



УДК 692.415.2:712

К. П. ЗУБАРЕВ, канд. техн. наук, доц., доц. кафедры общей и прикладной физики¹, доц. кафедры информатики и прикладной математики¹, ст. науч. сотр. лаборатории строительной теплофизики², доц. кафедры технологий строительства и конструкционных материалов инженерной академии³, вед. науч. сотр. научного центра техники и технологии строительства инженерной академии³; **В. К. АХМЕТОВ**, д-р техн. наук, доц., проф. кафедры информатики и прикладной математики¹; **З. Р. АЛИХАНОВА**, студент института архитектуры и градостроительства¹; **В. Л. ДОБШИЦ**, аспирант кафедры технологий строительства и конструкционных материалов инженерной академии³; **Н. Ю. ЗАВАРЗИН**, аспирант кафедры технологий строительства и конструкционных материалов инженерной академии³

ВЛИЯНИЕ ПРИМЕНЕНИЯ ТЕХНОЛОГИИ «ЗЕЛеной» КРОВЛИ НА ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ ЗДАНИЯ. ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ

¹ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет».

Россия, 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26.

Тел.: +7 (495) 781-99-88, эл. почта: zubarevkr@mgsu.ru

²ФГБУ «Научно-исследовательский институт строительной физики Российской академии архитектуры и строительных наук».

Россия, 127238, г. Москва, Локомотивный проезд, д. 21.

Тел.: +7 (495) 482-40-76, эл. почта: zubarevkirill93@mail.ru

³ФГАОУ ВО «Российский университет дружбы народов».

Россия, 117198, г. Москва, ул. Миклухо-Маклая, д. 6.

Тел.: +7 (499) 936-87-87, эл. почта: zubarev@pfur.ru

Ключевые слова: энергосбережение, «зеленая» кровля, толщина утепления, экономия энергии.

В статье представлен обзор современных исследований в области энергосбережения зданий с применением технологии «зеленых» кровель. Рассмотрено устройство «зеленой» кровли со стандартным расположением слоев и обозначен их функционал, а также приведена формула для теплотехнического расчета ограждающей конструкции. Проанализировано исследование Швалева М. Д и Мальцевой И. Н., в котором выявлена и продемонстрирована зависимость толщины утеплителя от толщины растительного слоя в конструкции «зеленой» кровли. Описано исследование Копыловой А. И. с соавторами, в котором выявлена зависимость годовых экономических затрат на отопление зданий от типа кровли и получены выводы о снижении теплопотерь и повышении энергетической и экономической эффективности зданий с «зеленой» кровлей.

Введение

«Зеленая» кровля – это кровля здания, частично или полностью покрытая живой растительностью, например, травами, кустарниками, деревьями. Основными преимуществами «зеленой» кровли являются: улучшение экологии района за счет фильтрации воздуха, снижение нагрузки на ливневую канализацию, эстетическая привлекательность, но помимо данных факторов



также выявлены повышенные теплоизоляционные свойства «зеленых» кровель по сравнению с типовыми [1-15].

Повышенные теплоизоляционные свойства «зеленых» кровель достигаются за счет дополнительных слоев, которые входят в состав конструкции «зеленой» кровли и влияют на снижение теплопотерь через ограждающую конструкцию. Данный прием позволяет придать «зеленой» кровле насыщенный функциональный спектр и поставить энергоэффективность и экономическую целесообразность в одном ряду с экологическими и эстетическими аспектами. Для того, чтобы определить степень влияния технологии «зеленой» кровли на энергосбережение зданий, проводятся исследования с теплотехническими расчетами и построением графиков полученных зависимостей для наглядной демонстрации [1-15].

Задача исследования

Провести обзор современных исследований в области энергосбережения зданий с применением технологии «зеленых» кровель в зданиях и сооружениях.

Зеленые насаждения как дополнительный теплоизоляционный слой

Особенности «зеленой» кровли, в первую очередь, заключаются в составе кровельных слоев. Помимо основного конструкционного слоя, которым может служить, например, железобетонное перекрытие, CLT-панель и прочее, существует дополнительный ряд слоев, необходимый для нормального функционирования и поддержания озеленения на кровле. На примере кровельного «пирога» рассмотрим последовательность основных слоев «зеленой» кровли (рис. 1).

На несущий конструкционный слой 1 укладывают водоизоляционный слой 2 и защитный слой 3 для препятствия проникновения влаги в несущие конструкции и предотвращения дальнейшего разрушения. На защитный слой 3 укладывается корнезащитный слой 4 для его защиты от повреждения корнями растений. Поверх корнезащитного слоя 4 укладывается влагонакопительный слой 5 в один или несколько слоев для накопления влаги в дождливый период и для отдачи влаги корням растений в засушливый период. Дренажный слой 6 представляет собой профилированные мембраны, щебень или дренажные маты и служит для отвода воды с кровли. Поверх дренажного слоя 6 укладывают фильтрующий слой 7, который препятствует попаданию мелких частиц субстрата в нижележащие слои и предотвращает их засорение.

Субстрат 8 представляет собой искусственную смесь из органических и неорганических веществ и содержит в себе питательные вещества для роста и устойчивого развития зеленых насаждений растительного слоя 9. Субстрат 8 с растительным слоем 9 являются самыми объемными слоями среди всех вышеперечисленных, благодаря чему могут улучшать теплоизоляционные свойства конструкции крыши.

Слой субстрата может иметь толщину 30–50 мм при экстенсивном типе озеленения и 300–700 мм при интенсивном типе озеленения. Толщина данного слоя зависит от типа озеленения, эксплуатируемости кровли, вида зеленых насаждений. Например, для укладывания газона необходимо всего нескольких см субстрата, тогда как для посадки кустарников понадобится слой потолще. Также толщина субстрата может зависеть от дизайнерского решения при наличии геопластики и создания неравномерного рельефа на поверхности кровли.

Учет растительного слоя в теплотехническом расчете

Расчет теплоизоляционного слоя в конструкции кровли производится по формуле, основанной на законе теплопроводности Фурье.

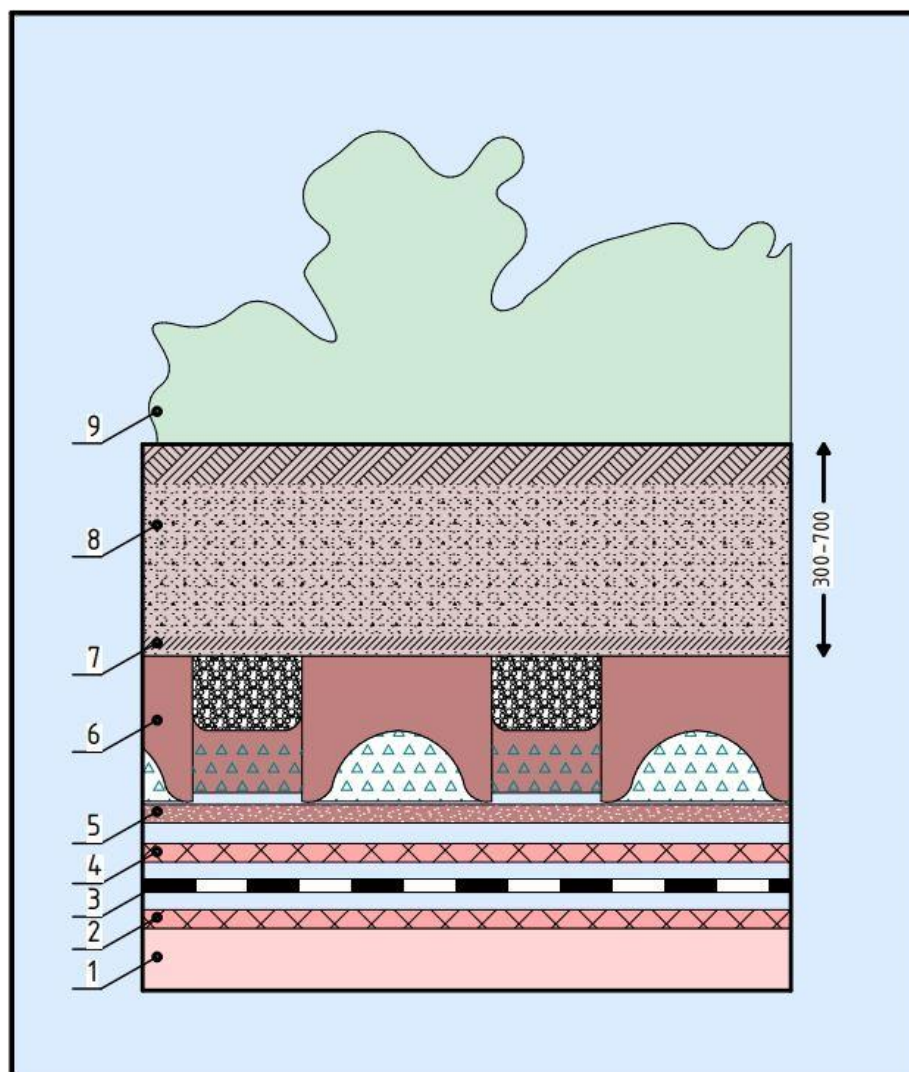


Рис. 1. Схема расположения слоев конструкции «зеленой» кровли согласно ГОСТ Р 58875-2020: 1 – несущий конструктивный слой; 2 – водоизоляционный слой; 3 – защитный слой; 4 – корнезащитный слой; 5 – влагонакопительный слой; 6 – дренажный слой; 7 – фильтрующий слой; 8 – субстрат; 9 – растительный слой

Сопротивление теплопередаче «зеленой» кровли рассчитывается по формуле:

$$R = \frac{1}{\alpha_v} + \frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} + \dots + \frac{\delta_n}{\lambda_n} + \frac{1}{\alpha_n}. \quad (1)$$

Здесь α_v – коэффициент теплоотдачи внутренней поверхности ограждающей конструкции, $\frac{Вт}{м^2 \cdot ^\circ C}$;



α_n – коэффициент теплоотдачи наружной поверхности ограждающей конструкции, $\frac{Вт}{м^2 * ^\circ C}$;

$\delta_1, \delta_2 \dots \delta_n$ – толщина слоя в конструкции (где 1, 2, ... n – порядковый номер слоя), м;

$\lambda_1, \lambda_2 \dots \lambda_n$ – коэффициент теплопроводности материала слоя (где 1, 2, ... n –

порядковый номер слоя), $\frac{Вт}{м^2 * ^\circ C}$;

R – расчетное термическое сопротивление ограждающей конструкции, $\frac{м^2 * ^\circ C}{Вт}$.

Каждый член в формуле (1) представляет собой слой в ограждающей конструкции и является отношением толщины слоя к его теплопроводности. Толщина несущей конструкции и прочих слоев являются исходными данными для вычисления толщины теплоизоляционного слоя. Обычно теплотехнический расчет не включает в себя учет почвенного слоя, но можно добавить отношение толщины субстрата к его коэффициенту теплопроводности как дополнительный член в формулу.

Теплопроводность субстрата и его толщина будут известными в формуле, так как определяются исходя из вышеперечисленных факторов, таких как эксплуатируемость кровли, вид зеленых насаждений и т.д. Единственным неизвестным все также остается только толщина теплоизоляционного слоя.

Исследования в области снижения толщины слоя утеплителя за счет озеленения

В своей работе Швалев М. Д и Мальцева И. Н. обращают внимание на важность «зеленых» кровель, так как они могут компенсировать зеленые зоны, уничтоженные урбанизацией, в условиях современной городской среды. В качестве преимуществ «зеленых» кровель они выделяют: улучшение качества воздуха, снижение нагрузки на ливневой водосток, энергоэффективность [16].

Авторы в результате расчетов получили, что «зеленые» кровли влияют на энергоэффективность здания, так как способствуют защите здания от перегрева в жарком климате и удержанию тепла при холодном климате [16].

Были произведены теплотехнические расчеты с учетом растительного слоя в составе конструкции крыши, а также выявлена зависимость толщины теплоизоляционного слоя от толщины растительного слоя. В результате расчетов был составлен график, в котором наглядно продемонстрировано как увеличение толщины растительного слоя влияет на уменьшение толщины теплоизоляционного слоя (рис. 2) [16].

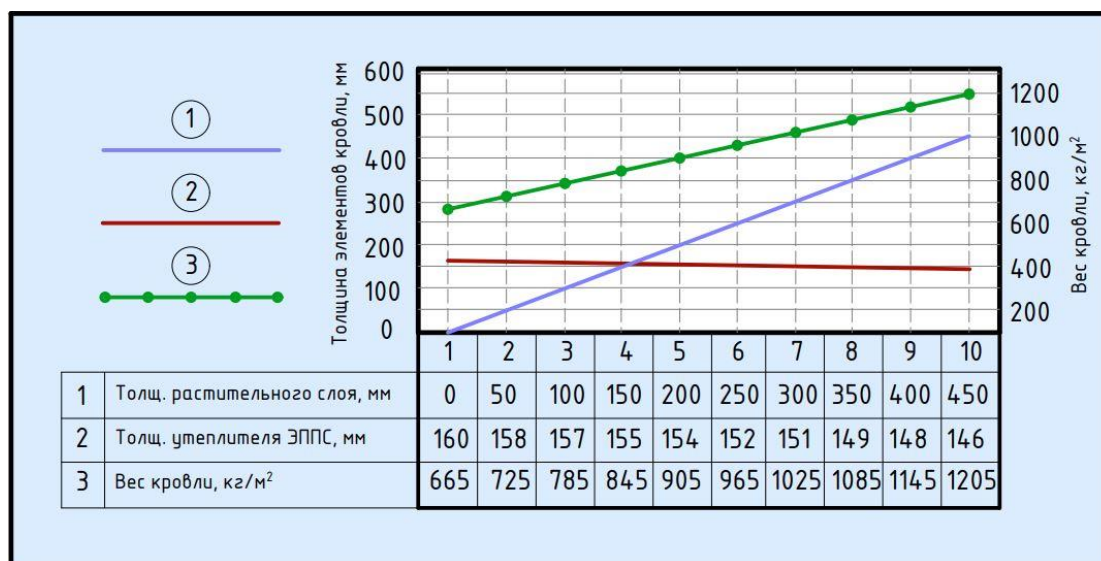


Рис. 2. График зависимости толщины теплоизоляционного слоя от толщины растительного слоя по данным Швалева М. Д. и Мальцевой И. Н. [16]: 1 – толщина растительного слоя; 2 – толщина утеплителя; 3 – вес кровли

Влияние озеленения на экономию энергии

В своей статье Копылова А. И. с соавторами относят к возможным решениям проблемы энергосбережения зданий энергоэффективные системы вентиляции и системы освещения, возобновляемые источники энергии, современные ограждающие конструкции с высокими показателями теплозащиты и технологии «зеленой» кровли. Энергоэффективность здания в исследовании рассматривается как следствие применения «зеленой» кровли и достигается за счет снижения теплопотерь через наружную ограждающую конструкцию крыши. Авторами исследования была поставлена задача – оценка влияния «зеленой» кровли на энергоэффективность зданий. В качестве объектов для оценки энергоэффективности были выбраны жилой многоэтажный дом и двухэтажная школа [17].

В результате проведенных теплотехнических расчетов было выявлено, что благодаря технологии «зеленой» кровли теплопотери в жилом многоэтажном доме снижаются на 10–15%, а в двухэтажной школе на – 15–20%, то есть данная технология приводит к уменьшению экономических затрат на отопление зданий. На рис. 3 представлен график экономического сопоставления затрат на отопление в руб./год [17].

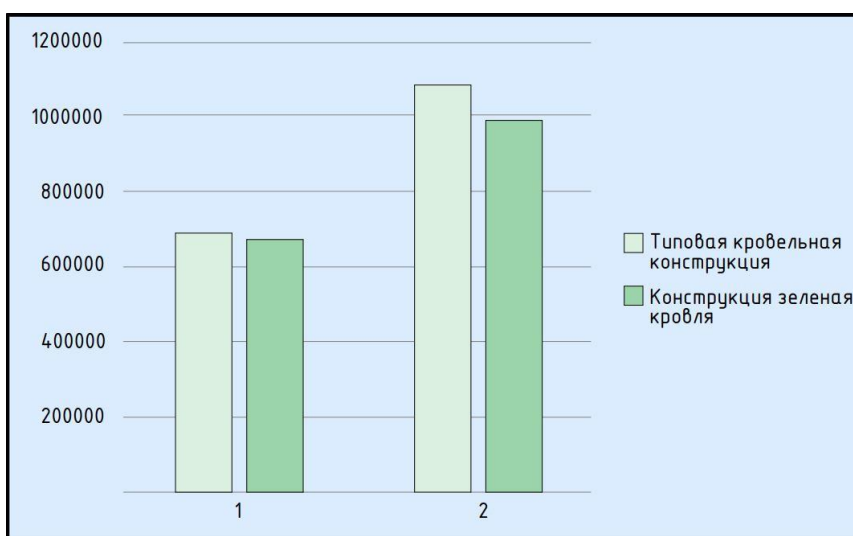


Рис. 3. График экономического сопоставления затрат на отопление в руб./год по данным Копыловой А. И. с соавторами [17]: 1 – жилой многоэтажный дом; 2 – двухэтажная школа [16]

На рис. 4 показан график изменения разницы годовых затрат на отопление здания в зависимости от отношения площади покрытия к площади ограждающих стен (далее – коэффициент r). Судя по данному графику (рис. 4), чем ниже коэффициент r , тем ниже экономические затраты на здание. Так как этажность жилого многоэтажного дома значительно выше, чем этажность школы, то коэффициент r у школы будет ниже, чем у многоэтажного дома, соответственно ниже годовые затраты на отопление здания [17].

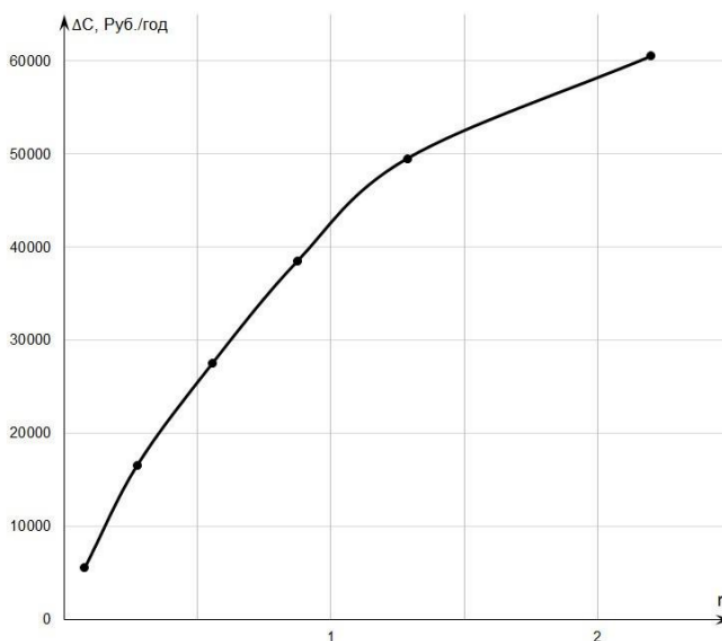


Рис. 4. График экономической эффективности здания в зависимости от отношения площади покрытия к площади ограждающих стен по данным Копыловой А. И. с соавторами [17]



Заключение

В настоящей статье были рассмотрены исследования в области энергосбережения зданий с применением технологии «зеленых» кровель в зданиях и сооружениях.

В исследовании Швалева М. Д. и Мальцевой И. Н. была выявлена зависимость толщины теплоизоляционного слоя от толщины растительного слоя, что свидетельствует о снижении экономических затрат за счет уменьшения толщины утеплителя и повышения теплоизоляционных свойств конструкции крыши за счет дополнительных растительных слоев [16].

В работе Копыловой А. И. с соавторами более детально изучается вопрос влияния «зеленой» кровли на энергоэффективность здания. В процессе исследования выявляется зависимость годовых экономических затрат на отопление от типа кровли и типа здания, что свидетельствует об экономической целесообразности использования «зеленой» кровли [17].

На данный момент существующие технологии «зеленой» кровли целесообразнее применять в южных регионах России, где развитие растительности представляется более благоприятно. Не исключается применение данных кровель и для средней полосы с соблюдением дополнительных мер по защите и уходу растительности.

Перспективность развития данного направления обусловлена не только теплоизоляционными характеристиками, но и эстетической привлекательностью, экономической и коммерческой выгодой для заказчиков и арендаторов ввиду использования дополнительной площади.

Благодарности

Исследование выполнено за счет средств государственной программы Российской Федерации «Научно-технологическое развитие Российской Федерации» в рамках плана фундаментальных научных исследований Минстроя России и РААСН (фундаментальное научное исследование № 3.1.4.11 «Исследование нестационарного тепло-влажностного состояния ограждающих конструкций зданий с применением теории потенциала влажности» на 2024–2026 годы).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Радаев, А. Е. Использование средств оптимизационного моделирования для обоснования характеристик энергоэффективного конструктивного решения / А. Е. Радаев, О. С. Гамаюнова, Г. А. Бардина. – Текст : непосредственный // Строительство и техногенная безопасность. – 2022. – № 27 (79). – С. 5–25.
2. Лысова, Е. П. Основы обеспечения экологической безопасности строительных материалов на всех этапах их жизненного цикла / Е. П. Лысова, Е. В. Котлярова. – Текст : непосредственный // Современные тенденции в строительстве, градостроительстве и планировке территорий. – 2023. – Том 2, № 2. – С. 72–80.
3. Assessment of merits and demerits of perpendicular and slanted photovoltaic/thermal facades / Bezaatpour J., Gholizadeh T., Bezaatpour M., Ghaebi H. // Sustainable Energy Technologies and Assessments. – 2024. – Vol. 72, No. 104033. – <https://doi.org/10.1016/j.seta.2024.104033>.
4. Береговой, А. М. Регулирование процессов тепломассопереноса и воздухообмена в ограждающих конструкциях и зданиях современного типа / А. М. Береговой,



- В. А. Береговой, О. Л. Викторова. – Текст : непосредственный // Региональная архитектура и строительство. – 2017. – № 1 (30). – С. 69–73.
5. Титова, Н. П. Сады на крышах / Н. П. Титова. – Москва : ОЛМАПРЕСС Гранд, 2002. – 112 с. – (Дизайн сада). – ISBN 5-94846-049-5. – Текст : непосредственный.
6. Немова, Д. В. Системы вентиляции в жилых зданиях как средство повышения энергоэффективности / Д. В. Немова. – Текст : непосредственный // Строительство уникальных зданий и сооружений. – 2012. – № 3. – С. 83–86.
7. Булгаков, С. Н. Энергоэффективные строительные системы и технологии / С. Н. Булгаков. – Текст : электронный // АВОК. Вентиляция. Отопление. Кондиционирование. – 1999. – № 2. https://www.abok.ru/for_spec/articles.php?nid=135&ysclid=ma10l77egq8190655.
8. Нефедова, А. В. Цейтин Д.Н. Анализ проекта мультимедийного дома ISOVER / А. В. Нефедова, Д. Е. Чернышев. – Текст : непосредственный // Строительство уникальных зданий и сооружений. – 2014. – № 10 (25). – С. 73–87.
9. Chang, N. Optimal design for water conservation and energy savings using green roofs in a green building under mixed uncertainties / N. Chang, B. J. Rivera M. P. Wanielista // Journal of Cleaner Production. – 2011. – Vol. 19, Issue 11. – P.1180–1188.
10. Castleton, H. F., Green roofs. Building energy savings and the potential for retrofit / H. F. Castleton, V. Stovin, S. B. M. Beck, J. B. Davison // Energy and Buildings. – 2010. – Vol. 42, Issue 10. – P. 1582–1591.
11. A review of energy aspects of green roofs. / O. Saadatian, K. Sopian, E. Salleh, C. H. Lim, S. Riffat, E. Saadatian, A. Toudeshki, M. Y. Sulaiman // Renewable and Sustainable Energy Reviews. – 2013. – Vol. 23. – P. 155–168.
12. Теличенко, В. И. «Зеленая» стандартизация будущего – фактор экологической безопасности среды жизнедеятельности / В. И. Теличенко, М. Ю. Слесарев. – Текст : непосредственный // Промышленное и гражданское строительство. – 2018. – № 8. – С. 90–97.
13. Лукинов, В. А. Рейтинговая оценка энергосберегающих проектов с использованием технологий «зеленого строительства» / В. А. Лукинов, И. Г. Дьяков. – Текст : непосредственный // Недвижимость: экономика, управление. – 2015. – № 2. – С. 26–29.
14. Суэтина, Т. А. Организация строительства экологичных быстровозводимых зданий / Т. А. Суэтина, И. Х. Наназашвили, А. А. Плешивцев. – Текст : непосредственный // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия «Строительство и архитектура». – 2013. – № 31–2 (50). – С. 535–539.
15. Король, О. А. Исследования и наукоемкие разработки в области энергоэффективного строительного производства / О. А. Король. – Текст : непосредственный // Строительные материалы. – 2015. – № 6. – С. 13–15.
16. Швалев, М. Д. Эксплуатируемые кровли как фактор устойчивого развития городов / М. Д. Швалев, И. Н. Мальцева. – Текст : непосредственный // Академический вестник УралНИИпроект РААСН. – 2020. – № 3 (46). – С. 89–94.
17. Копылова, А. И. Энергетическая эффективность здания с применением технологии "зеленая кровля" / А. И. Копылова, А. К. Богомолова, Д. В. Немова. – Текст : непосредственный // Строительство уникальных зданий и сооружений. – 2016. – № 10 (49). – С. 20–34.



ZUBAREV Kirill Pavlovich, candidate of technical sciences, associate professor, associate professor at the chair of general and applied physics¹; associate professor of the chair of computer science and applied mathematics¹; senior researcher at the laboratory of building thermal physics²; associate professor at the chair of construction technology and structural materials³; leading researcher at the scientific center of engineering and construction technologies³; **AKHMETOV Vadim Kayumovich**, doctor of technical sciences, associate professor, professor of the chair of computer science and applied mathematics¹; **ALIKHANOVA Zumrud Ramazanovna**, student¹; **DOBSHITS Victor Lvovich**, postgraduate student of the chair of construction technology and structural materials³; **ZAVARZIN Nikita Yurievich**, postgraduate student of the chair of construction technology and structural materials³

INFLUENCE OF GREEN ROOF TECHNOLOGY ON BUILDING ENERGY SAVING. A LITERATURE REVIEW

¹Moscow State University of Civil Engineering.

26, Yaroslavskoe Shosse, Moscow, 129337, Russia.

Tel.: +7 (495) 781-99-88; e-mail: zubarevvp@mgsu.ru

²Scientific Research Institute of Building Physics of Russian Academy of Architecture and Constructions Sciences (RAACS).

21, Lokomotivny Proezd, Moscow, 127238, Russia.

Tel.: +7 (495) 482-40-76; e-mail: zubarevkirill93@mail.ru

³RUDN University.

6, Miklukho-Maklaya St., Moscow, 117198, Russia.

Tel.: +7 (499) 936-87-87; e-mail: zubarev@pfur.ru

Key words: energy saving, “green” roof, thickness of the insulation, energy efficiency.

The article presents a literature review of modern research in the field of energy saving of buildings using the technology of “green” roofs. The device of a green roof with a standard arrangement of layers is considered and their functionality is designated, and a formula for heat engineering calculation of the enclosing structure is given. The study of Shvalev M.D. and Maltseva I.N. is analyzed taking into account the dependence of the thickness of the insulation on the thickness of the plant layer in the “green” roof structure is revealed and demonstrated. The study of Kopylova A.I. and co-authors is described. The dependence of annual economic costs for heating buildings on the type of roof is described and conclusions are obtained on reducing heat loss and increasing the energy and economic efficiency of buildings with “green” roofs.

REFERENCES

1. Radaev A. E., Gamayunova O. S., Bardina G. A. Ispolzovanie sredstv optimizatsionnogo modelirovaniya dlya obosnovaniya kharakteristik energoeffektivnogo konstruktivnogo resheniya [Use of optimization modeling tools to justify characteristics of energy-efficient structural solutions]. Stroitelstvo i tekhnogennaya bezopasnost [Construction and Technogenic Safety]. 2022, № 27 (79), P. 5–25.

2. Lysova E. P., Kotlyarova E. V. Osnovy obespecheniya ekologicheskoy bezopasnosti stroitelnykh materialov na vsekhn etapakh ikh zhiznennogo tsikla [Fundamentals of ensuring environmental safety of construction materials at all stages of their life cycle]. Sovremennyye

tendentsii v stroitelstve, gradostroitelstve i planirovke territoriy [Modern Trends in Construction, Urban Planning and Territory Planning]. 2023, Vol. 2, № 2, P. 72–80.

3. Bezaatpour J., Gholizadeh T., Bezaatpour M., Ghaebi H. Assessment of merits and demerits of perpendicular and slanted photovoltaic/thermal facades. Sustainable Energy Technologies and Assessments. 2024, Vol. 72, No. 104033. <https://doi.org/10.1016/j.seta.2024.104033>.

4. Beregovoy A. M., Beregovoy V. A., Viktorova O. L. Regulirovanie protsessov tepломассопереноса i vozdukhooбмена v ograzhdayushchikh konstruktsiyakh i zdaniyakh sovremennogo tipa [Regulation of heat and mass transfer processes and air exchange in enclosing structures and modern-type buildings]. Regionalnaya arkhitektura i stroitelstvo [Regional Architecture and Construction]. 2017, № 1 (30), P. 69–73.

5. Titova N. P. Sady na kryshakh [Roof Gardens]. Moscow, OLMAPRESS Grand, 2002, 112 p. (Dizayn sada [Garden Design]). ISBN 5-94846-049-5.

6. Nemova D. V. Sistemy ventilyatsii v zhilykh zdaniyakh kak sredstvo povysheniya energoeffektivnosti [Ventilation systems in residential buildings as a means of improving energy efficiency]. Stroitelstvo unikalnykh zdaniy i sooruzheniy [Construction of Unique Buildings and Structures]. 2012, № 3, P. 83–86.

7. Bulgakov S. N. Energoeffektivnye stroitelnye sistemy i tekhnologii [Energy-efficient building systems and technologies]. AVOK. Ventilyatsiya. Otoplenie. Konditsionirovanie [HVAC Journal]. 1999, № 2. URL: https://www.abok.ru/for_spec/articles.php?id=135.

8. Nefedova A. V., Chernyshev D. E. Analiz proekta multikomfortnogo doma ISOVER [Analysis of the ISOVER multi-comfort house project]. Stroitelstvo unikalnykh zdaniy i sooruzheniy [Construction of Unique Buildings and Structures]. 2014, № 10 (25), P. 73–87.

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

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

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

12. Telichenko V. I., Slesarev M. Yu. "Zelenaya" standartizatsiya budushchego - faktor ekologicheskoy bezopasnosti sredy zhiznedeyatel'nosti ["Green" standardization of the future as a factor of environmental safety of the living environment]. Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitelstvo [Industrial and Civil Construction]. 2018, № 8, P. 90–97.

13. Lukinov V. A., Dyakov I. G. Reitingovaya otsenka energosberegayushchikh proektov s ispolzovaniem tekhnologii "zelenogo stroitelstva" [Rating assessment of energy-saving projects using "green building" technologies]. Nedvizhimost: ekonomika, upravlenie [Real Estate: Economics, Management]. 2015, № 2, P. 26–29.

14. Suetina T. A., Nanazashvili I. Kh., Pleshivtsev A. A. Organizatsiya stroitelstva ekologichnykh bystrovozvodimykh zdaniy [Organization of construction of environmentally friendly prefabricated buildings]. Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Seriya "Stroitelstvo i arkhitektura" [Bulletin of Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering. Series "Construction and Architecture"]. 2013, № 31-2 (50), P. 535–539.

15. Korol O. A. Issledovaniya i naukoemkie razrabotki v oblasti energoeffektivnogo stroitel'nogo proizvodstva [Research and high-tech developments in the field of energy-efficient construction production]. Stroitelnye materialy [Construction Materials]. 2015, № 6, P. 13–15.

16. Shvalev M. D., Maltseva I. N. Ekspluatiruemye kryshi kak faktor ustoychivogo razvitiya gorodov [Operable roofs as a factor of sustainable urban development].



Akademicheskij vestnik UralNIIproekt RAASN [Academic Bulletin of UralNIIproekt RAACS]. 2020, № 3 (46), P. 89–94.

17. Kopylova A. I., Bogomolova A. K., Nemova D. V. Energeticheskaya effektivnost zdaniya s primeneniem tekhnologii "zelenaya krysha" [Energy efficiency of a building using "green roof" technology]. Stroitelstvo unikalnykh zdaniy i sooruzheniy [Construction of Unique Buildings and Structures]. 2016, № 10 (49), P. 20–34.

© **К. П. Зубарев, В. К. Ахметов, З. Р. Алиханова, В. Л. Добшиц,
Н. Ю. Заварзин, 2025**

Получено: 09.04.2025 г.