подвалом – A_p	5458,12	2,15
6	Полы по грунту – $A_{пол}$	5458,12	7,11
6.1	Стены заглубленных помещений – $A_{сз}$	1798,54	3,60
7	Общая площадь ограждающих конструкций – $A_{ок}^{сум}$	24309,36	-

Далее рассчитаем потери тепловой энергии через ограждающие конструкции за отопительный период согласно формуле (7) для школы с применением технологии «зеленая кровля» и для этого же здания со «стандартным» кровельным покрытием. Расчеты сведем в табл.9.

Таблица 8. Годовые затраты тепловой энергии за отопительный период
 Table 8. Annual costs of heat energy for the heating period

№ п/п	Наружные ограждающие конструкции здания	Годовой расход тепловой энергии через наружные ограждающие конструкции, $Q_{от}^{год}$		Затраты тепловой энергии на отопление здания руб./год
		кВт·ч/год	Гкал/год	
1	Школа с применением «Зеленой кровли»	659390,79	567,08	1012157,08
2	Школа с применением типовой кровли	698178,82	600,43	1071696,25
	Разница результатов	38788,03	33,36	59539,16

На основании произведенного расчета, можно сделать вывод что использование «зеленой кровли» для здания химико-биологической школы сократит затраты на отопление на 59539,16 руб./год. Данная выгода напрямую связана с площадью кровельного покрытия. Как правило, основными источниками теплопотерь являются стены и кровля здания. Поэтому при анализе влияния площади покрытия на энергоэффективность зданий будем учитывать отношение площади покрытий кровли к площади ограждающих стен.

Согласно значениям, представленным в табл.8, наблюдается превышение площади кровельного покрытия школы над площадью стен практически в 1,2 раза, в то время как площадь кровли бизнес-центра в 11,3 раза меньше площади наружных ограждающих конструкций (табл.9).

Таблица 9. Сопоставление затрат на отопление в зависимости от отношения площади покрытия к площади ограждающих стен
 Table 9. Comparison of heating costs depending on the ratio of the coverage area to the area of the enclosing walls

№ п/п	Наружные ограждающие конструкции здания	Площади покрытия	Площадь ограждающих стен	Отношение площади покрытия к площади ограждающих стен, γ	Уменьшение затрат тепловой энергии на отопление здания
		м ²	м ²	м ²	руб./год
1	Бизнес-центр с применением «зеленой кровли»	1475,44	16736,57	0,088	15744,84
2	Школа с применением «зеленой кровли»	5579,38	4913,3	1,136	59539,16

Исходя из полученных результатов можно сделать вывод, что экономическая выгода применения технологии зеленая кровля, зависит от площади покрытия: чем больше значение отношения площади кровли к площади ограждающих стен, тем меньше затрат на отопление здания (рис.1).

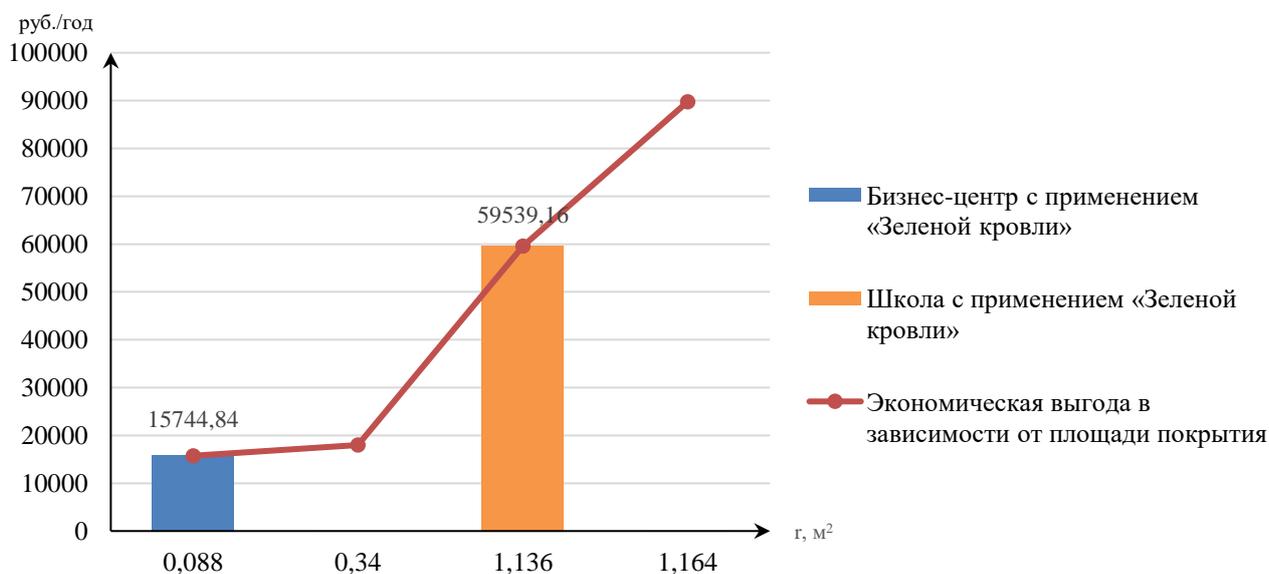


Рис. 1. Экономическая выгода на отопление зданий в зависимости от отношения площади покрытия к площади ограждающих стен

Fig. 1. Benefits for heating buildings depending on the ratio of the coverage area to the area of the enclosing walls

Приведенная диаграмма наглядно доказывает, что наиболее выгодными зданиями и сооружениями для применения технологии озеленения кровель являются строения, в которых площадь кровельных покрытий больше площади ограждающих стен.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основе проведенного анализа можно сделать вывод о том, что «зеленая кровля» обладает целым рядом преимуществ, но ключевыми и более значимыми являются энергоэффективность и экологичность. За счет толщины и теплотехнических показателей «пирога» кровли, озеленённое кровельное покрытие снижает теплопотери через внешние ограждающие покрытия, а значит и сокращает затраты на охлаждение и отопление, тем самым увеличивая энергоэффективность здания.

По результатам оценки энергоэффективности применения технологии «зеленая кровля» на примере высотного бизнес-центра можно сделать вывод о том, что данная конструкция уменьшает экономические затраты на отопление и сокращает расход тепловой энергии за один отопительный период за счет высокого сопротивления теплопередаче «зеленого» кровельного настила, который в 1,5 раза превышает сопротивление теплопередаче «стандартной» конструкции кровли.

Разница между «стандартной» кровельной конструкцией и «зеленой кровлей» в затратах на отопление составила 15744,84 руб., что с первого взгляда может показаться не столь существенным, но так как для расчетного примера было принято высотное здание, в котором площадь ограждающих светопрозрачных и вентилируемых конструкций с меньшим значением сопротивления теплопередаче превышает площадь кровельных покрытий практически в 11,3 раза, данное значение снижения экономических затрат немаловажно.

Также на примере теплотехнического расчета химико-биологической школы было доказано, что экономическая выгода напрямую зависит от отношения площади покрытия к площади ограждающих наружных стен. Экономическая выгода применения озеленения кровли для здания школы составила 59539,16 руб.

Таким образом, применение «зеленой кровли» способно в разы снизить теплопотери через ограждающие конструкции, улучшить экологическую ситуацию мегаполисов, повлиять на качество жизни людей [15-17].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Копылова А.И. Экономическая целесообразность применения зеленых кровель при реконструкции зданий // AlfaBuild. 2017. № 2 (2). С. 18-22. EDN: YEYVFR
2. Король Е.А., Шушунова Н.С. Организационно-технологическое моделирование процессов устройства кровельных покрытий с модульной системой озеленения // Вестник МГСУ. 2019. Т. 14. № 2 (125). С. 250-261. DOI: 10.22227/1997-0935.2019.2.250-261 EDN: YXZHRJ
3. Долотказина Н.С., Поташова М.Д. Экологичная архитектура. Региональные природные материалы в «зеленом» строительстве // Инженерно-строительный вестник Прикаспия. 2017. № 1 (19). С. 18-24. EDN: YLIIWL
4. Донов Д.И., Терех М.Д. Ключевые показатели и методы оценки качества зеленой инфраструктуры городов России // В сборнике: неделя науки ИСИ. Сборник материалов Всероссийской конференции. 2022. С. 379-382. EDN: IOSXAW
5. Саматова В.М., Гамаюнова О.С. Энергетическая эффективность зданий с применением технологии «зеленая кровля» // Инженерные исследования. 2021. № 4 (4). С. 24-32. EDN: WFWTKM
6. Глазунова А.В. Экоархитектура и вертикальное озеленение // Вестник Кыргызско-Российского Славянского университета. 2018. Т. 18. № 8. С. 69-73. EDN: YOTOSL
7. Гаевская З.А., Михайловская Л.А. Обзор современных программных средств автоматизации ранней стадии проектирования зданий // В сборнике: Строительство и реконструкция. Сборник научных статей 4-й Всероссийской научно-практической конференции молодых ученых, аспирантов, магистров и бакалавров. Курск, 2022. С. 245-253. DOI: 10.47581/2022/PGS-17/Mixailovskay.01 EDN: IABFLA
8. Ковалева А.А., Наумович Ю.И. Повышение энергоэффективности зданий при реконструкции // Наука. Техника. Технологии (политехнический вестник). 2022. № 1. С. 129-132. EDN: RTHNNG
9. Демешева А.А., Городишенина А.Ю., Заводнова Е.Б. Энергоэффективность зданий с применением «зеленой кровли» // В сборнике: НЕДЕЛЯ НАУКИ ИСИ. Сборник материалов Всероссийской конференции. 2022. С. 174-176. EDN: DLRZPR
10. Гурбатов Р.И. Техничко-экономическое обоснование технологической многофункциональности крыш зданий повышенной этажности // Современные фундаментальные и прикладные исследования. 2018. № 4 (31). С. 14-19. EDN: MNXJYT
11. Скинкайте Ю.О., Василенко А.Н. Анализ и оценка экономической эффективности использования эксплуатируемых кровель // Студент и наука. 2019. № 1. С. 95-101. EDN: ZDJDBZ

12. Zubarev K., Gagarin V. Heat and moisture transfer in building enclosing structures // Lecture Notes in Networks and Systems. 2022. Т. 247. С. 257-266. DOI: 10.1007/978-3-030-80946-1_26 EDN: HSLOOO

13. Gagarin V.G., Akhmetov V.K., Zubarev K.P. Graphical method for determination of maximum wetting plane position in enclosing structures of buildings // В сборнике: IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. International Science and Technology Conference «FarEastCon 2019». 2020. С. 022046. DOI: 10.1088/1757-899X/753/2/022046 EDN: МССАНН

14. 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. DOI: 10.18720/CUBS.49.2 EDN: YGHSJF

15. Маковецкая-Абрамова О.В., Некрасов Д.И., Лунева С.К. Новые технологии в решении экологических проблем мегаполиса // В сборнике: Инновационные технологии и вопросы обеспечения безопасности реальной экономики. Сборник научных трудов по итогам Всероссийской научно-практической конференции. Под редакцией Г.В. Лепеша, О.Д. Угольниковой, С.Ю. Александровой. 2020. С. 198-204. EDN: ЕРТІСН

16. Теличенко В.И., Бенуж А.А., Мочалов И.В., Богачев А.В. Апробация требований к устройству «зеленых» крыш в городской застройке // Промышленное и гражданское строительство. 2021. № 9. С. 12-17. DOI: 10.33622/0869-7019.2021.09.12-17 EDN: GDNKSH

17. Шушунова Н.С. Анализ технологических параметров при устройстве инверсионных кровельных покрытий с озеленением // Вестник МГСУ. 2018. Т. 13. № 3 (114). С. 349-355. DOI: 10.22227/1997-0935.2018.3.349-355 EDN: YWQSDU

ОБ АВТОРАХ

Валерия Маратовна Саматова – студентка бакалавриата. Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого (СПбПУ). 195251, Россия, г. Санкт-Петербург, ул. Политехническая, д.29. E-mail: lera.samatova.20@gmail.com

Ольга Сергеевна Гамаюнова – к.т.н., доцент Высшей школы промышленно-гражданского и дорожного строительства. Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого (СПбПУ). 195251, Россия, г. Санкт-Петербург, ул. Политехническая, д.29. E-mail: gamayunova_os@spbstu.ru

ABOUT THE AUTHORS

Valeria M. Samatova – bachelor's student. Peter the Great St.Petersburg Polytechnic University (SPbPU). 195251, Russia, St.Petersburg, Polytechnicheskaya st., 29. E-mail: lera.samatova.20@gmail.com

Olga S. Gamayunova – Ph.D., Associate Professor of the Higher School of Industrial, Civil and Road Construction. Peter the Great St.Petersburg Polytechnic University (SPbPU). 195251, Russia, St.Petersburg, Polytechnicheskaya st., 29. E-mail: gamayunova_os@spbstu.ru