

Устройство зеленой кровли как способ повышения экологической безопасности окружающей среды при реконструкции и строительстве

С.Е. Манжилевская, А.В. Грибанов

Донской государственный технический университет, Ростов-на-Дону

Аннотация: В данной статье рассматриваются новые технологические решения по монтажу конструкций зеленой кровли. Разработанные технологии направлены на решения задач по повышению экологической безопасности строительного производства, повышению уровня комфортности городской среды, улучшению градостроительного облика. Конструкции зеленой кровли рассматриваются как способ снижения концентрации пылевого загрязнения и его распространения, в том числе от строительного производства путем внедрения данной технологии в проектирование и строительство жилых микрорайонов, где идет поэтапный ввод объектов в эксплуатацию и жители заселенных уже домов испытывают воздействия загрязнения от строящихся по соседству объектов. В статье подробно представлены характеристики двух разработанных конструкций зеленой кровли, которые можно применять как в проектировании и строительстве новых объектов, так и при реконструкции существующих зданий, описаны технологии устройства, выполнен расчет себестоимости монтажа. Данные технологические решения позволяют экономить затраты труда при проведении строительных работ, за счет снижения роста заболеваемости рабочих и соответственно снижения себестоимости строительных работ.

Ключевые слова: экологическая безопасность, зеленая кровля, фитоэкология, защита атмосферного воздуха, экология в строительстве, пылеподавление, оседание пыли, строительство в стесненных условиях, кровля, система озеленения.

Практика строительства зданий с монтажом конструкций зеленой кровли не является новшеством, как и использование природных ресурсов в проектировании для поддержания здоровой окружающей среды и здоровья населения, а также способ регенерации природных ресурсов. В последние годы термин "зеленая кровля" приобрел экологическое и социальное значение. Этот термин стал определением способа сокращения атмосферного загрязнения городской среды и максимального использования городских земель [1]. Уже доказано [2-5], что конструкции и устройство зеленой кровли являются способом борьбы с загрязнением воздуха мелкодисперсной пылью $PM_{0,5}$ - PM_{10} (particle matter) без расширения санитарно-защитной зоны на территориях стесненной городской застройки.

Соответственно, застройщикам, уполномоченным органам по градостроительству, архитекторам, следует рассматривать конструкции зеленой кровли и их применение как неотъемлемый элемент практики устойчивого экологически безопасного строительства. Совсем недавно многие европейские города утвердили внедрение систем зеленых крыш, как стандартную практику в проектировании жилых микрорайонов. Даже без законодательного подкрепления, архитекторы и подрядчики, руководствуясь личной волей и желаниями застройщиков и заказчиков, успешно построили множество зданий с применением конструкций зеленой кровли, как систем управления ливневыми стоками, очищения атмосферного воздуха и как комфортные, доступные, открытые пространства в стесненных условиях города [6]. Этому способствовал проведенный анализ использования территорий и площадей, которые подвергаются устройству обычных кровельных покрытий и асфальтированию, подсчет площади одновременно застраиваемых территорий, где строительные процессы образуют загрязнение окружающей среды, особенно частицами мелкой фракции $PM_{0,5}$ - PM_{10} , с которыми сложно бороться и их суммарное количество в воздухе городской среды пагубно воздействует на организмы людей [7-8]. По мере того, как возрастают объемы гражданского строительства, особенно жилого домостроения и реконструкции старого фонда города, растет необходимость в максимальном использовании ограниченных природных ресурсов и расширении функционала их использования. Одна из многих стратегий пополнения наших уменьшающихся ресурсов, внедрения рациональных способов борьбы со строительной пылью вокруг уже существующих жилых кварталов и улучшения качества жизни населения - это применение экономичных, функциональных конструктивных решений в обустройстве эксплуатируемой зеленой кровли. На текущий момент необходимо обеспечить достаточный, комплексный, системный подход к пониманию,

проектированию, и строительству зеленой крыши в городской среде. Данная статья направлена на решение следующих вопросов:

- расширить понимание пагубных последствий, которые имеют обычные крыши для окружающей среды;
- обосновать потребность во внедрении конструкций зеленой кровли в проектирование и строительство зданий для повышения экологической безопасности окружающей среды и здоровья человека и предложить инновационные решения, которые изменят восприятие, внешний вид и использование крыш в нашей природной и культурной средах;
- определить экологические, социальные и экономические выгоды от переустройства существующих конструкций;
- предоставить детальное представление об их проектировании, строительстве и техническом обслуживании.

Традиционные кровельные системы – наклонные и плоские, представляют собой, в общем, покрытие или верхнюю часть монтажной конструкции, которая удерживает нежелательные погодные элементы снаружи и помогает поддерживать наиболее комфортные условия температурного и шумового режима внутри здания. С момента начала внедрения такого конструктивного элемента в строительство природные материалы, такие, как листья, солома, дерн сменились шифером, черепицей, асфальтовым покрытием, ЭПДМ (этил-пропилен-диеновый мономер) мембранами. Современные системы зеленой кровли с новыми энергоэффективными, низкобюджетными материалами также возвращаются на рассмотрение при технико-экономическом обосновании проектных решений будущего здания [9]. Оба вида стандартных конструктивных решений имеют значительный недостаток – эти крыши становятся необычайно горячими под прямыми солнечными лучами, особенно в летнее время. Изменение температуры поверхности крыши может варьироваться

более чем на 70 градусов с утра до полудня. На плоских крышах прирост тепла более сильный, потому что вся крыша постоянно открыта солнцу. Тем не менее, эти конструкции типизированы, просты в монтаже по сравнению с нестандартными вариантами. В условиях совершенствования технологий строительного производства и способов снижения экологической нагрузки от увеличивающегося в масштабах градостроительного комплекса технологии устройства систем зеленой кровли должны стать конкурентным вариантом при выборе проектных решений и дополнять стандартные конструкции, так как реализации их в проектировании и строительстве станут решениями сразу многих задач:

1. Повышения экологической безопасности. Конструкции зеленой кровли рассматриваются, как способ снижения концентрации пылевого загрязнения и его распространения, в том числе от строительного производства путем внедрения данной технологии в проектирование и строительство жилых микрорайонов, где идет поэтапный ввод объектов в эксплуатацию и жители заселенных уже домов испытывают воздействие загрязнения от строящихся по соседству объектов;

2. Социально-экономические задачи. Использование современных технологий своего времени могут позволить построить красивые сады, зоны отдыха на крыше, и других местах, что позволит улучшить комфортность среды обитания жилищных комплексов и отдельно стоящих зданий при компактности и стесненности городской застройки, где каждому квадратному метру определена строго отведенная функция для снижения затрат на производства работ с сохранением качества выполнения, увеличить площади благоустройства территории жилых зданий, что является немаловажным фактором при выборе места жительства городского населения и конкурентным среди застройщиков;

3. Градостроительные задачи. Применение в строительном производстве зеленой кровли улучшает архитектурный облик города, позволяет восполнять природные ресурсы, увеличивает площади озеленения городской территории, поглощает тепло и превращает места ее использования в полноценные платформы для спортивной, культурной, коммерческой деятельности, в то же время обеспечивает изоляцию для жилых помещений ниже. Также важно отметить, что это позволяет сократить использование дополнительных территорий города для данных функций.

В целях реализации поставленных задач было необходимо разработать современные, экономически-эффективные и технологически простые конструктивные решения, которые возможно внедрить уже на стадии проектирования и легко реализовать, как при строительстве новых объектов, так и при реконструкции существующих зданий с разными эксплуатационными характеристиками. В ходе научно-исследовательской и проектной работы были разработаны 2 вида конструкций зеленой кровли для устройства как общественных зданий, так и жилых домов. Применение данных технологических решений при проектировании направлено, в первую очередь, на снижение пылевого загрязнения мелкодисперсными частицами пыли $PM_{0,5}$ - PM_{10} жилых зданий, испытывающих воздействия от строительного производства.

Задачей первого вида конструкции является повышение функциональности мобильного покрытия кровли, которую можно разбирать в осенне-зимний период. Монтаж данной конструкции актуален для объектов, имеющих коммерческую функцию. Составляющими данной конструкции зеленой кровли являются железобетонная плита перекрытия, еврорубероид, состоящий из прочной негниющей основы, опоры из высокопрочного пропилена, имеющие возможность увеличения опоры за счет дополнительной вставки 60 мм, два слоя ондулина, в середине -

гидроизоляция жидкой резиной, по центральной части террасная доска, по краям - дренажный слой, грунт в виде зеленых насаждений.

Технический результат данной конструкции заключается в ее многофункциональности, что позволяет получать экономический и социальный эффект от ее использования в течение круглого года (бассейн, кафе, сад). Вид и состав предлагаемой конструкции зеленой кровли представлен на рисунке 1.

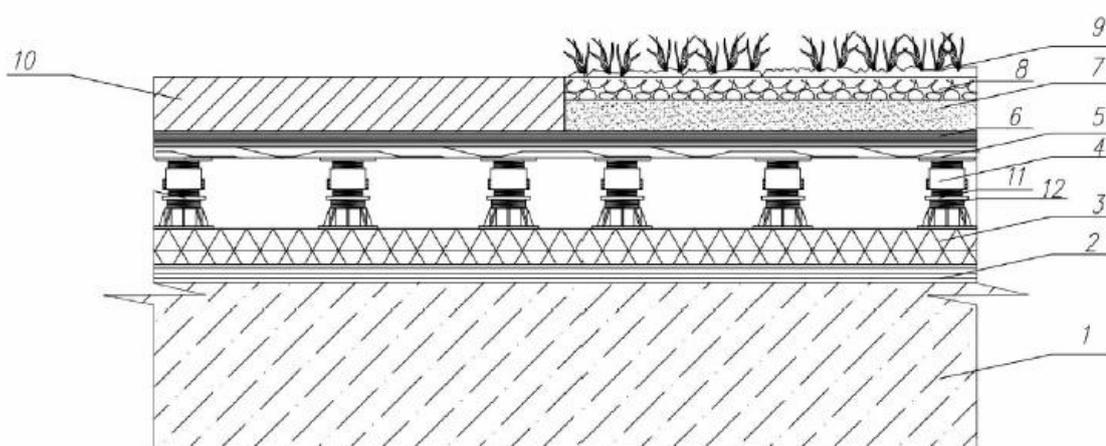


Рис. 1. – Устройство зеленой кровли, предназначенной для монтажа на общественных зданиях: 1 – железобетонная плита перекрытия, 2 – настилающий слой еврорубероида, 3 - слой термоизоляции, 4 – регулируемые опоры, 5 - настилающий слой ондулина, 6 – слой гидроизоляции, 7 – дренажный слой, 8 – грунт, 9 – зеленые насаждения, 10 – террасная доска, 11 – оцинкованные шпильки, 12 – контррейка.

Конструкция зеленой кровли представляет из себя следующую технологию монтажа: на железобетонную плиту перекрытия, установленную с заделкой швов цементом и обмазкой битумом укладывают еврорубероид ХМП, состоящий из прочной негниющей основы, который обеспечивает гибкость, теплоустойчивость и водонепроницаемость; затем термоизоляцию ISOVER 3, создающую теплозащиту и предотвращающую образование

конденсата, затем опоры Forest Style из высокопрочного пропилен термической выносливостью от -20С до +85С. Данные опоры устойчивы от разрушения солнечными лучами, имеют возможность увеличения за счет дополнительной вставки 60 мм, диаметр подпятника 20 см позволяет использовать на "мягкой" кровле и на уплотненном грунте; по краям укладывается дренажный слой ENKADRAIN PREMIUM, устойчивый к агрессивной среде, стойкий перед гниением и воздействием грибков, обеспечивает фильтрацию и защиту гидроизоляционного слоя; два слоя ондулина на всю ширину кровли обеспечивают прочность и морозоустойчивость, в середине - гидроизоляция с жидкой резиной, которая не является токсичной, устойчива к деформациям, атмосферным и биологическим воздействиям, в конце укладывается грунт (субстрат) – экологически безопасный продукт, без химических добавок, он гидрофобен (легко отдает растениям накопленную влагу и питательные вещества), имеет высокую стойкость к разложению, может использоваться неоднократно. При монтаже данной конструкции предполагается укладка по центральной части террасной доски CM Decking natur 10, которая устойчива к гниению и поражению плесенью, грибкам, насекомым, не выделяет формальдегида, фенола или других вредных веществ, сохраняет поверхность не скользкой даже в дождь, по краям зеленый настил - зеленые насаждения.

Такое устройство кровли работает следующим образом: совмещены два вида покрытия - первый вид: боковой, который позволяет использовать зеленую кровлю круглый год, и центральную часть - под бассейн, а зимой под кафе.

Второй вид конструкции предназначен для монтажа, в первую очередь, в жилых зданиях, а также зимних садов, террас. Конструкция отличается простотой устройства, экономической эффективностью, высокими теплоизоляционными и гидроизоляционными свойствами. Данный

вид зеленой кровли включает в себя железобетонную плиту перекрытия, защитный, фильтрующий и растительный слои, при этом в качестве защитного слоя используется ондулин, дополнительно включает теплоизолирующий слой и слой закрепляющего грунта, состоящего из суглинка, отходов мономерных кислот, разбавленного жидкого стекла плотностью до 1.13 г/см^3 хлорида кальция. Вид и состав разработанной конструкции представлен на рисунке 2.

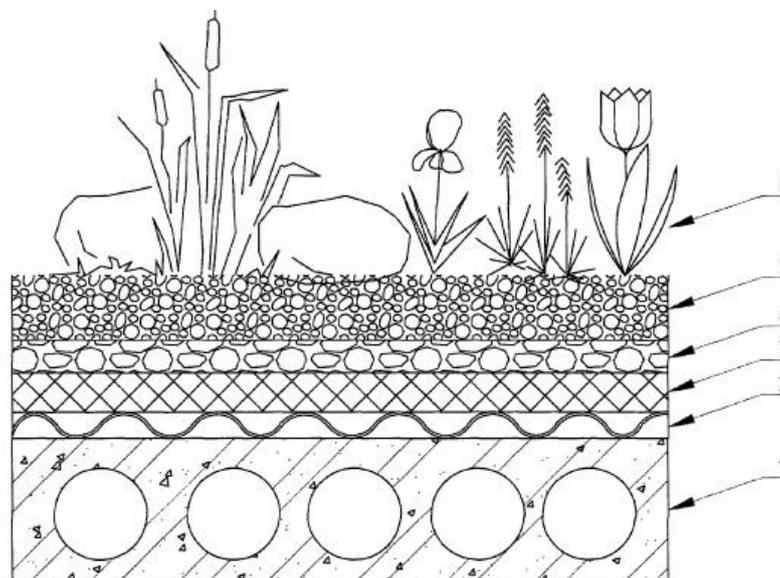


Рис. 2. – Конструкция зеленой кровли, предназначенная для жилых зданий: 1 - железобетонная плита, 2. защитный слой - ондулин, 3 - теплоизолирующий слой из пенополистирола, 4 - фильтрующий слой из торфа и/или гравия, 5 - закрепляющая смесь грунта, 6 - растительный слой содержащий субстрат с растениями.

Технический результат заключается в следующем: в состав закрепляющей смеси входит грунт, состоящий из суглинка, отходов мономерных кислот и раствора хлорида кальция. Грунт перемешан с разбавленным жидким стеклом, плотностью 1.13 г/см^3 . Жидкое стекло способствует набору прочности слоя грунта, повышает его адгезионные,

кислотоупорные, а также гидроизоляционные свойства. Преимущество такого слоя в том, что он объединяет в себе функцию сразу нескольких слоев: почву, гидроизоляционный слой, дренажный слой и влагонакопительный слой. В состав покрытия также входит теплоизолирующий слой высотой 2-10 см, что значительно уменьшает теплопотери здания. Слой ондулина, толщиной 3 мм и высотой волны 36 мм, повышает устойчивость к биологическому воздействию грибков, бактерий и других микроорганизмов, повышает гидроизоляционные свойства, стойкость к кислотам и щелочам, а также является экологичным материалом. Такая конструкция применима и для устройства зимних садов, зеленых террас. Затраты на материалы в составе покрытия зеленой кровли минимальные.

Для расчета эффективности внедрения данных конструктивных решений зеленой кровли в таблице 1 указана себестоимость работ по монтажу конструкций двух представленных вариантов.

Таблица 1 – Стоимость монтажа конструкций зеленой кровли на 1 м² по предложенным вариантам.

Вариант 1. Устройство зеленой кровли, предназначенной для монтажа на общественных зданиях		Вариант 2. Конструкция зеленой кровли, предназначенная для монтажа в жилых зданиях	
Технологический процесс	Стоимость, руб.	Технологический процесс	Стоимость, руб.
Заделка швов цементом	от 150	Заделка швов цементом	от 150
Нанесение битумного покрытия на бетонное основание и еврорубероида ХМП	от 380	Нанесение битумного покрытия на бетонное основание и еврорубероида ХМП	от 380
Работы по термоизоляции с применением утеплителя ISOVER 3	от 140	Монтаж настилающего слоя из ондулина	от 200
Монтаж опор Forest Style	от 1200	Работы по термоизоляции с применением утеплителя пеноплэкс	от 140
Монтаж настилающего слоя из ондулина	от 200		
Нанесения слоя гидроизоляции из жидкой резины Hydra	от 750	Устройство фильтрующего слоя из гравия/торфа	от 150
Укладка дренажного слоя	от 200	Устройство закрепляющей	от 400



ENKADRAIN PREMIUM		смеси грунта и озеленение	
Укладка грунта с озеленением	от 190		
Монтаж террасной доски для летних кафе, бассейна	от 1000		
Итого - монтаж с озеленением: - монтаж с озеленением и с покрытием террасной доской	от 3210/м ² от 4210/м ²	Итого	от 1420/м ²

Тогда в сметную стоимость выполненных строительных работ по зданию надо включать затраты по монтажу конструкции зеленой кровли в каждом из вариантов, как «Прочие затраты» в главу 1 сводного сметного расчета.

Одной из основных задач по применению конструкций зеленой кровли является снижение загрязнения воздуха пылевыми частицами. Один из важных аспектов решения данной задачи - состав растений, необходимых для высаживания в грунте зеленой кровли для создания процесса пылеподавления, что обеспечивает дополнительное улучшение экологической безопасности, за счет дополнительной очистки воздуха [10]. Стоимость мероприятий по борьбе с пылью увеличится, но степень экологической защиты работников стройплощадки и населения значительно повышается. Это позволит экономить затраты труда при проведении строительных работ, так как меньше будет рост заболеваемости рабочих (до 15%) и соответственно снизится себестоимость строительных работ, приблизительно на те же 15%.

Литература

1. Беспалов В.И., Котлярова Е.В., Бондаренко А.С. Научно методические основы обеспечения экологической безопасности территорий в условиях урбанизации// Инженерный вестник Дона, 2019. № 1. - URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2019/5553

2. Ганичева Л.З. Анализ состояния атмосферного воздуха в промышленных городах Ростовской области// Инженерный вестник Дона, 2013. № 2. - URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2013/1701
 3. Чебанова С.А., Азаров В.Н., Азаров А.В., Поляков В.Г. Влияние организационно-технологических решений строительства в стесненных условиях на окружающую среду// Инженерный вестник Дона, 2018. № 1. - URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2018/4790
 4. Калюжина Е.А., Несветаев Г.В., Азаров В.Н. Исследования значений PM_{10} и $PM_{2,5}$ в выбросах в атмосферу и рабочую зону при ремонтно-строительных работах // Интернет-вестник ВолГАСУ. Сер. Политематическая, 2012. №1 (20). – URL: vestnik.vgasu.ru/?source=4&articleno=785
 5. Глинянова И.Ю. Оценка загрязнения окружающей среды примесями кислых или щелочных веществ с одновременной оценкой их удельной электрической проводимости // Инженерный вестник Дона, 2019. № 6. - URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/N6y2019/6066
 6. Hritonenko N. *Mathematical Modeling in Economics, Ecology and the Environment*. Springer Science & Business Media, 2014. 296 p.
 7. Gillman M. *An Introduction to Mathematical Models in Ecology and Evolution: Time and Space*. John Wiley & Sons, 2009. 158 p.
 8. Versini P.-A., Gires A., Tchiguirinskaia I., Schertzer D. Fractal analysis of green roof spatial implementation in European cities. *Urban Forestry & Urban Greening*, volume 49, 2020. Pp.114-122.
 9. Shafique Muhammad, Luo Xiaowei, Zuo Jian. Photovoltaic-green roofs: A review of benefits, limitations, and trends. *Solar Energy*, volume 202, 2020. Pp. 485-497.
-



10. Bevilacqua Piero, Bruno Roberto, Arcuri Natale. Green roofs in a Mediterranean climate: energy performances based on in-situ experimental data. *Renewable Energy*, volume 152, 2020. Pp. 1414-1430.

References

1. Bepalov V.I., Kotlyarova E.V., Bondarenko A.S. *Inzhenernyj vestnik Dona*, 2019. № 1. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2019/5553

2. Ganicheva L.Z. *Inzhenernyj vestnik Dona*, 2013, № 2. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2013/1701

3. Chebanova S.A., Azarov V.N., Azarov A.V., Polyakov V.G. *Inzhenernyj vestnik Dona*, 2018, № 1. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2018/4790

4. Kaluzhina E.A., Nesvetaev G.V., Azarov V.N. *Internet-vestnik VolgGASU (Rus)*, 2012. № 1. URL: vestnik.vgasu.ru/?source=4&articleno=785

5. Glinyanova I.U. *Inzhenernyj vestnik Dona*, 2019, № 6. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/N6y2019/6066

6. Hritonenko N. *Mathematical Modeling in Economics, Ecology and the Environment*. Springer Science & Business Media, 2014. 296 p.

7. Gillman M. *An Introduction to Mathematical Models in Ecology and Evolution: Time and Space*. John Wiley & Sons, 2009. 158 p.

8. Versini P.-A., Gires A., Tchiguirinskaia I., Schertzer D. Fractal analysis of green roof spatial implementation in European cities. *Urban Forestry & Urban Greening*, volume 49, 2020. Pp.114-122.

9. Shafique Muhammad, Luo Xiaowei, Zuo Jian. Photovoltaic-green roofs: A review of benefits, limitations, and trends. *Solar Energy*, volume 202, 2020. Pp 485-497.

10. Bevilacqua Piero, Bruno Roberto, Arcuri Natale. Green roofs in a Mediterranean climate: energy performances based on in-situ experimental data. *Renewable Energy*, volume 152, 2020. Pp. 1414-1430.