

УДК 692.4

АРХИТЕКТУРА «ЗЕЛЕННЫХ» КРЫШ И ИХ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТЬ

Е.Д. Чернова, О.С. Гамаюнова

*Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого,
г. Санкт-Петербург (Российская Федерация)*

Аннотация. Все большую популярность приобретают эксплуатируемые инверсионные кровли, которые позволяют рационально использовать пространство в условиях современного города: здесь можно расположить автостоянки, пешеходные зоны, зеленые площадки. В статье рассматривается вопрос использования озеленения крыш в городах, анализируется их влияние на энергоэффективность зданий и сооружений, разбираются положительные и отрицательные стороны, приводятся различные виды «зелёных» крыш, исследуется возможность решения экологических проблем с помощью «зеленых» кровель. С помощью теплотехнического расчета показано, что рассмотренные в статье конструкции «традиционной» и «зеленой» кровель не соответствуют требованиям по тепловой защите зданий. Для повышения энергоэффективности ограждающих кровельных конструкций предложено использовать теплоизоляционный материал «Пеноплэкс Кровля». Дополнительные расчеты показали, что, для достижения значений, необходимых для обеспечения нормативных требований по тепловой защите зданий и сооружений, потребуется 0,03 м утеплителя для устройства «зеленой» кровли и 0,08 м для «традиционной» кровли.

Ключевые слова: крыши, кровли, «зелёные» кровли, экология, энергоэффективность, энергозатраты, теплотехнический расчет, утеплитель, теплоизоляционный материал.

Ссылка для цитирования: Чернова Е.Д., Гамаюнова О.С. Архитектура «зеленых» крыш и их энергоэффективность // Инженерные исследования. 2023. №2 (12). С. 33-41. EDN: VRZYPZ

ARCHITECTURE OF GREEN ROOFS AND THEIR ENERGY EFFICIENCY

E.D. Chernova, O.S. Gamayunova

Peter the Great St.Petersburg Polytechnic University, St.Petersburg (Russian Federation)

Abstract. Operable inversion roofs are becoming increasingly popular, which allow rational use of space in a modern city: parking lots, pedestrian zones, and green areas can be located here. The article examines the issue of using green roofs in cities, analyzes their impact on the energy efficiency of buildings and structures, examines the positive and negative aspects, presents various types of “green” roofs, and explores the possibility of solving environmental problems with the help of “green” roofs. Using thermal engineering calculations, it is shown that the designs of “traditional” and “green” roofs discussed in the article do not meet the requirements for thermal protection of buildings. To increase the energy efficiency of enclosing roof structures, it is proposed to use the thermal insulation material “Penoplex Roofing”. Additional calculations have shown that, in order to achieve the values necessary to meet regulatory requirements for thermal protection of buildings and structures, 0.03 m of insulation will be required for a “green” roof and 0.08 m for a “traditional” roof.

Keywords: roofs, green roofs, ecology, energy efficiency, energy costs, thermal engineering calculations, insulation, thermal insulation material.

For citation: Chernova E.D., Gamayunova O.S. Architecture of green roofs and their energy efficiency // Inzhenernyye issledovaniya [Engineering Research]. 2023. No.2 (12). Pp. 33-41. EDN: VRZYPZ

ВВЕДЕНИЕ

Озеленение кровли – прекрасное решение для организации пространства как для отдыха, так и для работы, улучшения городской экологии и снижения энергозатрат конкретного здания. «Зеленые» крыши (рис.1.) могут быть прекрасной альтернативой перегруженным общественным пространствам (паркам, пляжам и бульварам). Растения на крышах могут не только улучшить качество воздуха, но и снизить вероятность протечек и количество ливневых стоков, сохраняя лишнюю влагу на самой крыше [1-5].

Современная методика озеленения крыш появились в Германии в 1960-х годах, а позже распространялась по разным странам. В некоторых европейских странах, включая Германию, Швейцарию, Нидерланды, Норвегию, Италию, Австрию, Венгрию, Швецию, Великобританию и Грецию, даже существуют ассоциации, которые активно продвигают концепцию «зеленых» крыш.



Рис. 1. Газон на крыше дома в Сиднее, Австралия. Вид на мост Харбор-Бридж¹
Fig. 1. Lawn on the roof of a house in Sydney, Australia. View of the Harbor Bridge

Целый ряд статей посвящен изучению российского опыта устройства зеленых кровель [6-8]. Однако результаты исследования, приведенные в статье Кадысейвой А.А., Максимовой С.В., Сидоренко О.В. и Миронова В.В., показали, что по количеству теплых дней и объему дождевых вод наиболее благоприятные федеральные округа для устройства «зеленых» кровель – это Центральный и Дальневосточный [6]. Астрахань и Оренбург - регионы, в которых самое малое количество осадков, здесь строительство «зеленых» кровель будет неэффективно из-за необходимости дополнительного полива. В остальных регионах необходимо с особой осторожностью подходить к проектированию и строительству зеленых кровель, так как есть риск гибели растений из-за недостатка влаги или заморозков.

Отдельный интерес представляют научные публикации, где авторы используют различные математические методы и модели применительно к изучению «зеленых» кровель. Так, например, Егоров А.Н. и Тугушев А.А. применяют математические модели для оценки вариантов устройства инверсионных кровель. В исследовании разработаны математические модели трех систематизированных групп возведения инверсионных кровель (на опорах, без опор и кровли-паркинга) по трем укрупненным критериям: технологичность, эффективность использования ресурсов и экологичность [9].

Сысоева Е.В., Гельманова М.О., Слесарев М.Ю. приводят методику обоснования эффективности улавливания пыли «зелеными» крышами, которая имеет практическую значимость и может быть использована при различных градостроительных сценариях, когда необходимо численно оценить эффективность применения «зеленой» крыши на том или ином здании по критерию обеспечения экологической безопасности. [10],

В публикациях [11-16] авторы исследуют влияние «зеленой» кровли на энергоэффективность зданий и сооружений. Корниенко С.В. представил новый взгляд на энергосбережение в производственных зданиях [12, 13]. Автор обосновал необходимость внедрения современных конкурентоспособных импортозамещающих технологий, а также систематизировал градостроительные, архитектурно-конструктивные и инженерно-технические решения производственных зданий, нацеленные на поддержание экологического баланса в окружающей среде.

¹ Самые красивые дома [Электронный ресурс]. – URL: https://ru.beautiful-houses.net/2016/03/blog-post_13.html (дата обращения: 05.06.2023)

В статье [14] авторы привели расчеты энергоэффективности общественных зданий с применением технологии «зеленая» кровля. С помощью теплотехнического расчета на примере высотного бизнес-центра был сделан вывод о том, что «зеленая» кровля способна сократить затраты на отопление в 1,5 раза по сравнению со «стандартной» конструкцией кровли. Дополнительные расчеты показали, что экономическая выгода напрямую зависит от отношения площади покрытия к площади ограждающих наружных стен.

ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ И ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ПРЕДПОСЫЛКИ УСТРОЙСТВА «ЗЕЛЕННЫХ» КРОВЕЛЬ

Недостаток площадей для озеленения мегаполисов требует пересмотра традиционных взглядов на кровлю как на гидроизоляционный слой, защищающий здание от атмосферных осадков. Сильное загрязнение воздуха и его прогревание в летний период, а также неустойчивая экономика – все это стало предпосылками для более широкого использования «зеленых» кровель в нашей стране.

Сильное прогревание воздуха летом.

В центре Москвы и в некоторых других районах города ощущается нехватка зелёных зон. При норме на одного человека в 16 кв.м, в районе Арбата этот показатель составляет 1,86 кв.м. Жара ощущается сильнее в таких районах, а плотная застройка не позволяет создавать новые зеленые зоны.

В Санкт-Петербурге еще несколько лет назад Комитету по градостроительству и архитектуре была поставлена задача подготовить обновленный расчет обеспеченности скверами районов перспективной застройки. Такие расчеты обеспеченности районов города зелеными зонами уже делались. В открытых источниках можно найти карту (рис.2), составленную на основе данных закона о зеленых насаждениях по обеспеченности и закона о зеленых насаждениях общего пользования (ЗНОП).

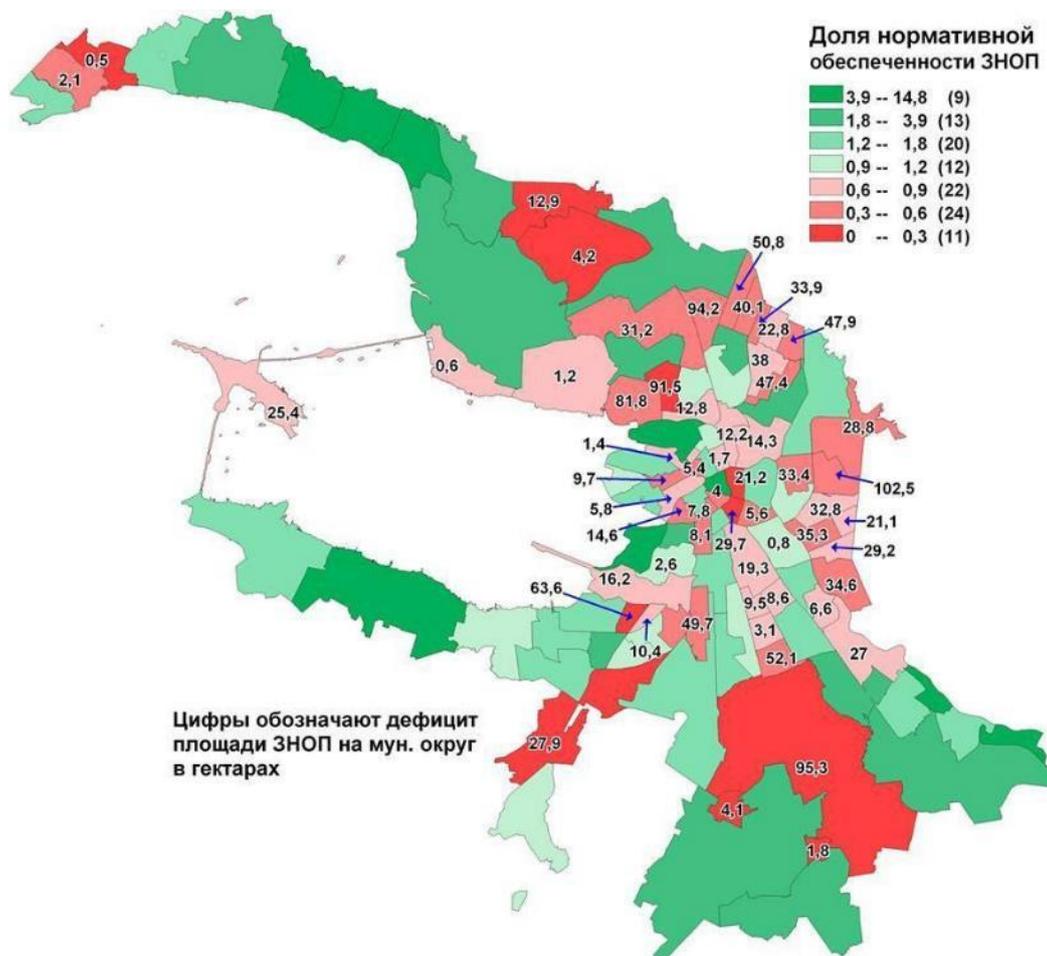


Рис. 2. Обеспеченность зелеными насаждениями общего пользования в г. Санкт-Петербург²
Fig. 2. Provision of public green spaces in St. Petersburg

² КГА подготовит расчет обеспеченности скверами районов перспективной застройки [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.fontanka.ru/2018/04/13/157/> (дата обращения: 05.06.2023)

Загрязнение воздуха.

Плотная городская застройка приводит к неправильной конвекции воздуха, ухудшает его качество и приводит к образованию смога. Расходы на энергию для охлаждения и очистку воздуха в помещении также увеличиваются.

Зеленые крыши поглощают часть городского шума и углекислого газа, а также могут снизить температуру по городу на 1-2 градуса. С увеличением площадей «зеленых» кровель эффект усиливается.

В Санкт-Петербурге автомобильные выхлопы выбрасывают в воздух около 500 000 тонн токсичной грязи (рис.3). Здесь это 85% от общего количества выбросов отходов этого города России.



Рис. 3. Загрязнение воздуха в Санкт-Петербурге³
Fig. 3. Air pollution in St. Petersburg

Неустойчивая экономика.

Устойчивое развитие городской экономики зависит от развития малого и среднего бизнеса. На крыше с озеленением можно открыть ресторан, спортивную или игровую площадку, студию йоги или небольшую библиотеку – всё это новые бизнес-возможности.

Кроме того, «зеленые» крыши снижают расходы на теплоизоляцию ограждающих конструкций, а дождевую воду можно собирать в резервуары для орошения или других технических нужд. Помимо защиты от погодных и климатических воздействий, «зеленые» крыши сохраняются в несколько раз дольше обычных.

ВИДЫ «ЗЕЛЁНЫХ» КРЫШ

В зависимости от глубины субстрата выделяют три основных типа «зеленых» крыш [17]: экстенсивный, полуинтенсивный и интенсивный (рис.4, рис.5).



Рис. 4. Зеленые крыши и их виды: а – кровля экстенсивного типа; б – кровля интенсивного типа⁴
Fig. 4. Green roofs and their types: a – extensive type roofing; b – intensive type roofing

³ Список самых загрязненных городов России [Электронный ресурс]. – URL: <https://ecoblogger.ru/samye-zagryaznennye-goroda-rossii/> (дата обращения: 05.06.2023)

⁴ Зеленые крыши и их виды [Электронный ресурс]. – URL: <https://7dach.ru/FrolovaEkaterina/zelenye-kryshi-i-ih-vidy-127875.html> (дата обращения: 05.06.2023)

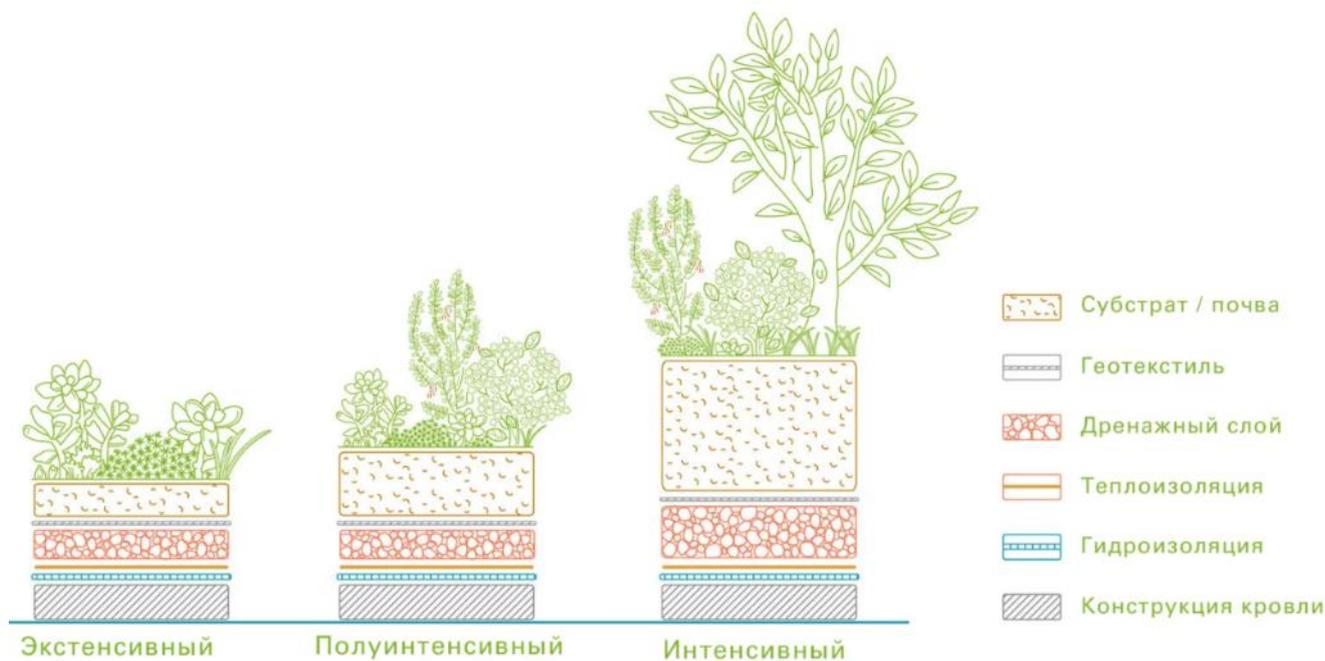


Рис. 5. Виды «зеленых» кровель⁵
Fig. 5. Types of green roofs

Экстенсивные кровли - самый простой вариант - предполагают создание почти автономной экосистемы с относительно тонким слоем дерна, а также простейших растений, не требующих специального ухода. Средний вес такой крыши обычно 20-35 кг/м², а толщина почвы – 5-15 см.

Интенсивные - гораздо дороже и сложнее. Они предполагают организацию целых садов с возможностью постоянного присутствия людей на крыше. Это, в свою очередь, означает, что основу необходимо значительно укрепить - минимальный слой основания земли для интенсивной «зеленой» крыши составляет 1 м, а вес может достигать 700 кг/м². В результате на таких эксплуатируемых крышах высаживаются небольшие деревья, не говоря уже о кустарниках и других небольших видах растений. Уникальный внешний вид в результате компенсирует любые усилия по дополнительному проектированию, укреплению здания, разработке и установке ирригационных систем.

Конструктивное различие между интенсивной крышей и экстенсивной крышей, как правило, заключается во взаимном расположении утеплителя и гидроизоляции: у интенсивной – гидроизоляция находится под утеплителем; у экстенсивной – наоборот.

ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ «ЗЕЛЁНЫХ» КРОВЕЛЬ

Проведем сравнительный теплотехнический расчет «традиционного» кровельного покрытия и «зеленой» кровли в соответствии с требованиями СП 50.1330.2012 «Тепловая защита зданий» и СП 131.13330.2020 «Строительная климатология» для жилого дома в климатических условиях г. Санкт-Петербурга. Характеристики кровельных материалов представлены в табл. 1 [18].

Градусо-сутки отопительного периода (ГСОП) определяются по формуле (1):

$$ГСОП = (t_{в} - t_{от}) z_{от}, \quad (1)$$

где: $t_{в}$ - расчетная температура внутреннего воздуха здания, °С;

$t_{от}$, $z_{от}$ - средняя температура наружного воздуха, °С, и продолжительность, сут/год, отопительного периода, принимаемые по СП 131.13330.2020 для жилых и общественных зданий для периода со среднесуточной температурой наружного воздуха не более 8°С.

$$ГСОП = (20 - (-1,2)) \cdot 211 = 4473 \text{ °С} \cdot \text{сут/год}$$

⁵ Зачем Москве зеленые кровли [Электронный ресурс]. – URL: <https://media.strelka-kb.com/green-roof> (дата обращения: 05.06.2023)

Таблица 1. Теплофизические характеристики материала слоев «традиционной» и «зеленой» кровли [18]
Table 1. Thermophysical characteristics of the material of the «traditional» and «green» roof layers

№ слоя	Материал	Толщина слоя (δ), м	Коэффициент теплопроводности (λ), Вт/(м ² ·°С)	Конструкция
Покрытие «зеленой» кровли				
1	Монолитная ж/б плита перекрытия	0,2	1,92	
2	Пергамин на мастике	0,005	0,17	
3	Дренажная мембрана	0,0085	0,251	
4	Грунт (торф)	0,3	0,1	
Традиционное кровельное покрытие				
1	Железобетонное основание	0,2	1,92	
2	Пергамин на мастике	0,005	0,17	
3	Минераловатная плита	0,07	0,052	
4	Цементно-песчаный раствор	0,02	0,76	
5	Изопласт ЭКП-5.0 2 слоя 8 мм	0,008	0,17	

Требуемое сопротивление теплопередаче (R_0^{TP}) определяется по формуле (2):

$$R_0^{TP} = a \cdot \text{ГСОП} + b, \quad (2)$$

где a и b - коэффициенты, значения которых следует принимать по данным табл.3 СП 50.13330.2012 для соответствующих групп зданий, за исключением графы 6, для группы зданий в строках 1 и 2.

$$R_0^{TP} = 0,0005 \cdot 4473 + 2,2 = 4,4 \text{ (м}^2 \cdot \text{°С)/Вт}$$

Нормируемое сопротивление теплопередаче ($R_0^{\text{норм}}$) определяется по формуле (3):

$$R_0^{\text{норм}} = R_0^{TP} m_p, \quad (3)$$

где: m_p - коэффициент, учитывающий особенности региона строительства (в соответствии с СП 50.13330.2012 значения коэффициента m_p принимается равным 1).

$$R_0^{\text{норм}} = 4,4 \cdot 1 = 4,4 \text{ (м}^2 \cdot \text{°С)/Вт}$$

Термическое сопротивление конструкции (R_0) определяется по формуле (4):

$$R_0 = R_{\text{int}} + \sum_{i=1}^K R_i + R_{\text{ext}}, \quad (4)$$

где: R_{int} - термическое сопротивление на внутренней поверхности стеновой конструкции;

R_{ext} - термическое сопротивление на внешней поверхности стеновой конструкции;

K – количество слоев ограждения;

R_i - термическое сопротивление i -го слоя ограждающей конструкции, $i = \overline{1, K}$.

Термическое сопротивление на внутренней поверхности стеновой конструкции (R_{int}) рассчитывается по формуле (5):

$$R_{\text{int}} = \frac{1}{\alpha_{\text{int}}}, \quad (5)$$

где: α_{int} – коэффициент теплопередачи внутренней поверхности ограждающей конструкции, назначаемый с использованием СНиП 23-02-2003 «Тепловая защита зданий».

Термическое сопротивление на внешней поверхности ограждающей конструкции (R_{ext}) рассчитывается по формуле (6):

$$R_{ext} = \frac{1}{\alpha_{ext}} \quad (6)$$

где: α_{ext} – коэффициент теплопередачи внешней поверхности ограждающей конструкции, назначаемый с использованием СНиП 23-02-2003 «Тепловая защита зданий».

С учетом данных, приведенных в табл.1, термическое сопротивление «традиционной» кровельной конструкции будет равно:

$$R_0 = R_{int} + \sum_{i=1}^K R_i + R_{ext} = \frac{1}{8,7} + \frac{0,2}{1,92} + \frac{0,005}{0,17} + \frac{0,07}{0,052} + \frac{0,02}{0,76} + \frac{0,008}{0,17} + \frac{1}{12} = 1,75 \text{ (м}^2 \cdot \text{°C)/Вт}$$

Термическое сопротивление «зеленой» кровли, соответственно, будет равно:

$$R_0 = R_{int} + \sum_{i=1}^K R_i + R_{ext} = \frac{1}{8,7} + \frac{0,2}{1,92} + \frac{0,005}{0,17} + \frac{0,0085}{0,251} + \frac{0,3}{0,1} + \frac{1}{12} = 3,37 \text{ (м}^2 \cdot \text{°C)/Вт}$$

Полученные расчеты показывают, что рассмотренные конструкции «традиционной» и «зеленой» кровель не соответствуют требованиям по тепловой защите зданий, т.к. в обоих случаях $R_0 < R_0^{норм}$, однако так же, как и для ограждающих стеновых конструкций возможно подобрать теплоизоляционный материал, с помощью которого энергоэффективность кровли будет выше полученных значений.

Так, например, в качестве утеплителя для любых типов кровель отлично подойдет «Пеноплэкс Кровля» (табл.2), состоящий из экструдированного пенополистирола (XPS). Материал не нуждается в дополнительной защите от влаги, устойчив к нагрузке в виде снега.

Таблица 2. Теплофизические характеристики утеплителя «Пеноплэкс Кровля»⁶
Table 2. Thermophysical characteristics of Penoplex Roof insulation

№	Показатель	Значение
1	Размеры, мм	1185x585x50
2	Коэффициент теплопроводности, Вт/(м·°C)	0,032
3	Прочность на сжатие (МПа)	0,25
4	Группа горючести	Нормальногорючие (Г3)
5	Плотность, кг/м ³	26-34
6	Средняя цена за 1 м ² , руб.	544

На основании методики, представленной в работе [14], для достижения значений, необходимых для обеспечения нормативных требований по тепловой защите зданий и сооружений, потребуется 0,03 м утеплителя «Пеноплэкс Кровля» для устройства «зеленой» кровли и 0,08 м для «традиционной» кровли.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

«Зеленые» кровли имеют ряд практических преимуществ по сравнению с «традиционными» кровлями: снижение теплотерь в зданиях, улучшение экологии города, увеличение срока службы гидроизоляционных слоев кровли, шумоподавление и т.д. К недостаткам «зеленых» крыш можно отнести стоимость возведения и обслуживания, необходимость контроля состояния крыши во время эксплуатации, а также потребность в кровельщиках специальной квалификации при проведении ремонтных работ на «зеленой» крыше.

Кроме того, отсутствие нормативных требований и методик проектирования «зеленых» крыш затрудняет широкое практическое применение экологически безопасных энергоэффективных, ресурсосберегающих строительных систем и технологий. Поэтому требуется разработка правил проектирования тепловой защиты зеленых крыш и представление их в действующих нормативных документах [12].

⁶ Утеплитель Пеноплэкс Кровля [Электронный ресурс]. – URL: https://tskdiplomat.ru/catalog/izolyatsionnye_materialy/heat_insulation/extruded_penopolisteroll_xps/penopleks_krovlya_1185kh585kh50.html (дата обращения: 12.06.2023)

Тем не менее, расчеты, представленные в работе, показали, что «зеленые» кровли имеют более высокий уровень энергетической эффективности, чем крыши с «традиционным» покрытием. Вместе с тем, оба рассмотренных в статье варианта устройства кровель не соответствуют требуемым значениям сопротивления передаче ограждающих конструкций, что возможно исправить добавлением слоя теплоизоляционного материала.

Экономическую оценку предлагаемых решений возможно сделать лишь на основании полных затрат на возведение, утепление и обслуживание обоих вариантов кровель, особенно, с учетом того, что технические характеристики кровельного «пирога» меняются в зависимости от региона, климата, типа здания, дизайна, выбора растений и т.д. [2, 19-21].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Сысоева Е.В., Богачев А.В. Влияние «зеленых» крыш на снижение ливневых стоков // Биосферная совместимость: человек, регион, технологии. 2023. № 2(42). С. 81-89. DOI 10.21869/2311-1518-2023-42-2-81-89. EDN ELQCOQ.
2. Каретникова С. В. «Зеленые» крыши как часть «живой» архитектуры // Промышленное и гражданское строительство. 2019. № 5. С. 14-19. DOI 10.33622/0869-7019.2019.05.14-19. EDN QANACG.
3. Маковецкая-Абрамова О.В., Некрасов Д.И., Лунова 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: EPTICH
4. 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.
5. 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: MCCAHN
6. Кадысева А.А., Максимова С.В., Сидоренко О.В., Миронов В.В. Зеленые крыши: перспективы развития в России с учетом атмосферных осадков // Вестник евразийской науки. 2023. Т. 15, № 2. EDN SMXKIO.
7. Демьшева 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.
8. Саматова В.М., Гамаюнова О. С. Энергетическая эффективность зданий с применением технологии «зеленая кровля» // Инженерные исследования. 2021. № 4(4). С. 24-32. EDN WFWTKM.
9. Егоров А.Н., Тугушев А. А. Разработка математических моделей оценки вариантов устройства инверсионных кровель // Инженерный вестник Дона. 2023. № 3(99). С. 361-370. EDN DRACGW.
10. Сысоева Е.В., Гельманова М.О., Слесарев М.Ю. Методика обоснования эффективности улавливания пыли «зелеными» крышами // Вестник МГСУ. 2022. Т. 17, № 9. С. 1187-1205. DOI 10.22227/1997-0935.2022.9.1187-1205. EDN NTHCCB.
11. Копылова А.И., Богомоллова 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.
12. Корниенко С.В., Гончаров С.В. Строительство зеленых крыш: проблемы теплозащиты // Социология города. 2020. № 3. С. 62-70. EDN UWUGLT
13. Корниенко С.В. Новый взгляд на энергосбережение в производственных зданиях // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2022. № 3(88). С. 138-147. EDN AYOZTO.
14. Саматова В.М., Гамаюнова О.С. Энергоэффективность общественных зданий с применением технологии «зеленая кровля» // Инженерные исследования. 2022. № 3(8). С. 20-29. EDN ALXIDF.
15. Шатунова Л.А. Использование зеленых кровель для повышения энергоэффективности здания. Российский опыт // Международный журнал информационных технологий и энергоэффективности. 2023. Т. 8, № 1(27). С. 136-139. EDN PUTWWY.
16. Донова 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
17. Сысоева Е.В., Москвитина Л.В. Эффективность применения «зеленых» крыш на территории России // Инновации и инвестиции. 2021. № 10. С. 251-259.
18. Шубина В.А. Влияние зеленых кровель на энергоэффективность зданий // Молодой ученый. 2023. №25(472). С. 72-75. EDN JFZVZW.
19. Копылова А.И. Экономическая целесообразность применения зеленых кровель при реконструкции зданий // AlfaBuild. 2017. № 2 (2). С. 18-22. EDN: YEYVFR.

20. 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/Mixailovskaya.01 EDN: IABFLA

21. Гаевская З.А. Принципы ресурсосбережения в строительстве и архитектуре // Ресурсосбережение и экология строительных материалов, изделий и конструкций: сборник научных трудов 3-й Международной научно-практической конференции, Курск, 01 октября 2020 / Юго-Западный государственный университет. Курск: Юго-Западный государственный университет, 2020. С. 40-41. EDN ZBSZJK.

ОБ АВТОРАХ

Екатерина Дмитриевна Чернова – студент. Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого (СПбПУ). 195251, Россия, г. Санкт-Петербург, ул. Политехническая, д.29. E-mail: EDChernova@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

Ekaterina D. Chernova – student. Peter the Great St.Petersburg Polytechnic University (SPbPU). 195251, Russia, St.Petersburg, Polytechnicheskaya st., 29. E-mail: EDChernova@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