

УДК 692.4

СЫСОЕВА Е.В., ГЕЛЬМАНОВА М.О.

ИССЛЕДОВАНИЕ ЗЕЛеной КРОВЛИ В ПОКРЫТИЯХ ЗДАНИЙ ОБЩЕСТВЕННОГО НАЗНАЧЕНИЯ

Статья посвящена решению задач повышения энергоэффективности, безопасности и экологичности селитебной территории при помощи устройства «зеленой кровли» на покрытиях зданий общественного назначения. В условиях сильной загазованности городов и загрязненности окружающей среды, проблем эффективного использования энергетических ресурсов возникает необходимость в применении экологических и технологических систем как метода решения названных выше задач. Коротко представлена история развития эксплуатируемых зеленых кровель и ее эволюция за последние три десятилетия. Представлены результаты и сравнение теплотехнического расчета зданий общественного назначения в двух возможных вариантах: неэксплуатируемой утепленной кровли и эксплуатируемой «зеленой кровли» для двух реализованных проектов зданий в Москве. Показана целесообразность применения технологии «зеленой кровли» в городах для сохранения климата города, здоровья и длительной трудоспособности горожан.

Ключевые слова: зеленая кровля, энергоэффективность, покрытие зданий, эксплуатируемая кровля.

1. История применения зеленых эксплуатируемых кровель для зданий общественного назначения

Последние три десятилетия наблюдается стремительное нарастание темпов технологического развития и, как следствие, увеличение загрязнённости городской среды и вредного воздействия на человека. В связи с этим появилась необходимость в строительстве, нацеленном на принципах экологической устойчивости, безопасности и энергоэффективности, которые лежат в основе устойчивого развития. Это понятие впервые возникло на конференции ООН в Стокгольме в 1972 году, по итогам которой была создана Международная комиссия по окружающей среде и развитию (МКОСР). Введенное комиссией понятие базируется на обеспечении удовлетворения потребностей современного поколения без нанесения вреда последующим поколениям.

Нахождение альтернативных способов получения природных ресурсов и экономия существующих являются глобальными проблемами современного мира.

В России устойчивость определяется запасом природных ресурсов, которые являются ограниченными и возобновляются гораздо медленнее развития технологий, их рациональным использованием и обеспечением достойного качества жизни людей [1].

Как следствие, с 2009 года вопрос рационального энергопотребления становится одним из приоритетных для России. С этого момента появляются федеральные законы [2,3], которые направлены на создание необходимых условий для снижения энергетических расходов к 2020 году на 40%.

Проблема высокого энергетического потребления при эксплуатации зданий и сооружений привела к развитию и совершенствованию энергосберегающих технологий. Одним из возможных путей решения является устройство зеленой кровли в покрытиях зданий общественного назначения [4].

Одним из важных условий создания комфортной городской среды в крупных мегаполисах является восстановление озелененных территорий. За последние 15 лет Москва потеряла 750 га растительности, что приводит к нарушению экологического баланса города и ухудшению качества жизни местного населения.

Обеспеченность зелеными насаждениями селитебной территории для Москвы недостаточна. Причем распределение ее неравномерно — в периферийных районах этот показатель

достигает 50 м/чел., а в центре города всего 1,5-2 м/чел. При общей площади зеленых насаждений в Москве 27,5 тыс. га четвертая их часть сосредоточена в ВАО (25,7 %), а наименьшая - в ЦАО (3,2 %) [5].

Таким образом, задачей современных инженеров и архитекторов является не только проектирование зданий с такими характеристиками, которые позволят сэкономить энергопотребление, но и сохранить потерянные зеленые насаждения на территории строительства или реконструкции для повышения уровня комфортного проживания человека в мегаполисах.

В центральных частях крупных городов процент зданий общественного назначения может достигать 90% и более. Площадь общественных зон примерно составляет 212,19 км² из 1070 км² (общей площади Москвы до расширения территории в 2011г.). При учете транспортных связей, на долю которых приходится около 3% территории (6,37 км²), общая площадь общественных функциональных зон города Москвы снизится до 205,82 км², что составляет 19,24%.

При этом в центральных частях Москвы в пределах Садового кольца площадь, занимаемая общественными зонами, примерно равна 18,2 км² из 18,5 км², а при учете транспортных связей – 17,65 км². Как следствие, концентрация общественных функциональных зон центральной части Москвы достигает 95,40 %, что существенно уменьшает возможность расположения парковых зон.

Интуитивное понимание человека в необходимости сохранения энергетических ресурсов строящихся городов привело к использованию кровель с покрытием из земляного покрова, травы, кустарников и даже деревьев еще в I веке до н.э. Сады Семирамиды, построенные примерно в 600 году до н.э., послужили ярким примером применения растительности на кровле. Еще одним примером использования зеленой кровли был Мавзолей Августа в Риме (28 г. до н.э.), вокруг которого располагалась терраса с выходом на крышу с вечно зелеными кипарисами.

Зеленые крыши стали появляться и в других уголках цивилизации. Например, в Норвегии и в Дании на Фарерских островах еще с древних пор начинают строить крыши, покрытые дерном и цветами (рисунок 1, рисунок 2).



*Рисунок 1 - Применение дерновой крыши в конструкции дома, Норвегия
(Источник: <http://masterok.livejournal.com/1021339.html>)*



*Рисунок 2 - Применение дерновой крыши в конструкции дома, Дания
(Источник: samonrye.com)*

Осознанное использование зеленых кровель началось после введения понятия устойчивого развития и началом работы над нормативной документацией.

В 90-х годах XX столетия были созданы международные системы сертификации энергоэффективных зданий: BREEAM (Building Research Establishment Environmental Assessment Method) – метод оценки экологической эффективности зданий, разработанный в 1990 году британской компанией BRE Global и LEED (The Leadership in Energy & Environmental Design) – рейтинговая система оценки объектов зеленого строительства, разработанная Советом по архитектуре и строительству зеленых зданий в США (Green Building Council (USGBC) с 1993 года. Для внедрения экологических систем в строительную отрасль на международный рынок

в 2002г. был создан Всемирный совет по экологическому строительству (World Green Building Council), в который с 2009г. вошёл Российский совет по экологическому строительству (RuGBC).

Примеры с применением технологического решения «зеленая кровля» встречаются во всем мире. Самая большая зеленая кровля в мире площадью более 1 га, засаженная почти 2млн. растений, находится на уникальном здании Калифорнийской Академии наук, построенном к 2008 году (рисунок 3). Кровля имеет множество полезных функций: термо- и звукоизоляцию, сбор дождевой воды и т. д. Уникальность зеленой части этой крыши состоит в особой конструкции покрытия, в которой находится дренажно-накопительный элемент Флорадрейн FD 40, регулирующий отток воды и накапливающий необходимое для растений количество влаги. За свою уникальность и соответствие принципам устойчивого развития зданию Калифорнийской Академии наук присвоили платиновый сертификат «экологической устойчивости» LEED.



а) Главный вид



б) Вид сверху

Рисунок 3 - Зеленая кровля в здании Калифорнийской Академии наук, США, 2008г. (Источник: <http://alt-energy.org.ua/kalifornijskaya-akademiya-nauk-san-francisko-shtat-kaliforniya/>)

Зданием с нулевым потреблением энергии и углеродной нейтральностью является построенный в 2011 году в канадском Ванкувере Посетительский центр ботанического сада VanDusen. Данный центр является образцом использования собственных возобновляемых источников энергии (рисунок 4).



Рисунок 4 - Зеленая кровля Посетительского центра ботанического сада VanDusen, Канада, 2011г. (Источник: <https://archi.ru/projects/world/10316/posetitel'skii-centr-botanicheskogo-sada-vandusen/>)



Рисунок 5 - Зеленая кровля общественного центра Таюаньцзюй в Чунцине, Китай, 2015г. (Источник: <https://archi.ru/world/66404/arkhitektura-kotoroi-net>)

Еще одним примером использования теплоизоляционных свойств зеленых крыш является здание общественного центра Таюаньцзюй в Чунцине в Китае. Зеленая кровля располагается по периметру всего здания и объединяет друг с другом три объема, отличающиеся между собой разными функциональными характеристиками. Таким образом, помимо энер-

гоэффективности здания создается эстетически и экологически комфортная среда, в которой данная композиция мимикрирует с окружающим пространством (рисунок 5).

2. Теоретические исследования при расчете зеленых кровель зданий общественно-го назначения

Для сравнительного расчета взяты два типа кровли: интенсивная и экстенсивная (таблица 1) [7].

Таблица 1 - Основные сравнительные характеристики неэксплуатируемых и эксплуатируемых кровель

Сравнительные характеристики	Интенсивная кровля (эксплуатируемая)	Экстенсивная кровля (неэксплуатируемая)
1.Толщина слоя почвы	0,2...0,6 м	0,07...0,15 м
2.Растительность	Растения, деревья, кустарники, корневая система которых должна находиться в пределах заданной по проекту высоты субстрата	Только растения с горизонтальной корневой системой (обусловлено небольшой высотой субстрата)
3.Использование	Предполагается частое пребывание людей на крыше	Предполагается очень редкое пребывание людей на крыше
4.Оградительные конструкции	Парапет высотой не менее 1,2 м	Оградительные конструкции не обязательны
5.Эксплуатация	Высокий уровень обслуживания и ухода	Простота обслуживания и ухода
6. Устройство	Разрабатывается на этапе проектирования здания (требуется расчет по нагрузкам)	Может разрабатываться как на этапе проектирования здания, так и после во время эксплуатации

2.1. Теоретические исследования при расчете «зеленой кровли» здания многофункционального центра по адресу: г. Москва, пересечение Новоясеневского проспекта и Профсоюзной улицы

Используемая в здании многослойная система покрытия №1 представлена слоями: профнастил, пароизоляция Технониколь, минераловатный утеплитель ТЕХНОРУФ Н30 ($\delta=50\text{мм}$), уклонообразующий слой ТЕХНОРУФ Н30 КЛИН ($\delta=40\text{мм}$), плиты теплоизоляционные PIR с типом покрытия фольга ($\delta=50\text{мм}$), полимерная мембрана LOGICROOFV-RP.

После изменения покрытия №1 в многослойную систему покрытия №2 состав слоев будет иметь вид: профнастил, пароизоляция Технониколь, минераловатный утеплитель ТЕХНОРУФ Н30 ($\delta=50\text{мм}$), уклонообразующий слой ТЕХНОРУФ Н30 КЛИН ($\delta=40\text{мм}$), плиты теплоизоляционные PIR с типом покрытия фольга ($\delta=50\text{мм}$), техноэласт ФИКС, техноэласт ГРИН, полиэтиленовая пленка, PLANTER-life, почвенный субстрат ($\delta=300\text{мм}$), растительность.

По результатам сравнительного теплотехнического расчета неэксплуатируемого покрытия №1 и того же покрытия, реорганизованного в неэксплуатируемую «зеленую кровлю» с добавлением новых необходимых слоев и изменением (демонтажом) прежних (покрытие №2) [6], значение приведённого сопротивления теплопередаче покрытия соответствует нормативным требованиям теплозащиты ограждающих конструкций (больше $R_{0,кр}^{mp} = 3,34 \frac{\text{м}^2 \cdot \text{С}^\circ}{\text{Вт}}$) и с учетом неоднородности слоев и сопротивлений тепловосприятия и теплоотдачи составляет для покрытия №1: $R_{w1}^r = 4,12 \frac{\text{м}^2 \cdot \text{С}^\circ}{\text{Вт}}$, для покрытия №2 $R_{w2}^r = 4,35 \frac{\text{м}^2 \cdot \text{С}^\circ}{\text{Вт}}$, что больше величины приведённого сопротивления теплопередаче покрытия №1 [7, 8,]. Следовательно, применение слоя почвенного субстрата с коэффициентом теплопроводности $\lambda_B = 1,16 \frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot \text{С}^\circ}$ по технологии

«зеленая кровля» в многослойной системе покрытия привело не только к увеличению приведенного сопротивления на $0,23 \frac{m^2 \cdot C^\circ}{Bm}$, но и увеличению энергоэффективности здания на 5,6%.

2.2. Теоретические исследования при расчете «зеленой кровли» здания центра подготовки специалистов по адресу: г. Тула, Щегловская засека, 59

Крыша в здании запроектирована плоская, перекрывается балочными и ферменными металлическими конструкциями.

Покрытие кровли №3 состоит из слоев: балочные (ферменные) металлоконструкции покрытия с уклоном, монолитная ж/б плита из бетона класса В25 по профнастилу Н75-750-0,8 ($\delta=150mm$), пароизоляция из полиэтиленовой пленки, минераловатный утеплитель Rockwool ($\delta=200mm$), пароизоляция из армированной полиэтиленовой пленки, армированная цементно-песчаная стяжка по уклону ($\delta=50mm$), слой гидроизоляции «Унифлекс».

После реорганизации покрытия №3 покрытие №4 будет состоять из следующих слоев: балочные (ферменные) металлоконструкции покрытия с уклоном, монолитная ж/б плита из бетона класса В25 по профнастилу Н75-750-0,8 ($\delta=150mm$), пароизоляция из полиэтиленовой пленки, минераловатный утеплитель Rockwool ($\delta=200mm$), техноэласт ФИКС, техноэласт ГРИН, полиэтиленовая пленка, PLANTER-life, почвенный субстрат ($\delta=200mm$), растительность.

Коэффициент теплопроводности слоя λ для г. Тулы принимался исходя из условий эксплуатации ограждающих конструкций по типу Б (нормальная зона влажности и нормальный влажностный режим помещений).

Исходя из результатов сравнительного теплотехнического расчета неэксплуатируемого покрытия №3 и того же покрытия, реорганизованного в неэксплуатируемую «зеленую кровлю» (покрытие №4), видно, что приведенное сопротивление теплопередаче (с учетом неоднородности слоев и сопротивлений тепловосприятия и теплоотдачи) покрытия №4 больше, чем в покрытии №3 $R_{w4}^r = 4,29 \frac{m^2 \cdot C^\circ}{Bm} > R_{w3}^r = 4,07 \frac{m^2 \cdot C^\circ}{Bm}$, т.е. увеличение приведенного сопротивления теплопередаче составляет $0,22 \frac{m^2 \cdot C^\circ}{Bm}$, что соответствует 5,4%. Это говорит об эффективности применения технологии "зеленая кровля" для покрытия зданий общественного назначения.

Таким образом, можно выявить определенную зависимость в покрытиях зданий при устройстве «зеленой кровли»: при увеличении толщины почвенного слоя наблюдается увеличение численного значения приведённого сопротивления теплопередаче, т.е. увеличивается теплозащита здания. Следовательно, при рассмотрении эксплуатируемой зеленой кровли значение приведенного сопротивления теплопередаче будет гораздо выше, чем в неэксплуатируемой зеленой кровле из-за требуемой большей толщины субстрата ($0,2-0,6m > 0,07-0,15m$). При использовании зеленой кровли возможно снижение экономических затрат в случае уменьшения толщины утеплителя.

Сравнив результаты расчетов для покрытий на двух описанных выше примерах, можно сделать вывод, что реорганизация многослойной конструкции покрытия в «зеленую кровлю» позволяет увеличить сопротивление теплопередаче более, чем на 5 % в зависимости от состава и теплотехнических свойств первоначальных слоев покрытия зданий общественного назначения, что приводит к увеличению энергоэффективности здания и снижению экономических затрат благодаря уменьшению толщины утеплителя.

Выводы

Использование зеленых кровель позволяет:

1. Увеличить энергоэффективность здания, что приведет к уменьшению затрат на отопление здания благодаря дополнительному утеплению кровель и стен.

Власти Чикаго подсчитали, что «если озеленить все крыши в городе, где позволяет конструкция зданий, то это приносило бы в городской бюджет около 100 млн. долларов в год благодаря экономии электроэнергии в размере около 720 млн. В».

2. Увеличить возможную площадь для эксплуатации покрытий зданий, т.е. увеличить процент возможного использования площади покрытий для Москвы по общественным зданиям (плоские кровли – как эксплуатируемые, остальные – зеленые неэксплуатируемые).

3. Увеличить пространство с зелеными насаждениями, что сохранит экологическое состояние (абсорбирование вредных веществ, восстановление баланса влажности атмосферы) и кислородный баланс города (поглощение углекислого газа, выделение кислорода).

4. Даже при холодном климате Москвы и Санкт-Петербурга возможно применение устойчивых к холодам многолетних растений (почво-покровные, рулонные газоны и летники, низкорослые кустарники и даже низкорослые деревья).

5. Увеличить пространство для пребывания на открытом воздухе во время посещения торговых, досуговых и многофункциональных центров.

6. Численность птиц может увеличиться благодаря восстановленному зеленому покрову с достаточной площадью, что приведет к возвращению птиц в города. Пример: численность черной горихвостки (редкий вид птиц) восстановлена благодаря созданию зеленых крыш в Лондоне конце 1970-х годов /10/.

7. Уменьшить температуру воздуха на поверхности кровли [9].

8. Создать акустический барьер от транспортного шума.

9. Улучшить психологическое состояние населения мегаполиса [10].

10. Улучшить здоровье человека в крупных городах, что приведет к увеличению продолжительности жизни и увеличит трудоспособный возраст горожан [11].

По итогам приведенного анализа можно сделать вывод об эффективности и целесообразности применения технологии «зеленая кровля» в покрытиях зданий общественного назначения в мегаполисах [12].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Принципы преобразования города в биосферосовместимый и развивающий человека / В.А. Ильичев, С.Г., Емельянов, В.И. Колчунов, В.А. Гордон, Н.В. Бакаева. - М.: АСВ, 2015. – 184 с.
2. Федеральный закон "Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации" от 23.11.2009 N 261-ФЗ.
3. Федеральный закон "Технический регламент о безопасности зданий и сооружений" от 30.12.2009 N 384-ФЗ.
4. Копылова А.И. Энергетическая эффективность здания с применением технологии «зеленая кровля» / Копылова А.И., Богомолова А.К., Немова Д.В. // «Строительство уникальных зданий и сооружений».- 2016.-10 (49).- с. 20-34.
5. Анализ динамики сокращения зеленых насаждений в г. Москва на основе данных дистанционного зондирования. М.: Greenpace, 2014. – 8 с.
6. Руководство по проектированию и устройству эксплуатируемых кровель с зелеными насаждениями с применением материала с усиленной защитой от прорастания корневых систем растений Техноэласт ГРИН производства Компании ТехноНИКОЛЬ разработано ООО ТехноНИКОЛЬ.М., 2004, http://www.infosait.ru/norma_doc/54/54681/
7. СП 131.13330.2012. Строительная климатология. Актуализированная версия. СНиП 23-01-99*. М., 2012. с. 184.
8. СП 50.13330.2012 Тепловая защита зданий. Актуализированная редакция СНиП 23-02-2003. М., 2013. с. 100.
9. KarachaliouP., SantamourisM., PangalouH. 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.
10. Российская академия наук. Изменение окружающей среды и климата: Природные и связанные с ними техногенные катастрофы. Главный редактор, академик Н.П. Лавёров. Москва, ИГЕМ РАН, 2007.

11. Ильичев В.А. Может ли город быть биосферосовместимым и развивать человека? «Архитектура и строительство Москвы». – 2009.-№ 2. с.8-13.
12. <http://greenevolution.ru/2014/10/01/vertikalnye-zelenye-sady-v-avstralii/>

Сысоева Елена Владимировна

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет" (НИУ МГСУ)

Кандидат технических наук, доцент кафедры проектирования зданий и сооружений

E-mail: sev4279@yandex.ru

Гельманова Маргарита Олеговна

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет" (НИУ МГСУ)

магистрант 2 года обучения, кафедра проектирования зданий и сооружений,

E-mail: margo.gelmanova@yandex.ru

SYSOEVA E.V., GELMANOVA M.O.

PRINCIPLES OF SUSTAINABLE DEVELOPMENT WHEN DESIGNING «GREEN ROOF» ON PUBLIC BUILDINGS ROOFS

The article is devoted to solve problems of energy efficiency, ecological safety with the using of green roof on the surface of public buildings. In conditions of strong pollution in cities and environmental pollution, problems of efficient use of energy resources there is great necessity of an application of environmental and technological systems arises as a method of solving these problems. Briefly the history of exploited green roofs and its evolution over the last three decades is presented. The results and comparison of thermal analysis of buildings for public use in two options: cold-insulated roof and operated "green roofs" for two completed projects of buildings in Moscow are presented. The article presents a comparative thermal computation of community building roofs in two options: an insulated unexploited roof and an exploited green roof. The expediency of application of "green roofs" technology in cities for preserving stability climate of the city for health and long-term employability of citizens is shown..

Keywords: green roof, energy efficiency, community building roof, operated roof.

REFERENCES

1. Principi preobrazovaniya goroda v biosferosovmestimii i razvivayuschii cheloveka/ V. A. Il'ichev, S. G. Emelyanov, V. I. Kolchunov, V. A. Gordon, N. V. Bakaeva. – М.: ASV, 2015, s. 192.
2. Federal'nyj zakon "Ob energosberezhenii i o povyshenii energeticheskoy effektivnosti i o vnesenii izmenenij v otdel'nye zakonodatel'nye akty Rossijskoj Federacii" ot 23.11.2009 N 261-FZ.
3. Federal'nyj zakon "Tekhnicheskij reglament o bezopasnosti zdaniy i sooruzhenij" ot 30.12.2009 N 384-FZ.
4. Kopylova A. I. Energeticheskaya effektivnost' zdaniya s primeneniem tekhnologii «zelenaya krovlya»/ Kopylova A. I. Bogomolova A. K., Nemova D. V. // «Stroitel'stvo unikal'nyh zdaniy i sooruzhenij». - 2016.-10 (49), s. 20-34.
5. Analiz dinamiki sokrashcheniya zelenyh nasazhdenij v g. Moskva na osnove dannyh distancionnogo zondirovaniya. М.: Greenpace, 2014. – 8 s.
6. Rukovodstvo po proektirovaniyu i ustrojstvu ekspluatiruemyh krovel' s zelenymi nasazhdeniyami s primeneniem materiala s usilennoj zashchitoj ot prorastaniya kornevyh sistem rastenij Tekhnoehlast GRIN proizvodstva Kompanii TekhnoNIKOL' razrabotano ООО TekhnoNIKOL', 2004. Internet-resurs: http://www.infosait.ru/norma_doc/54/54681/
7. SP 131.13330.2012 Stroitel'naya klimatologiya. Aktualizirovannay redaktsiy. SNiP 23-01-99*. М., 2012. s. 184.
8. SP 50.13330.2012 Teplovaya zashchita zdaniy. . Aktualizirovannay redaktsiy. SNiP 23-02-2003. М., 2013. s. 100.
9. 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.

10. Rossiiskaya akademiya nauk. Izmenenie okrujayuschei sredi i klimata: Prirodnie i svyazannie s nimi tehnogennye katastrofi. Glavnii redactor, akademik N.P. Laverov. Moskva_ IGEM RAN, 2007.
11. Il'ichev V.A. Mozhet li gorod byt' biosferosovmestimym i razvivat' cheloveka? «Arhitektura i stroitel'stvo Moskvy». – 2009.-№ 2. с.8-13.
12. <http://greenevolution.ru/2014/10/01/vertikalnye-zelenye-sady-v-avstralii/>

Sysoeva E.V.

Federal state budget educational institution of higher education «Moscow State University of civil engineering (National Research University)" (NIU MGSU)

Ph.D, AssociateProfessorof Department of civil and structural design,

E-mail: sev4279@yandex.ru

Gelmanova M.O.

Federal state budget educational institution of higher education «Moscow State University of civil engineering (National Research University)" (NIUMGSU)

master studentof the 2d year of training, Department of civil and structural design,

E-mail: margo.gelmanova@yandex.ru