Исследование вопроса возможности проектирования «зеленых» крыш в России на примере Рязанской области

Е.В. Сысоева, И.В. Морозов

Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ); г. Москва, Россия

АННОТАЦИЯ

Введение. Эпоха высоких технологий и экономики нарушает взаимодействие между человеком и природой, ухудшая состояние окружающей среды и условия жизни на Земле. В России строительство движется по классической модели развития и следует в направлении применения стереотипных моделей городского устройства. Поиск методов решения возникшей проблемы подразумевает обозначение ряда обстоятельств, которыми она вызвана, для четкого понимания и выстраивания рациональных механизмов реализации. «Зеленая» крыша — современный подход к архитектуре и урбанизации, который предполагает создание «зеленого» пространства на месте построенного здания. Дополнительное динамическое пространство не ограничивается исключительно декоративной и экологической функциями.

Материалы и методы. Применили научные методы: анализ, системный подход, синтез, дедукция, сравнительно-правовой. На основе теоретического исследования с учетом территориально-пространственной оценки посредством метода корреляционно-регрессионного анализа выполнен первичный обзор возможной обстановки в Рязанской области.

Результаты. Рассмотрена хронологическая последовательность становления системы «зеленая» крыша. Систематизация существующей нормативно-технической базы позволила оценить степень возможности интеграции «зеленых» крыш в России не как единичный случай, а как вариант массового применения. Особое внимание уделено вопросам, которые не нашли отражения в существующих отечественных регламентах. Результаты исследовательской работы продемонстрировали, что первая редакция ГОСТ 58875 — попытка соединения воедино ранее выпущенных пособий и рекомендаций. Информация, подтвержденная проведенными лабораторными испытаниями, по поводу эффективной работы системного решения в России в разных районах и в разные сезоны отсутствует. Ряд вопросов по-прежнему остается открытым. Политика внедрения «зеленых» крыш не выстроена.

Выводы. Россия не готова к массовому строительству «зеленых» крыш. Дальнейшие научные исследования «зеленого» строительства должны вестись с учетом нестабильных климатических особенностей в разных районах страны, чтобы подтвердить целесообразность устройства «зеленых» крыш в обязательном порядке, предусмотренном на законодательном уровне.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: «зеленая» крыша, энергоэффективность, нормативная документация, устойчивое развитие, городская среда

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: Сысоева Е.В., Морозов И.В. Исследование вопроса возможности проектирования «зеленых» крыш в России на примере Рязанской области // Строительство: наука и образование. 2021. Т. 11. Вып. 1. Ст. 3 URL: <http://nso-journal.ru> DOI: 10.22227/2305-5502.2021.1.3

A research into the feasibility of green roof design in Russia: a case study of the Ryazan region

Elena V. Sysoeva, Ilya V. Morozov

Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGSU); Moscow, Russian Federation

ABSTRACT

Introduction. The era of high technologies and economy disrupts interaction between man and nature, worsening the state of the environment and living conditions on Earth. In Russia, the construction industry follows a classical development model and applies stereotypical patterns of urban design. Finding problem solving methods means identification of problem triggers that help to clearly understand and develop rational problem tackling mechanisms. Green roofs suggest an advanced approach to architecture and urbanization whereby green spaces take the place of new buildings. Supplementary dynamic space is not reduced to its decorative and environmental functions.

Materials and methods. We applied such research methods as analysis, the system approach, synthesis, deduction, and comparative analysis. The initial review of the state of affairs in the Ryazan region was performed with regard for the theoretical nature of this study; correlation and regression analysis were employed to assess territories and spaces.

Results. The history of green roof systems is analyzed in the article. Systematization of the effective regulatory and technical framework enabled the co-authors to assess the widespread applicability of the green roof technology in Russia. Special attention is paid to the issues that are not covered by effective domestic regulations. The research work has shown that the first edition of GOST (All-Russian State Standard) 58875 is an attempt to consolidate previously issued manuals and recommendations. There is no information available about the seasonal efficiency of green roof solutions in different Russian regions.

A number of issues remain unresolved. The “green roof” policy has not been developed.

Conclusions. Russia is not ready for large-scale construction of green roofs. Further research into green construction should be carried out with regard for unstable climatic conditions in different regions of the country to confirm the feasibility of green roofing at the legislative level.

KEY WORDS: green roof, energy efficiency, regulatory documentation, sustainable development, urban environment

FOR CITATION: Sysoeva E.V., Morozov I.V. A research into the feasibility of green roof design in Russia: a case study of the Ryazan region. *Stroitel'stvo: nauka i obrazovanie* [Construction: Science and Education]. 2021; 11(1):3. URL: <http://nso-journal.ru>. DOI: 10.22227/2305-5502.2021.1.3 (rus.).

ВВЕДЕНИЕ

Резкое увеличение скорости климатических изменений, уменьшение природных ресурсов планеты связаны с ростом численности населения земного шара, что вскоре, по меркам Земли, может привести к сингулярной точке развития планеты. За последние 50 лет снижение численности наблюдаемых популяций позвоночных составило 58 %. Выбросы парниковых газов антропогенного происхождения, по данным ученых, в ближайшие десятилетия повлекут за собой рост температуры атмосферы Земли более чем на 2–6 °C [1, 2].

Динамичный темп жизни порождает развитие инновационных технологий, принцип работы которых основан на потреблении топлива, электроэнергии, газа и других ресурсов, поэтому однозначно спрогнозировать возникновение природных катаклизмов затруднительно, ведь неизвестными остаются оказываемые в будущем внешние и внутренние влияния на окружающую среду [3].

Основными источниками загрязнения являются поселения и промышленность, поэтому заботиться о биосфере нужно, начиная с городских территорий. Промышленные агломерации и транспортная инфраструктура оказывают большую нагрузку и при-

обретают функцию разрушителей цивилизации [4]. О серьезных последствиях свидетельствуют сведения, представленные Федеральной службой государственной статистики (Росстат). Если рассматривать заболеваемость среди населения за последние 30 лет (рис. 1), то прослеживается существенное преобладание болезней органов дыхания над другими заболеваниями.

Установка «зеленых» крыш сможет увеличить общую площадь озеленения мегаполисов и позволит смягчить негативное антропогенное воздействие человека на окружающую среду, в том числе возникающее вследствие строительства зданий и сооружений, всегда сопровождающихся сокращением растительной площади внутри городской среды. Положительный эффект может быть прямой и (или) косвенный. В первом случае растительность и почва (субстрат) будут улавливать углекислый газ (CO₂), во втором — наличие системного решения обеспечит снижение электропотребления и, как следствие, использование топливного ресурса [5].

Специалисты Объединенного исследовательского центра Европейской комиссии пришли к выводу, что выбросы CO₂ в 2017 г. возросли на 1,2 % по сравнению с предыдущим. Среди стран, оказывающих наи-

Рис. 1. Статистика заболеваний на территории России с 1992 по 1998 гг. и с 2000 по 2005 гг.

большее влияние на объемы выбросов: США, Китай, 28 стран ЕС, Индия, Россия и Япония¹ [6]. Динамика образования отходов CO₂ представлена на рис. 2.

Актуальной становится концепция биосферной совместимости городов и поселений, разработанная Российской академией архитектуры и строительных наук (под руководством академика В.А. Ильичева), основная суть которой состоит в соблюдении критерия прогрессивного развития городов (состояние биосферы, прилегающей к территории города, и уровень человеческого потенциала на урбанизированных территориях) и снижении дестабилизирующих факторов в совокупности с исключением возможности регрессивного развития городов. Сюда входят ингредиентное и параметрическое загрязнение компонентов природной среды, территориальное наступление (экспансия) города на природную среду через прямой непосредственный контакт — транспортные сети, инженерные коммуникации и т.п., приводящие к сокращению размеров и нарушению целостности природных каркасов, а также снижению их устойчивости и эффективности благоприятного воздействия на городскую среду. Создание биосферной совместимости городов возможно при соблюдении девяти условий (рис. 3) [7, 8]. Устройство «зеленых» крыш позволит улучшить экологическую обстановку в мегаполисах, способствуя снижению общего объема выбросов CO₂.

Историческая ретроспектива

Концепция размещения растительности на крыше появилась в различных климатических условиях. Растительность использовали как стро-

Рис. 2. Объем выбросов углекислого газа CO₂, млрд т

Рис. 3. Базовые принципы в концепции В.А. Ильичева для создания биосферосовместимой территории

ительный элемент или способ смягчения последствий высокой температуры в жарком климате. Это происходило главным образом из-за изоляционных качеств комбинированных слоев почвы (дрена) и растений. В холодном климате они помогали удерживать тепло в здании, а в теплом климате наоборот — защищали от жары^{2, 3, 4} [9–11].

Культурное развитие отдельно взятых периодов оказывало непосредственное влияние на формирование конструктивного и внешнего оформления крыш [12]. В некоторых культурах «зеленая» крыша отражала социальный статус владельцев жилья. Созданное озелененное пространство служило местом общения или наслаждения садом на открытой террасе. Это зачастую было недоступно людям с низким достатком. С начала XX в. предпринимались попытки поиска решений для улучшения жизни городских жителей. Несмотря на такой подход и социальные убеждения, растительность все еще являлась центральным элементом благополучия жителей. В начале XX в. забота была больше о людях и обществе, чем о самой окружающей среде⁵ [13–18].

Хронологическая последовательность развития «зеленых» крыш отражена в табл. 1. Каждый исторический период отличается от предыдущего за счет появления новых инженерных решений по компонентному составу.

¹ IPCC, 2014: Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, 2014. 151 p.

² Estonian National Museum. URL: www.erm.ee/?node=462&lang=eng

³ Encyclopedia of vernacular architecture of the world / ed. by P. Oliver. Cambridge : Cambridge University Press, 1998.

⁴ Green Roofs: Their Existing Status and Potential for Conserving Biodiversity in Urban Areas. Peterborough : English Nature, 2003. 60 p.

⁵ Design Considerations for the Implementation of Green Roofs. URL: <https://ru.scribd.com/document/35297463/Design-Considerations-for-the-Implementation-of-Green-Roofs>

Табл. 1. Историческое развитие озелененного покрытия

Название	Описание	Иллюстрации
<i>Древний мир (период до н.э.)</i>		
Дерновые крыши (первый этап) и прерии	На стропильных конструкциях, имеющих уклон 30°, предусматривалось размещение основы, выполненной из плетеной ивы или орешника. Далее производилась укладка трех слоев березовой коры, из которых финальный слой воспринимал нагрузку от дерна. Дёрн укладывался в два слоя — первый (нижний) растительным слоем вниз, второй — наоборот	<div><div>Дёрн (растительность вверх)</div><div>Дёрн (растительность вниз)</div><div>Березовая кора, 3 слоя</div><div>Плетеная ива (или орешник)</div></div>
Висячие сады Семирамиды	Сад состоял из нескольких террас, находящихся одна выше другой, тем самым создавая впечатление массивных зеленых ступеней. Уровень высотной отметки верхней террасы относительно земли достигал 25 м. Восстановленная конструкция имела тесаный камень, два ряда кирпича и свинцовые плиты, выполняющие роль гидроизоляционного материала. По данным плитам производилась укладка тростника, предварительно пропитанного в битуме, а верхняя часть заполнялась растительным грунтом	<div><div>Растительность</div><div>Растительный грунт</div><div>Тростник (пропитанный битумом)</div><div>Свинцовые плиты (гидроизоляция)</div><div>Кирпичи (2 ряда)</div><div>Тесаный камень</div></div>
<i>XVII в.</i>		
Дерновые крыши (второй этап)	Крыша опиралась на основание из кедровых балок и стропил. Поверх укладывались три слоя органических материалов: дикая слива или черноплодная рябина, дикая трава, тонкая глина или гипс. Наружная составляющая — дерн. Расположение дерна должно было осуществляться травой вверх, чтобы он продолжал расти, восстанавливать корни, формировать защитный слой травы и предотвращать эрозию	<div><div>Растительный слой</div><div>Почва</div><div>Тонкая глина/гипс</div><div>Дикая трава</div><div>Дикая слива/черноплодная рябина</div><div>Кедровые балки и стропила</div></div>
<i>XVIII–XIX вв.</i>		
Природная крыша Карла Рабица с вулканическим цементом	Плоская крыша имела строение: бетонная заливка в деревянной опалубке совместно с изолирующим слоем; битумный цемент, вулканический цемент, представляющий собой смесь портланд-цемента (обожженный известняк + глина) и вулканических пород с гравием; почва; растения, деревья, овощи. Главное, Карл Рабиц понимал суть изолирующего эффекта. В 1867 г. рекомендации берлинского строителя сводятся к выбору: подходящей основы, изоляционного материала, слоя гумуса, варианта орошения, защитных мероприятий от ветровых воздействий и др.	<div><div>Растительный слой</div><div>Почва</div><div>Вулканический цемент (обожженный известняк+глина)</div><div>Упругий слой цемента (на основе битума)</div><div>Изоляционный слой</div><div>Бетонная заливка в деревянной опалубке</div></div> <div><div>Зона для встреч</div><div>Посадочная зона</div></div>

Первая половина XX в.

Общее исполнение с 1940-х по 1960-е годы	Значительные успехи «зеленых» крыш выпали на XX в. В разные годы первой половины XX в. применялись разные материалы: мембрана защищена песчано-цементной стяжкой с гравийным дренажным слоем, покрытым стеганым стекловолокном, слоем торфа и верхним слоем почвы	<div> <div>Растительный слой</div> <div>Верхний слой почвы</div> <div>Торф</div> <div>Стеганное стекловолокно</div> <div>Гравийный дренаж</div> <div>Цементно-песчанная стяжка</div> <div>Мембрана</div> <div>Бетонное основание</div> </div>
--	---	--

Вторая половина XX в.

Общее исполнение в 1960-е годы	Во второй половине XX в. строение «зеленых» крыш имело следующую последовательность располагающихся слоев: традиционная мембрана, покрытая экструдированным полистирольным изоляционным слоем и дренажным слоем Леса, который покрыт геотекстилем и модифицированным верхним слоем почвы	<div> <div>Растительный слой</div> <div>Модифицированный слой почвы</div> <div>Геотекстиль</div> <div>Дренаж Леса</div> <div>Экструзионный полистирол</div> <div>Мембрана</div> <div>Бетонное основание</div> </div>
--------------------------------	--	--

Начало XXI в. – настоящее время

Калифорнийская академия наук	Исторический период в целом отличается активной интеграцией «зеленых» крыш в городскую застройку относительно предыдущих. Конструкция крыши предоставляет уникальные возможности для исследований, поскольку разные растения и их корневые системы по-разному реагируют на наклон купола. Конструкционные слои (снизу вверх): термопластиковая гидроизоляция; утеплитель пенополистирол; виниловый защитный слой; пластмассовый дренажный слой; листовой полипропиленовый фильтр; дополнительный слой почвы; биоразлагаемые лотки; около 80 видов растений	<div> <div>Растительный слой (80 разновидностей)</div> <div>Биоразлагаемые лотки (почва)</div> <div>Дополнительный слой почвы</div> <div>Фильтрующий слой на основе полипропилена</div> <div>Пластиковый дренажный слой</div> <div>Виниловый защитный слой</div> <div>Изоляция на основе полистирола</div> <div>Термопластиковая гидроизоляция</div> <div>Железобетонное основание</div> </div>
Экспериментальная установка: г. Москва, ул. Шереметьевская, д. 34	Экспериментальная установка, созданная в 2009 г., позволяет лучше понимать работу экстенсивного типа крыш. Толщина субстратного слоя составляет не более 12 см. На крыше раз в год проводят экскурсии, потому как подобный тип не предполагает нахождения людей. Слои экспериментальной установки имеют следующую последовательность (снизу вверх): изоляционный материал в два слоя; противокорневая защита; дренаж; фильтрующая мембрана; керамзитовый субстрат; посадка седумно-злакового разнотравья с небольшим добавлением цветов	<div> <div>Растительный слой (седумно-злаковый)</div> <div>Керамзитовый субстрат, 120 мм</div> <div>Фильтрующая мембрана</div> <div>Дренаж</div> <div>Противокорневая защита</div> <div>Второй слой теплоизоляционного материала</div> <div>Первый слой теплоизоляционного материала</div> <div>Железобетонное основание</div> </div>

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В ходе работы применялись научные методы: анализ, системный подход, синтез, дедукция, сравнительно-правовой. Метод корреляционно-регрессионного анализа на основе множественной линейной регрессии использовался для определения статистическим путем наиболее влияющих факторов на общую численность населения Рязанской области.

В качестве независимых переменных в работе применялись демографический прирост населения X_1 и экологические параметры, такие как количество выбросов X_2 , загрязняющих атмосферу веществ, отходящих от стационарных источников; объем сброса загрязненных сточных вод X_3 ; лесовосстановление и озеленение крыш X_4 ; искусственное лесовосстановление (создание культур, X_5); количество погибших лесных насаждений X_6 , в том числе хвойные породы X_7 ; общая площадь городских земель в пределах городской черты X_8 ; общая площадь зеленых насаждений X_9 ; вывоз твердых коммунальных отходов X_{10} . Зависимой переменной выступала общая численность населения Y .

Для оценки значимости каждого коэффициента регрессии использовался t -критерий. В этом исследовании рассматривалось значение $p = 0,05$. Чтобы определить, насколько данные близки к подобранной линии регрессии, во внимание бралось полученное значение коэффициента детерминации R^2 .

Расчет проводился с использованием программы MS Office Excel 2016. В исследовании для расчетов применялись сведения государственной статистической отчетности и доклады министерства природопользования Рязанской области, находящиеся в открытом доступе за период 2001–2019 гг.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Нормативно-техническая база

Нормативная база озеленения крыш в России до начала введения ГОСТ характеризовалась как недостаточная и была представлена несколькими документами.

Содержание СП 17.13330.2017 «Кровли. Актуализированная редакция СНиП II-26-76» сводится к одному подпункту «озелененные кровли», в котором представлена общая информация о последовательности укладываемых слоев, применяемых материалах и предусматривающихся нагрузках. Конструктивные решения кровли и технические характеристики используемых материалов отражаются в отдельных пунктах приложения Г. Элементы озеленения кровли и объектов благоустройства отдельно выделены в приложение Д с указаниями требований к субстрату, видового разнообразия растительности и форм озеленения⁶.

В «Рекомендациях по проектированию озеленения и благоустройства крыш жилых и общественных зданий и других искусственных оснований» (ОАО «Моспроект», 2000 г.) и «Пособии по озеленению и благоустройству эксплуатируемых крыш жилых и общественных зданий, подземных и полуподземных гаражей, объектов гражданской обороны и других сооружений» (ОАО «Моспроект», Москва, 2001 г.) подробно описываются особенности эксплуатируемых кровель; приводятся величины дополнительных нагрузок на эксплуатируемую кровлю при устройстве садов на искусственных основаниях; способы защиты от ветровых воздействий и солнечного излучения; противопожарные меры и молниезащита; архитектурно-строительные детали в виде иллюстрационного материала, ассортимент растительности для устройства «садов на крыше». Отдельным пунктом обозначены требования к «зеленым» крышам: их применение в зависимости от типа здания, допустимые градусы уклона, функциональное назначение, способы устройства «зеленых» покрытий, рекомендации по устройству рулонного газона.

В «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» (ЗАО «ТехноНИКОЛЬ», Москва, 2004 г.) включена информация: о возможности применяемых материалов; конструктивных решениях; устройстве кровли с подробным пошаговым описанием отдельных особенностей монтажа; об узлах для понимания правильности проведения работ; о ремонтных мероприятиях; контроле качества (правила приемки работ); способах обеспечения соблюдения техники безопасности при работе с гидроизоляцией; охране окружающей среды.

Разработка ГОСТ Р 58875-2020 длительностью около пяти лет позволила получить документ, состоящий из восьми основных разделов. С первых страниц в национальном стандарте четко обозначается область его применения. В документе устанавливаются единые терминология и определения, что в дальнейшем будет служить выстраиванию профессионального диалога между проектировщиком и заказчиком на тематику озеленения крыш. Нормирована типология «зеленых» крыш — три разновидности. Проведена масштабная работа по созданию раздела, касающегося экологических требований к проектированию подобного рода крыш, в котором содержится детальная информация: о совместимости материалов и растений; их защиты от выброса вредных веществ; о требованиях к субстратам, посадочному материалу и системам водно-ирригационного контроля. Например, невозможность использования суглинка в качестве субстрата или компонента субстрата для озеленения крыш те-

⁶ СП 17.13330.2017. Кровли. Актуализированная редакция СНиП II-26-76. М. : Минстрой России, 2017. 44 с.

перь — общедоступная информация и оговаривается не в руководстве (пособии), а в актуализированной версии национального стандарта. Раздел технических требований нормирует: проектные весовые нагрузки, конструктивное исполнение «зеленых» крыш и общие требования безопасности. Заключительным и одним из важных разделов является «контроль качества при сдаче работ по озеленению». Установленные правила на критерии приемки конечного результата можно характеризовать как инструкцию, следование которой позволит сводить к минимуму вероятность некачественного производства работ.

В действующем Постановлении Правительства Москвы от 06.08.2002 № 623-ПП в редакции от 11.07.2006 № 497-ПП в п. 4.5.12 указано, что «крышное и вертикальное озеленение не может носить компенсационный характер». С момента начала действия национального стандарта площадь «зеленой» крыши по любому из перечисленных типов стала включаться в состав зеленых насаждений при подсчете баланса территории объекта капитального

строительства и являться составной частью системы компенсационного озеленения города вне зависимости от вертикальной отметки крыши и этажности зданий и сооружений⁷.

Как итог, можно графически изобразить иерархию российской нормативной документации в зависимости от приоритета исполнения прописанных рекомендаций и правил по вопросу устройства «зеленых» крыш (рис. 4).

В мире использовался ряд инструментов политики для поощрения включения «зеленых» крыш в проекты новых и при модернизации существующих зданий [19–25]. Ниже приводится табл. 2, отражающая несколько основных механизмов, с помощью которых города санкционировали или стимулировали строительство «зеленых» крыш в своей юрисдикции. Список не является окончательным. В табл. 3 приведены примеры наиболее эффективных подходов к вопросу интеграции «зеленых» крыш в городскую застройку в ряде зарубежных стран^{8,9} [24, 26–33].

⁷ ГОСТ Р 58875-2020. «Зеленые» стандарты. Озеленяемые и эксплуатируемые крыши зданий и сооружений. Технические и экологические требования. М. : Стандартиформ, 2020. 50 с.

⁸ Green our City Strategic Action Plan 2017–2021. Vertical and rooftop greening in Melbourne. Victoria, Melbourne : City of Melbourne, 2017.

⁹ Growing Green Guide: Green Roofs, Walls & Facades: policy Options Background Paper. URL: <https://docplayer.net/21825254-Green-roofs-walls-facades-policy-options-background-paper.html>

Рис. 4. Законодательство «зеленого» строительства в Российской Федерации

Табл. 2. Нормирование озеленения крыш в зарубежных странах

№	Страна	Разработка	Политика, программы, нормирование	Цель разработки (содержание)	Реализуемая политика внедрения
1	Россия	Научно-образовательный центр НИУ МГСУ, ООО «Илья Мочалов и Партнеры», Национальный кровельный союз (НКС)	«Зеленые» стандарты. Озеленяемые и эксплуатируемые крыши зданий и сооружений. Технические и экологические требования (ГОСТ Р 58875-2020-2020)	В настоящем стандарте определены основные положения и общие требования в области строительства озеленяемых и эксплуатируемых крыш зданий и сооружений, представлена типология «зеленых» крыш, указаны технические и экологические требования при их проектировании, строительстве и эксплуатации	Добровольное применение
2	Австралия	Городской совет Сиднея, Технический отдел Совета по «зеленым» крышам и стенам	Политика «зеленых» крыш и стен	Руководство, повышение осведомленности, демонстрационные площадки на зданиях; информационные ресурсы; разработка руководств и стандартов; техническая консультативная группа; продвижение и обучение; поддержка исследовательского партнерства; выявление возможностей в существующей схеме планирования и местных средствах управления планированием, нормативных актах, соглашениях о модернизации окружающей среды (EUA), инструментах оценки	Добровольное применение, финансовые поощрения
			Мониторинг	Формирование: плана реализации, руководства по проектированию, руководства по ресурсам, списка мест с «зеленой» крышей в Сиднее на веб-сайте	
3	Канада	«Зеленые» крыши для здоровых городов	Рекомендации по проектированию «зеленых» крыш	Данная статья представляет собой введение в инфраструктуру «зеленой» крыши и описывает, как реализовать и продавать «зеленую» крышу, рассматривает затраты и представляет три тематических исследования	Положение о «зеленой» крыше, финансовые поощрения
			Справочное руководство для муниципальных политиков	Руководство представляет собой обзор международной и канадской политики, а также программ по созданию «зеленых» крыш. Приводятся примеры североамериканских, мировых политик и программ «зеленых» крыш. Политические организации могут найти подходящее решение для конкретного случая	
		М. Стерн; С.В. Пек; Д. Джослин	Политика «зеленых» крыш и стен в правилах, льготах и передовых методах Северной Америки (2019 г.)	Этот отчет разработан, чтобы предоставить корпоративным участникам проекта “«Зеленая» крыша для здоровых городов” информацию о том, где можно найти источники поддержки политики и программ для установки «зеленых» крыш и стен в Северной Америке. Он также разработан в качестве ресурса для политиков и сторонников, заинтересованных в создании или обновлении политики и программ «зеленых» крыш и стен	

		Отделение «Toronto Building», техническая консультативная группа по «зеленой» крыше в Торонто	Стандарт строительства «зеленых» крыш Торонто	Обеспечивает требования к конструкции «зеленой» крыши, которая будет соответствовать минимальным требованиям города к строительству «зеленой» крыши, а также соответствовать Строительному кодексу Онтарио. Стандарт был разработан для облегчения гибкости проектирования, так чтобы каждая «зеленая» крыша могла быть спроектирована с целью максимизации ее эффекта в каждом проекте. Руководство дает специалистам по строительству и другим людям лучшее понимание процесса озеленения крыш	Добровольное применение (к Постановлению о «зеленых» крышах г. Торонто)
4	Греция	Центр возобновляемых источников энергии и энергосбережения (CRES)	Проект “«Зеленые» крыши на общественных зданиях”(в составе серий энергетических демонстрационных программ)	Цель — снизить годовое потребление энергии на обогрев и охлаждение пола под «зеленой» крышей как минимум на 5 % по сравнению с годовым потреблением энергии до внедрения «зеленых» крыш. Проект направлен на устойчивое развитие и ознакомление граждан и пользователей с практикой «зеленого» развития в строительстве, что сразу дает улучшение как окружающей среды здания, так и энергетических характеристик здания. Конечная цель проекта — интеграция «зеленых» крыш в биоклиматический архитектурный дизайн зданий, а также замедление и обращение вспять изменения климата	Разработка руководящих документов обязательного и рекомендательного применения
5	Германия	Немецкая ассоциация садоводов на крышах Общество ландшафтного дизайна и исследований (FLL)	Руководство FLL	Инструкции FLL содержат подробную информацию о работах по техническому обслуживанию «зеленой» кровли и сервисную информацию для технических установок. FLL также распространяется на любые работы по озеленению крыш	Обязательные цели; поощрительное снижение платы за ливневую воду; обязательные требования
6	Чехия	Ассоциация по созданию и поддержанию зелени (при поддержке Министерства окружающей среды)	Стандарты для проектирования, внедрения и обслуживания. Структура растительности «зеленых» крыш	Стандарты строительства, установки и обслуживания предназначены, в первую очередь, для проектировщиков, инвесторов и подрядчиков «зеленых» крыш, но также предоставляют много важной информации строительным и изоляционным компаниям в области новых «зеленых» крыш. Не меньшее значение имеет информация об особых требованиях, которые необходимо соблюдать во время самого монтажа, с учетом некоторых конструкций плоских крыш и свойств материалов изделий. В стандарте подробно описаны соответствующие функциональные слои «зеленых» крыш с акцентом на слой растительности. Стандарты содержат требования к растительности, перечисляя рекомендуемый набор растений. В публикации также рассматривается вопрос временной и постоянной устойчивости более крупных древесных растений на интенсивно озелененных крышах. Завершается условиями получения готовых «зеленых» крыш заказчиком, требованиями к обслуживанию и рекомендуемыми условиями гарантии	Созданы согласно программе субсидирования «зеленой» крыши «Новые «зеленые» сбережения»; добровольное применение; финансовые стимулы

Продолжение табл. 2

		Чешская ассоциация зеленых крыш	Зеленые крыши — надежда на будущее II	Публикация — результат трехлетней систематической деятельности в 2013 г. С 2014 г. организация профессионального конкурса проектов «зеленых» крыш «Зеленая крыша года», благодаря чему данное издание может представить в Чешской Республике два десятка качественных «зеленых» крыш. Успешные проекты служат источником вдохновения для всех прогрессивных инвесторов, будущих и нынешних домовладельцев, представителей власти и администрации	
7	Англия	Департамент по делам сообществ и местного самоуправления	Противопожарные характеристики «зеленых» крыш и стен	Этот документ служит для обзора имеющихся руководящих документов и иллюстрирует результаты испытаний, которые были проведены на «зеленых» крышах и системах «зеленых» стен. В нем также предоставлена информация руководства по аспектам пожарной безопасности при строительстве и обслуживании «зеленых» крыш и стен	Политика в отношении «живых» крыш; руководящие указания
		Организация «зеленой» крыши (GRO)	Экологичность строительства: руководство по использованию «зеленых» крыш, «зеленых» стен и дополнительных элементов в зданиях	Руководство предназначено для использования теми, кому требуется независимая консультация по планированию, проектированию, строительству и обслуживанию «зеленых» крыш, «зеленых» стен и других биологических свойств. В частности, документ направлен на то, чтобы развеять мифы для клиентов и дизайнеров и дать проектировщикам возможность максимально использовать преимущества дизайнерских решений	
		Группа технических консультантов GRO	Кодекс передовой практики «Зеленая» крыша для Великобритании, 2011 г.	Кодекс GRO предназначен для признания в качестве кодекса передовой практики и как таковой должен использоваться для руководства поведением, касающимся проектирования, спецификации, установки и обслуживания «зеленой» крыши	
		Livingroofs.org (независимая организация)	Карманное руководство по «зеленой» крыше	Это руководство представляет собой краткое введение в «зеленые» крыши, отвечает на ключевые вопросы и дает источники дополнительной информации	
8	США	Американский национальный институт стандартов (Single Ply Roofing Industry)	ANSI/SPRI VF-1. Стандарт внешнего противопожарного проектирования растительных крыш (2017)	Стандарт проектирования обеспечивает метод расчета внешней огнестойкости для растительных кровельных систем. Предоставляет минимальное количество рекомендаций по проектированию и установке для тех, кто проектирует, определяет и устанавливает системы растительных кровель. Он должен применяться в соответствии со спецификациями по установке и требованиями производителя конкретных продуктов, используемых в растительной кровельной системе	Поощрение: налоговая скидка; сертификация LEED; требование фактора «зеленого» ландшафта; стимулы в соответствии с Законом о чистой воде; поощрительные скидки

			ANSI/SPRI RP-14. Стандарт ветро-энергетики для вегетативных кровельных систем (2016)	Стандарт обеспечивает метод расчета ветрового сопротивления растительных кровельных систем с использованием приклеенных кровельных мембран. Он предназначен для предоставления минимального количества рекомендаций по проектированию и установке для тех, кто проектирует, определяет и устанавливает системы растительных кровель. Он должен применяться в сочетании с техническими требованиями к установке и требованиями производителя конкретных продуктов, используемых в растительной кровельной системе, или дополняться ими	
9	Япония	Городские «зеленые» технологии	Нео-дизайн «зеленого» пространства, Т. 1–4	Neo Green Space Design содержит базовую технику создания «зеленых» насаждений. Он состоит из четырех томов, в каждом из которых содержится разная информация	Политический мандат
			Руководство по экологичным технологиям кровли и стен	В этой книге дается краткое изложение развития технологий «зеленых» крыш и стен	
		Заинтересованные стороны при наличии государственной поддержки	Экологический план Токио 2012 г., Токио 2020 г., Программа экологичного строительства 2002 г., Система маркировки экологической эффективности токийского метрополитенского кондоминиума, 10-летний проект «Зеленого» Токио 2006 г., Национальный строительный закон 2005 г.	«Зеленый» план Токио» 2012 г. предусматривает налоговые льготы и требует озеленения 20 % крыш частных зданий площадью более 1000 м ² и общественных зданий площадью более 250 м ² . Национальный строительный закон требует, чтобы новые квартиры или офисные здания в городских районах покрывали 20 % ГР	Финансовые стимулы
10	Сингапур	Национальные парки Сингапура (NParks); Управление городской застройки (URA); Благоустройство городских территорий и высотных зданий (LUSH); Центр городской зелени и экологии (CUGE)	Выбор растений для «зеленых» крыш в Сингапуре	В этом справочнике представлены более семидесяти растений, которые подходят для «зеленых» крыш в Сингапуре	Система планирования; стимулы
			Рекомендации по расчетным нагрузкам для крышных сооружений	В этом стандарте излагаются основные соображения по нагрузке и проблемам при проектировании озелененных крыш — с учетом расчетных нагрузок растительности, субстрата, рекомендуемой глубины почвы и надлежащего размещения компонентов ландшафта на крыше по отношению к обычным условиям крыши	

Окончание табл. 2

			Рекомендации по слою основания для озеленения крыш	Этот стандарт описывает основные физические и химические свойства для определения качества состава и конструкции слоя субстрата, используемого для озеленения крыш	
			Рекомендации по фильтрующим, дренажным и барьерным слоям для проникновения корней для зелени на крышах	В этом стандарте излагаются основные технические требования к качеству при строительстве фильтрующих, дренажных и защитных слоев от проникновения корней зелени на крышах	
			Схема стимулирования озеленения Skyrise 2009 г. (SGIS), SGIS 2.0 2015 г., ландшафтный дизайн для городских пространств и высотных зданий 2009 г. (LUSH), LUSH 2.0 2014 г.	SGIS покрывает 50 % затрат на установку «зеленых» крыш; LUSH предоставляет скидки и льготы для развития «зеленых» крыш	Скидки; льготы; программы финансирования
11	Китай	Китайская ассоциация водонепроницаемости зданий	JGJ 155-2013, J683-2013. Техническая спецификация для «зеленой» крыши	«Технический регламент на озеленение кровли» утвержден в качестве отраслевого стандарта под номером JGJ. Пункты 3. 2. 3, 5. 1. 7 являются обязательными положениями и должны строго выполняться. В регламенте дается информация об используемых материалах, техническое обслуживание, применяющаяся растительность	Обязательное применение
		Административное бюро по озеленению, Ассоциация промышленности строительных материалов и др.	DB 31/T493-2020. Технические условия по озеленению крыш	Стандарт дает определение и классификацию озеленения крыш, разъясняет технические требования к нагрузке, водонепроницаемости, водоснабжению и водоотведению зданий для озеленения крыш, а также содержит четкие положения о технических требованиях к проектированию, строительству и обслуживанию озеленения крыш	
		Международный офис управления парками садов и цветов, офисом управления озеленением (Шэньжэнь)	DB440300/T 37-2009. Нормы проектирования озеленения крыш	Этот стандарт определяет основные требования и нагрузки, гидроизоляцию, структурные слои насаждений, садовые участки, садовые дороги, орошение, освещение и другие для озеленения крыш	
12	ОАЭ	Муниципалитет Дубая	Руководство по «зеленой» крыше	Руководство по планированию, выполнению и техническому обслуживанию «зеленой» крыши и «зеленой» стены	Добровольное применение

Табл. 3. Скидки, налоговые льготы и возмещение средств

№	Страна	Наименование программ/скидок	Предложения
1	Германия (Гамбург)	Стратегия «зеленой» крыши	Владельцы зданий, устанавливающие «зеленые» крыши, могут получать субсидии, покрывающие до 60 % затрат на установку. Эта финансовая поддержка (в общей сложности до 3 млн евро) доступна до конца 2019 г. через Министерство окружающей среды и энергетики Гамбурга
2	США (Нью-Йорк)	Программа «Зеленая» крыша и «Солнечная система снижения налогов»	Город и штат предоставили налоговый кредит в размере 5,23 долл. США за квадратный фут, но не более 100 000 долл. США, но прекратили прием заявок 15 марта 2018 г.
3	США (Пало-Альто)	Скидка на «зеленую» крышу	Предоставляет 1,50 долл. за квадратный фут установленных «зеленых» крыш (не более 1000 долл. для жилой недвижимости и не более 10 000 долл. для коммерческой недвижимости). Часть городской программы скидок на меры против ливневых вод
4	США (Вашингтон)	Налоговая скидка на «зеленые» крыши	Кредит предоставлен в счет налога на прибыль и поступления. С 2016 г. кредит составляет 50 % всех затрат на строительство «зеленой» крыши, до 100 тыс. долл.
5	США (Филадельфия)	Программа скидок на «зеленые» крыши (River Smart Rooftops)	Департамент энергетики и окружающей среды округа Колумбия предлагает скидку в размере 10 долл. США (если предлагаемая «зеленая» крыша находится в пределах объединенной канализационной системы) или 15 долл. США (если она находится в пределах муниципальной системы ливневой канализации) за квадратный фут добровольной установки «зеленой» крыши

Можно резюмировать, что в зарубежных странах устройство «зеленых» крыш регламентировалось несколькими нормативными документами, которые имели разную юридическую силу. При добровольном и рекомендательном характере созданной нормативно-технической базы в ряде рассмотренных стран стимулирование к устройству системного решения было представлено в виде финансовых поощрений, включающих скидки и субсидии. Стоит отметить, что выпуск нормативного документа был осуществлен на основании постановлений. Зарубежный опыт показывает, что нормирование вопроса «зеленого» строительства осуществлялось при активном участии узких компетентных организаций — ассоциаций, куда включены физические и юридические лица, активно занимающиеся коммерческой деятельностью в области озеленения зданий, особенно «зеленых» крыш. Ассоциации поддерживают рассматриваемый вопрос как средство устойчивого строительства, защиты окружающей среды и модернизации городских озеленений. Успешный результат в эко-строительстве достигается, если ассоциации становятся членом, например, Европейской федерации ассоциаций «зеленых» крыш и стен, как в случае с Чешской Республикой. Как следствие, происходит обмен информацией, передается опыт посредством проведения тематических семинаров и мастер-классов для профессионалов и более широкой аудитории, издаются экспертные публика-

ции. В большинстве стран сотрудничество по вопросу кровельного озеленения предусматривается при помощи участия в международных конкурсах.

Поскольку на территории России климатические условия в разных районах отличны, то это необходимо учитывать при проектировании крыш. Примером служит Китай, разрабатывающий, наряду с национальными (общими), дополнительные стандарты, включающие особенности монтажа «зеленых» крыш в отдельных городах.

В табл. 3 представлены программы и стратегии финансового стимулирования, которые могут быть применены в России. Существуют другие стратегии и программы, способствующие строительству и установке «зеленой» инфраструктуры, например: ускорение получения разрешений на проект, если «зеленые» крыши являются частью плана проекта; и использование «зеленых» крыш для повышения баллов в планах устойчивого развития. Также актуальным для России станет путь следования по модели США [34]:

- финансирование (грант) установки определенных типов «зеленой» инфраструктуры. Чтобы получить грант, заявки должны быть поданы и одобрены до начала строительства;
- финансирование (скидка) — людям может быть возмещена стоимость (до определенной суммы) на установку определенных типов «зеленой» инфраструктуры;

- финансирование (субсидия) — владельцы собственности вносят оплату в размере части стоимости взноса на «зеленую» инфраструктуру;
- мандат — приняты постановления или правила, требующие «зеленые» крыши при конкретных обстоятельствах;
- программы управления жилищным фондом — существуют финансовые стимулы и техническая поддержка, чтобы вдохновить владельцев собственности добровольно установить и (или) поддерживать «зеленую» инфраструктуру и методы управления ливневыми стоками.

Анализ возможности устройства «зеленых» крыш в Рязанской области

Численность населения Рязанской области являлась зависимой переменной Y . Согласно данным Росстата за период 2001–2020 гг., демографическая обстановка имела следующий вид (рис. 5). Для выявления факторов, оказывающих наибольшее влияние, проведен корреляционный анализ таблицы с исходными значениями. Автоматически сформированная корреляционная матрица отражает положительную взаимосвязь демографии Рязанской области с влияющими факторами $X_2, X_4, X_5, X_6, X_2, X_8, X_9, X_{10}$, и отрицательную с X_1, X_3 . Дальнейшее вычисление t -статистики исключило возможность добавления в модель факторов, которые не воздействуют на выходную величину, приводят к ухудшению качества модели. Значимым коэффициент признается в том случае, если его абсолютная величина превосходит критическое значение Стьюдента. Имея общее количество наблюдений $n = 21$ при уровне значимости 0,05, критическая величина составляет 2,093. Выполнив проверку, были исключены факторы $X_1, X_3, X_4, X_6, X_7, X_{10}$. Их значимость минимальна.

Используя в качестве исходных данных независимые переменные, удовлетворяющие условию значимости: количество выбросов, загрязняющих атмосферу веществ X_2 , искусственное лесовосстановление X_5 , общую площадь городских земель в пределах городской черты X_8 , общую площадь

зеленых насаждений X_9 , произвели регрессионный анализ исходных данных с применением пакета «Анализ данных». Результат показателя R , демонстрирующего насколько значение зависимой переменной Y определяется значениями независимых переменных X , равен $0,802 > 0,8$, что свидетельствует об удовлетворительной точности аппроксимации (модель в целом адекватна описываемому явлению). Достоверность по уровню значимости критерия Фишера (значимость F) значительно меньше — 0,05, поэтому модель значима.

В итоге, используя значения в столбце «Коэффициенты», была получена следующая математическая модель множественной регрессии в естественной форме:

$$\hat{y} = 61\,833,16 + 2,64x_2 + 38,91x_5 - 15,21x_8 + 107,16x_9, \quad (1)$$

где $\hat{y}$ — предсказанное значение параметра, чел.; x_i — независимые переменные.

Интерпретация параметров уравнения: получив окончательные статистические критерии, можно описать математическую модель. Анализ выявил, что в 80,1 % конечный результат зависит от факторов, включенных в исходные данные, и только в 19,9 % случаев от неучтенных. По итогам повторной корреляции, все 4 коэффициента оказывают влияние на зависимую переменную Y . Из уравнения (1) видно, что искусственное лесовосстановление и создание дополнительных площадей с зелеными насаждениями способны увеличить численность областного населения. «Зеленые» крыши будут воспринимать и регулировать негативные последствия жизнедеятельности человека, в частности:

- снижать эффект «теплого острова»;
- препятствовать возникновению парникового эффекта;
- обеспечивать естественный процесс охлаждения и испарения;
- сокращать процент хронических заболеваний.

Положительный коэффициент 2,64 говорит о том, что увеличение объемов выбросов вредных веществ

Рис. 5. Динамика изменения численности населения Рязанской области 2001–2020 гг.

не скажется негативным образом на росте демографической кривой. При неизменных значениях X_5 , X_8 , X_9 , закрепленных на средних уровнях, его влияние минимально и будет нивелироваться факторами лесовосстановления и площади озеленения. Увеличение площадей городских земель будет приводить к снижению роста численности населения, о чем свидетельствует коэффициент 15,21. Это можно объяснить тем, что при включении дополнительной территории в общую площадь учитывается и доля населения, рост которого ежегодно снижается. Тем самым фактор X_8 приводит к демографическому снижению.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ И ОБСУЖДЕНИЕ

На основании результатов данного исследования было выявлено следующее.

1. Каждый исторический период отличался от предыдущего за счет появления новых инженерных решений по компонентному составу. Совокупность возникающих вопросов, предполагаемых решений и опыта, пробы и ошибки послужили формированием «зеленых» крыш новейшего времени, которые, в свою очередь, отличаются широким диапазоном функционального назначения. Неизвестной остается работа системного решения в условиях отечественного климата. Как выяснилось, исторический опыт применения «зеленых» крыш не ограничивался одной климатической зоной. Представленные диаграммы подтверждают возможность монтажа в условиях низких и высоких температур, важным является учет местных природных особенностей на стадии проектирования.

2. Анализ литературных источников показал пробелы, которые имеются на сегодняшний день в «зеленой» политике России. Страны, имеющие большой опыт в использовании системного решения, получают поддержку на законодательном уровне. В России в отношении каждой климатической зоны требуется разработка технических руководящих принципов для планирования, проектирования и ввода в эксплуатацию «зеленых» крыш, как минимум:

- сравнение теплотехнических расчетов для зимнего и летнего сезонов;
- выполнение прочностных расчетов с учетом снеговых и ветровых нагрузок в зимний период;
- определение степени допустимых ветровых нагрузок для разных климатических районов и разных высотных отметок из-за наличия подъемных сил, которым подвержена крыша;
- устойчивость «зеленой» конструкции в сейсмически активных районах.

3. На сегодняшний день статистика по работе «зеленых» крыш в разных климатических зонах даже на теоретическом уровне отсутствует, в таком случае строительные компании не могут взять на себя риски внедрения концепции озеленения в будущие проекты.

4. Необходимо предусматривать финансовые стимулы для широкого распространения практики использования «зеленых» крыш.

5. В России отсутствует проведение мероприятий, помогающих владельцам недвижимости и застройщикам выходить за рамки непосредственного финансового объема для четкого понимания долгосрочных выгод и ставшей актуальной необходимости достижения устойчивой городской среды.

6. «Зеленое» строительство в России не рассматривается как экспериментальный опыт устройства «зеленых» крыш на многоэтажных зданиях, которые можно было осуществить в рамках реновации для фактической оценки результата работ.

7. Успешная реализация зарубежных проектов, экспертная оценка их эффективности, заострение внимания на преимущественных аспектах устройства — превалирующие причины разработки и введения российского стандарта ГОСТ Р 58875-2020, ставшего первым регламентирующим документом по устройству эксплуатируемых «зеленых» крыш. Создание национального стандарта служит свидетельством, что сегменту плоских крыш с озеленением уделяется повышенное внимание, а это означает рост заинтересованности в новых разработках с точки зрения инженерно-конструкторских решений.

8. Выстроенная иерархия нормативной документации наглядно демонстрирует отсутствие документа, имеющего статус обязательного применения при проектировании крыш для интеграции озелененного покрытия в городскую застройку.

9. Несмотря на то что ГОСТ Р 58875 не входит в Постановление № 1521 — перечень нормативных документов обязательного применения — с 1 июня 2020 г. документ стал первоочередным ориентиром для проектировщиков и архитекторов при выполнении проектов озеленения крыш.

10. Принятые нормативные документы по использованию «зеленого» строительства в зарубежных странах разрабатывались, с одной стороны, как способ решения проблемы возникновения городского острова тепла, с другой — как защита окружающей среды преимущественно в мегаполисах. Внедрение «зеленых» крыш на законодательном уровне в каждой из стран отличалось. В большинстве случаев увеличить площадь озелененных покрытий удалось, применяя финансовые стимулы.

11. Таким образом, Россия по-прежнему остается не готовой к масштабному внедрению «зеленых» крыш на территории России. В дальнейшем необходимо проводить эксперименты на теоретическом и практическом уровнях по работе системного решения в разных климатических районах России.

12. Выполнение корреляционно-регрессионного анализа дало возможность оценить зависимо-

сти и обозначить факторы, которые в наибольшей степени оказывают влияние на уровень численности населения в Рязанской области.

13. В процессе корреляционно-регрессионного анализа было получено уравнение множественной регрессии, отражающее усредненное влияние каждого из факторов на конечный результат.

14. Использование факторов и регрессивных моделей позволило спрогнозировать эффективность использования «зеленых» крыш как варианта снижения негативной нагрузки на экологическую обстановку города в последующие годы, а также получить возможность уменьшения процента снижения численности населения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Barnosky A.D., Hadly E.A., Bascompte J., Berlow E.L., Brown J.H., Fortelius M. et al. Approaching a state shift in Earth's biosphere // *Nature*. 2012. Vol. 486. Issue 7401. Pp. 52–58. DOI: 10.1038/nature11018
2. Дульзон А.А. Устойчивое развитие и ресурсоэффективность: проблемы, противоречия // *Философская мысль*. 2017. № 3. С. 131–148. DOI: 10.7256/2409-8728.2017.3.22139
3. Pereira H.M., Leadley P.W., Proença V., Alkemade R., Scharlemann J.P.W., Fernandez-Manjarrés J.F. et al. Scenarios for Global Biodiversity in the 21st Century // *Science*. 2010. Vol. 330. Issue 6010. Pp. 1496–1501. DOI: 10.1126/science.1196624
4. Ильичев В.А., Емельянов С.Г., Колчунов В.И., Бакаева Н.В. Инновационные технологии в строительстве городов. Биосферная совместимость и человеческий потенциал. М.: Изд-во АСВ, 2019. 208 с.
5. Shafique M., Xue X., Luo X. An overview of carbon sequestration of green roofs in urban areas // *Urban Forestry & Urban Greening*. 2020. Vol. 47. P. 126515. DOI: 10.1016/j.ufug.2019.126515
6. Muntean M., Guizzardi D., Schaaf E., Crippa M., Solazzo E., Olivier J.G.J. et al. Fossil CO₂ emissions of all world countries // 2018 Report. 2018. DOI: 10.2760/30158
7. Ильичев В.А., Колчунов В.И., Берсенева А.В., Поздняков А.Л. Некоторые вопросы проектирования поселений с позиции концепции биосферной совместимости // *Academia. Архитектура и строительство*. 2009. № 1. С. 74–80.
8. Yuliani S., Hardiman G., Setyowati E. Green-roof: The role of community in the substitution of green-space toward sustainable development // *Sustainability*. 2020. Vol. 12. Issue 4. P. 1429. DOI: 10.3390/su12041429
9. Grant G. Green roofs and facades. Bracknell: IHS BRE Press, 2006. 71 p.
10. Wilkinson S.J., Feitosa R.C. Retrofitting housing with lightweight green roof technology in Sydney, Australia, and Rio de Janeiro, Brazil // *Sustainability*. 2015. Vol. 7. Issue 1. Pp. 1081–1098. DOI: 10.3390/su7011081
11. Pierce G., Gmoser-Daskalakis K., Jessup K., Grant S.B., Mehring A., Winfrey B. et al. University stormwater management within urban environmental regulatory regimes: Barriers to progressivity or opportunities to innovate? // *Environmental Management*. 2021. Vol. 67. Issue 1. Pp. 12–25. DOI: 10.1007/s00267-020-01377-3
12. Velazquez L.S. Organic greenroof architecture: Design considerations and system components // *Environmental Quality Management*. 2005. Vol. 15. Issue 1. Pp. 61–71. DOI: 10.1002/tqem.20068
13. Townshend D. Study on Green Roof Application in Hong Kong. URL: https://www.devb.gov.hk/filemanager/en/content_29/Green%20roof%20study_executive%20summary%20eng.pdf
14. Taylor R. Green roofs turn cities upside down // *Ecos*. 2008. Issue 143. P. 18–21.
15. Tan Y., Liu G., Zhang Y., Shuai C., Shen G.Q. Green retrofit of aged residential buildings in Hong Kong: A preliminary study // *Building and Environment*. 2018. Vol. 143. Pp. 89–98. DOI: 10.1016/j.buildenv.2018.06.058
16. Peck S. Tokyo Begins to Tackle Urban Heat With Green Roofs // *Green Roof Infrastructure Monitor*. 2001. Vol. 3. Issue 2. P. 4.
17. Dhakal K., Chevalier L. Managing urban stormwater for urban sustainability: Barriers and policy solutions for green infrastructure application // *Journal of Environmental Management*. 2017. Vol. 203. Issue 1. Pp. 171–181. DOI: 10.1016/j.jenvman.2017.07.065
18. Vijayaraghavan K. Green roofs: A critical review on the role of components, benefits, limitations and trends // *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2016. Vol. 57. Pp. 740–752. DOI: 10.1016/j.rser.2015.12.119
19. Huang B., Mauerhofer V., Geng Y. Analysis of existing building energy saving policies in Japan and China // *Journal of Cleaner Production*. 2015. Vol. 112. Pp. 1510–1518. DOI: 10.1016/j.jclepro.2015.07.041
20. Gary G., Dusty G. Living roofs and walls from policy to practice. 10 years of urban greening in London and beyond. URL: <https://livingroofs.org/london-2019-green-roof-report/>
21. Shen L., He B., Jiao L., Song X., Zhang X. Research on the development of main policy instruments for improving building energy-efficiency // *Journal of Cleaner Production*. 2016. Vol. 112. Pp. 1789–1803. DOI: 10.1016/j.jclepro.2015.06.108
22. Kalantari M., Ghezelbash S., Yaghmaei B. People and green roofs: Expectations and perceptions of citizens about green roofs development, an Iranian

case study // *Mediterranean Journal of Social Sciences*. 2016. DOI: 10.5901/mjss.2016.v7n2s2p138

23. Aziz H.A., Ismail Z. Design guideline for sustainable green roof system // 2011 IEEE Symposium on Business, Engineering and Industrial Applications (ISBEIA). 2011. DOI: 10.1109/ISBEIA.2011.6088803

24. Irga P.J., Braun J.T., Douglas A.N.J., Pettit T., Fujiwara S., Burchett M.D. et al. The distribution of green walls and green roofs throughout Australia: Do policy instruments influence the frequency of projects? // *Urban Forestry & Urban Greening*. 2017. Vol. 24. Pp. 164–174. DOI: 10.1016/j.ufug.2017.03.026

25. Tassicker N., Rahnamayiezekavat P., Sutrisna M. An insight into the commercial viability of green roofs in Australia // *Sustainability*. 2016. Vol. 8. Issue 7. P. 603. DOI: 10.3390/su8070603

26. Pianella A., Bush J., Chen Z., Williams N.S.G., Aye L. Green roofs in Australia: review of thermal performance and associated policy development // 50th International Conference of Architectural Science Association. 2016.

27. Ismail Z., Aziz H.A., Nasir N.M., Taib M.Z.M. Comparative study on green roof mechanism in developed countries // 2012 IEEE Symposium on Business, Engineering and Industrial Applications. 2012. DOI: 10.1109/ISBEIA.2012.6422975

28. Dong J., Zuo J., Luo J. Development of a management framework for applying green roof policy in Urban China: A preliminary study // *Sustainability*.

2020. Vol. 12. Issue 24. P. 10364. DOI: 10.3390/su122410364

29. Teotónio I., Silva C.M., Cruz C.O. Eco-solutions for urban environments regeneration: The economic value of green roofs // *Journal of Cleaner Production*. 2018. Vol. 199. Pp. 121–135. DOI: 10.1016/j.jclepro.2018.07.084

30. Van der Meulen S.H. Costs and benefits of green roof types for cities and building owners // *Journal of Sustainable Development of Energy, Water and Environment Systems*. 2019. Vol. 7. Issue 1. Pp. 57–71. DOI: 10.13044/j.sdewes.d6.0225

31. Wu Y., Shen L., Zhang Y., Shuai C., Yan H., Lou Y. et al. A new panel for analyzing the impact factors on carbon emission: A regional perspective in China // *Ecological Indicators*. 2019. Vol. 97. Pp. 260–268. DOI: 10.1016/j.ecolind.2018.10.006

32. Shin E., Kim H. Benefit–cost analysis of green roof initiative projects: The case of Jung-gu, Seoul // *Sustainability*. 2019. Vol. 11. Issue 12. P. 3319. DOI: 10.3390/su11123319

33. Liberalesso T., Cruz C.O., Silva C.M., Manso M. Green infrastructure and public policies: An international review of green roofs and green walls incentives // *Land Use Policy*. 2020. Vol. 96. P. 104693. DOI: 10.1016/j.landusepol.2020.104693

34. Maya S., Steven W.P., Jeff J. Green roof and wall policy in North America. Regulations, Incentives, and Best Practices. URL: <https://greenroofs.org/policy-resources>

Поступила в редакцию 19 февраля 2021 г.

Принята в доработанном виде 1 марта 2021 г.

Одобрена для публикации 12 марта 2021 г.

ОБ АВТОРАХ: Елена Владимировна Сысоева — кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры проектирования зданий и сооружений Института строительства и архитектуры; Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ); 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26; РИНЦ ID: 755880, Scopus: 57192373360, ORCID: 0000-0001-7250-3190; SysoevaEV@mgssu.ru;

Илья Викторович Морозов — магистрант кафедры проектирования зданий и сооружений Института строительства и архитектуры; Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ); 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26; РИНЦ ID: 1039470, Scopus: 57205221924, ResearcherID: AAF-6917-2021, ORCID: 0000-0003-4620-1118; imoroov@gmail.com.

INTRODUCTION

Accelerating climate changes and shrinking natural resources, caused by growing population numbers, may soon make our planet reach a singular point in its development. Over the past 50 years, populations of vertebrates dropped by 58 %. Researchers believe that greenhouse gas emissions of anthropogenic origin will lead to an increase in the temperature of the Earth atmosphere by more than 2–60 °C in the coming decades [1, 2].

Fast-paced life facilitates the development of innovative technologies whose operation entails the con-

sumption of fuel, electricity, gas and other resources; therefore, it is difficult to unambiguously predict the occurrence of natural disasters, because future external and internal environmental impacts remain unclear [3].

The main sources of pollution include settlements and industry. Hence, one needs to concentrate on urban areas to take care of the biosphere. Industrial agglomerations, transport and its infrastructure are the main pollutants that have assumed the function of civilization destroyers [4]. The consequences are set forth by the Federal Service of State Statistics (Rosstat). If we consider

Fig. 1. Diseases in Russia from 1992 to 1998 and from 2000 to 2005

the morbidity rate over the past 30 years (Fig. 1), we can track the predominance of respiratory diseases.

Multiplication of green roofs increases the size of landscaped area in megacities which can mitigate negative anthropogenic impacts on the environment, including those resulting from construction works, accompanied by shrinking vegetation areas in the urban environment. The positive effect can be direct and/or indirect. In the first case, vegetation and soil (substrate) will capture carbon dioxide (CO_2); in the second case, the availability of a system solution will reduce power consumption and minimize the use of fuel resources [5].

Experts, employed with the joint research center of the European Commission, believe that CO_2 emissions increased by 1.2 % in 2017 if compared with the previous year. Top largest emitter countries include the United States, China, 28 EU countries, India, Russia and Japan¹ [6]. The pace of CO_2 waste generation is shown in Fig. 2.

The concept of biosphere compatibility of cities and settlements, developed by the Russian Academy of Architecture and Construction Sciences under the leadership of academician V.A. Ilyichev is gaining relevance. It is focused on compliance with the criterion of progressive urban development (in terms of the state of the biosphere adjacent to urban territories and

the level of human potential in urbanized territories) and reduction of destabilizing factors. This includes ingredient and parametric contamination of the natural environment and its components, expansion of the city into the natural environment by means of transport networks, engineering communications, etc., leading to the reduction in the size and integrity of natural frameworks, as well as the decrease in their stability and effectiveness of favorable impacts on the urban environment. The biosphere compatibility of cities is possible if nine conditions are met (Fig. 3) [7, 8]. Green roofs will improve the ecological situation in megacities, helping to reduce the total amount of CO_2 emissions.

Historical background

The concept of vegetation on the roof was developed for various climatic conditions. Vegetation was used as a building element or a way to mitigate the effects of high temperatures in hot climates. This was mainly due to the insulating qualities of layers of soil (drainage) and plants in cold climates, they helped to retain heat in the building, and in warm climates, on the contrary, they served as heat protection devices^{2, 3, 4}[9–11].

The cultural development of individual periods had a direct impact on structural and external design

¹ IPCC, 2014: Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, 2014; 151.

² Estonian National Museum. URL: www.erm.ee/?node=462&lang=eng

³ Encyclopedia of vernacular architecture of the world / ed. By P. Oliver. Cambridge, Cambridge University Press, 1988.

⁴ Green Roofs: Their Existing Status and Potential for Conserving Biodiversity in Urban Areas. Peterborough, English Nature, 2003; 60.

Fig. 2. Carbon dioxide (CO₂) emissions, in billion tons of CO₂

of roofs [12]. In some cultures, the green roof demonstrated the social status of landlords. The green roof served as a place for socializing or enjoying the garden on an outdoor patio which was often unavailable to people with low incomes. Since the beginning of the 20th century, attempts have been made to find solutions to improve the lives of urban residents. Despite this approach and social beliefs, vegetation was still a core constituent of the well-being of residents. At the beginning of the 20th century, more focus was placed on people and society than the environment itself [13–18].

The chronological sequence of development of green roofs is shown in Table. 1. Each historical period differs from the previous one due to the emergence of new engineering solutions whose composition was different from the previous ones.

MATERIALS AND METHODS

In the course of the work, the following methods of research were used: analysis, system approach, synthesis, deduction, and comparative analysis. The method of correlation and regression analysis based on multiple linear regression was used to determine factors of maximal influence on the total population of the Ryazan region.

Independent variables, used in the study, included the variable of demographic population growth (X_1) and environmental parameters, such as the amount of emissions X_2 , air pollutants from fixed sources; contaminated wastewater discharges X_3 ; reforestation and landscap-

ing of roofs X_4 ; artificial reforestation X_5 ; the number of dead forest plants X_6 , including coniferous plants X_7 ; the total area of urban land within the city limits X_8 ; the total area of green spaces X_9 ; removal of municipal solid waste X_{10} . Total population Y was a dependent variable.

To assess the significance of each regression coefficient, we used t -criterion. We took $p = 0.05$ in the research. The value of R^2 , the coefficient of determination,

Fig. 3. Basic principles of V.A. Ilyichev's concept of a biosphere-compatible territory

⁵ Design Considerations for the Implementation of Green Roofs. URL: <https://ru.scribd.com/document/35297463/Design-Considerations-for-the-Implementation-of-Green-Roofs>

Table 1. Historical development of landscaped areas

Title	Description	Illustrations
<i>The ancient world (BC)</i>		
Turf roofs (first stage) and prairies	Truss structures, having the slope of 30°, had a framework made of wicker willow or hazel branches. Next, three layers of birch tree bark were laid, of which the final layer took the load applied to the turf. The turf was laid in two layers, the first (bottom) layer had the plant layer placed upside down, while the second one had the plant layer placed normally
Hanging gardens of Babylon	The garden had several terraces, one above the other, giving the impression of massive green steps. The upper level was 25 m above the ground level. The restored structure had cut stone, two rows of bricks and lead plates acting as waterproofing. Reeds pre-soaked with bitumen rested on these slabs, and the top part was covered with vegetable soil
<i>17th century</i>		
Turf roofs (second stage)	The roof had a framework made of cedar beams and rafters. Three layers of organic materials were laid on top: wild plum or chokeberry, wild grass, fine clay or gypsum. Turf was placed on top. The grass was to grow up on top, so that it continued to grow, restore its roots, generate the protective layer made of grass to prevent erosion
<i>18th–19th centuries</i>		
Carl Rabitz's natural roofing with volcanic cement	<p>This flat roof was composed of cast concrete in wooden formwork and an insulation layer; bitumen cement, volcanic cement, which represents a mixture of Portland cement (burnt limestone + clay) and volcanic rock with gravel; soil; plants, trees, vegetables.</p> <p>Most importantly, Karl Rabitz understood the essence of insulation. In 1867, the recommendations of the Berlin builder represented the right choice of the framework, insulation material, humus layer, an irrigation system, windshield, etc.</p>

The first half of the 20th century

General roofing from the 1940s to the 1960s	Green roofs were particularly popular in the 20th century. In the first half of the 20th century, different materials were used, including the membrane protected with a sand-cement screed and a gravel drainage layer covered with quilted fiberglass, one layer of peat and the top layer of soil	<div> Vegetation layer Top layer of soil Peat Quilted fiberglass Gravel drainage Sand-cement screed Membrane Concrete framework </div>
---	--	--

The second half of the 20th century

General roofing in the 1960s	In the second half of the 20th century, the structure of green roofs had the following sequence of layers: traditional roofing represented a membrane covered with an extruded polystyrene insulation layer and a Leca drainage layer covered with geotextile and a modified top soil layer	<div> Vegetation layer Layer of modified soil Geotextile Leca drainage Extruded polystyrene Membrane Concrete framework </div>
------------------------------	---	--

The early 21st century – present

California Academy of Sciences	On the whole, the historical period as a whole is characterized by the rise of green roof technologies. The roof design provides unique research opportunities, as different plants and their root systems respond differently to the dome inclination angle. Structural layers (from bottom to top) include thermoplastic waterproofing; polystyrene insulation; vinyl protective layer; a plastic drainage layer; a polypropylene sheet filter; an additional soil layer; biodegradable trays; about 80 plant species	<div> Vegetation layer (80 species) Biodegradable trays (soil) Additional soil layer Polypropylene filtering layer Plastic drainage layer Vinyl protective layer Polystyrene insulation Thermoplastic waterproofing Reinforced concrete framework </div>
An experimental facility located at 34 Sheremetyevskaya st., Moscow	An experimental unit, produced in 2009, provides for a better understanding of an extensive type of roofing. The thickness of the substrate layer is less than 12 cm. Roof tours are conducted once a year, as this type of roofing is not designated for walking. The layers of the experimental unit have the following sequence (from bottom to top): two layers of insulation; root prevention system; drainage; filter membrane; expanded clay substrate; planting of sedums and grass with some flowers	<div> Vegetation layer (sedums and grasses) Expanded clay substrate (120 mm) Filter membrane Drainage Root prevention system Second layer of the thermal insulation material First layer of the thermal insulation material Reinforced concrete framework </div>

was taken into account to determine how close the data are to the selected regression line.

The calculation was performed using MS Office Excel 2016. In the study, publicly available data extracted from state statistical reports and reports issued by the Ministry of natural resources of the Ryazan region for 2001–2019 were used in our calculations.

RESEARCH RESULTS

Regulatory and technical framework

Before the introduction of the All-Russian State Standard in Russia, the insufficiently complete regulatory framework, governing green roofs, was scattered across several legal acts.

The content of Construction regulations 17.13330.2017 “Roofs. Updated version of SNiP II-26-76” is reduced to one paragraph “green roofs”, which provides general information about the sequence of layers, materials to be used and permitted loads. Structural roof solutions and technical characteristics of materials are specified in separate paragraphs of Appendix G. Elements of roof landscaping and other landscaping items are separately highlighted in Appendix D, that also sets the requirements applicable to the substrate, vegetation diversity and forms of landscaping⁶.

The “Recommendations for landscape design and improvement of roofs of residential and public buildings and other artificial frameworks” (JSC Mosproject, 2000) and “Manual for landscaping and improvement of roofs of residential and public buildings, underground and semi-underground garages, civil defense facilities and other structures” (JSC Mosproject, Moscow, 2001) describe in detail the features of used roofs; provide the values of acceptable supplementary loads on operated roofs that accommodate gardens resting on artificial frameworks; methods of wind and solar radiation protection; fire protection measures and lightning protection; architectural and construction details provided in the form of illustrative material, a selection of vegetation designated for “rooftop gardens”. A separate paragraph contains the requirements applicable to “green” roofs: their use depending on the type of building, acceptable degrees of slope, functional purpose, methods of installation of “green” coatings, recommendations for the arrangement of rolled lawns.

The “Guide to the design and arrangement of roofs accommodating landscaped rooftop gardens using Technoelast-green, an enhanced protection material that prevents the growth of roots”, manufactured by TECHNOMICOL (CJSC TECHNOMICOL, Moscow, 2004) has information on the features of materials; structural solutions; roof design with a detailed

step-by-step description of individual installation features; on structural nodes to be studied to ensure the appropriate work performance; repairs; quality control (work acceptance rules); ways to ensure compliance with the safety requirements applicable to the installation of waterproofing; environmental protection.

The development of GOST R 58875-2020 took about five years; the document has eight main sections. The scope of its application is clear as of the first pages of this national standard. The document introduces general terms and definitions, which will further serve a professional dialogue between designers and customers focused on rooftop landscaping. The typology of “green” roofs is updated, now it has three varieties. Large-scale work was carried out to draft a section on environmental requirements applicable to the design of green roofs, it contains detailed information on the compatibility of materials and plants; their protection from harmful substances; requirements applicable to substrates, planting material, water and irrigation control systems. For example, the impossibility of using loam as a substrate or a substrate component of roof landscaping is now a publicly available item of information provided in the updated version of the national standard rather than a manual. The technical requirements section regulates design loads, structural design of “green” roofs, and general safety requirements. The final section is “quality control during the delivery of landscaping works”, which is one of the most important ones in the national standard. The rules governing the work acceptance criteria can be characterized as instructions, which will minimize the likelihood of poor-quality work.

Paragraph 4.5.12 of effective Resolution No. 623-PP issued by the Moscow Government on August 6, 2002, including the revised version No. 497-PP issued on July 11, 2006, states that “rooftop and vertical gardening cannot be compensatory”. As of the effective date of the national standard, the area of the “green” roof of any listed type must be considered as a landscaped area in the process of calculating the balance of the territory of a construction facility; it must be considered an integral part of the urban compensatory landscaping system, regardless of the vertical roof mark and the number of floors in buildings and structures⁷.

As a result, it is possible to graphically depict the hierarchy of Russian regulations, depending on the priority of implementing recommendations and rules applicable to the construction of “green” rooftops (Fig. 4).

A number of policy implementation tools were used to encourage the integration of “green” roofs

⁶ Construction regulations 17.13330.2017. Roofs. Updated version of SNiP II-26-76. Moscow, Ministry of Construction of Russia, 2017; 44.

⁷ GOST R 58875-2020. “Green” standards. Landscaping and accessible rooftops of buildings and structures. Technical and ecological requirements. Moscow, Standartinform Publ., 2020; 50.

Fig. 4. Green construction legislation in the Russian Federation

into new projects and boost the modernization of existing buildings [19–25]. Table 2 below shows some of the main mechanisms by virtue of which cities authorized or encouraged the construction of green roofs. The list is not exhaustive. Table 3 shows examples of the most effective approaches to the integration of “green” roofs into urban development in a number of foreign countries^{8,9}[24, 26–33].

In foreign countries, the construction of “green” roofs was regulated by several legal acts whose legal force was different, as well. Despite the voluntary and recommendatory nature of the regulatory and technical framework, incentives aimed at the installation of a system solution were used by a number of countries in the form of financial incentives, including discounts and subsidies. It is noteworthy that the issuance of regulatory documents was carried out in furtherance of reso-

lutions. Foreign experience shows that the regulation of “green” construction was carried out with the active involvement of competent organizations and associations; individuals and legal entities are actively engaged in business activities in the field of building landscaping, especially “green” roofs. Associations support this issue as a means of sustainable construction, environmental protection and modernization of urban landscaping. Successful eco-construction results are achieved if associations become members of, for example, the European Federation of green roof and wall associations, as in the case of the Czech Republic. As a result, the information and experience are shared at thematic seminars and master classes for professionals and the general public, and expert publications are published. In most countries, cooperation on landscaped roofs is implemented through participation in international competitions.

⁸ Green our City Strategic Action Plan 2017–2021. Vertical and Rooftop greening in Melbourne. Victoria, Melbourne: City of Melbourne, 2017.

⁹ Growing Green Guide: Green Roofs, Walls & Facades: policy Options Background Paper. URL: <https://docplayer.net/21825254-Green-roofs-walls-facades-policy-options-background-paper.html>

Table 2. Standardization of roof landscaping in foreign countries

No	Country	Developer	Policies and programmes, standardization	Programme/policy goals (content)	Implementation policy
1	Russia	Centre for research and education at MGSU National Research University, Ilya Mochalov & Partners LLC, National Roofing Union (NRU)	Green standards. Green and walkable roofs of buildings and structures. Technical and environmental requirements (GOST R 58875-2020-2020)	This standard determines the main provisions and general requirements for the construction of green and walkable roofs of buildings and structures, provides a typology of “green” roofs, specifies technical and environmental requirements for their design, construction and operation	Voluntary use
2	Australia	Sydney city council, Technical Department of the green roofs and wall councils	Green roof and wall policy	Guidance, awareness raising, demonstration on buildings; information resources; development of guidelines and standards; technical advisory group; promotion and training; support for research partnerships; identification of opportunities in the existing planning patterns and local planning management tools, regulations, environmental modernization agreements (EUAs), assessment tools	Voluntary use, financial incentives
				Development of the implementation plan, design guide, resource guide, list of green roof locations in Sydney on the website	
3	Canada	Green roofs for healthy cities	Recommendations for the design of green roofs	This article is an introduction to the green roof infrastructure and it describes the implementation and sale of green roofs, examines costs, and presents three case studies	Green roof regulations, financial incentives
			Reference guide for municipal politicians	The guide provides an overview of international and Canadian green roof policies and programs. Examples of North American and global green roof policies and programmes are provided. Political organizations can find the right solution for a specific case	
		M. Stern; S.V. Peck; D. Jocelyn	Green roof and wall policies in North American regulations, benefits and best practices (2019)	This report is designed to provide information on sources of support for green roof and wall installation policies and programs in North America to corporate participants of “Green roofs for healthy cities”. It is also designed as a resource for policy makers and supporters interested in creating or updating green roof and wall policies and programmes.	Voluntary application (together with the Toronto resolution on green roofs)
		Toronto Building section, Toronto green roof technical Advisory group	Toronto green roof construction standard	It has green roof design requirements that comply with green roof construction standards, as well as the Ontario Building code. The standard was developed to facilitate design flexibility, so that each “green” roof could be designed to maximize its effect in each project. The guide provides construction professionals and others with a better understanding of the roof landscaping process	

Continuation of the Table 2

4	Greece	Center for renewable energy sources and energy conservation (CRES)	Project “Green roofs of public buildings” (as part of a series of demonstrative energy programmes)	The goal is to reduce annual energy consumption for heating and cooling floor under a green roof by at least 5 % compared to annual energy consumption before the introduction of green roofs. The project is aimed at sustainable development and it familiarizes citizens and users with the practice of “green” development in construction, which immediately improves both the environment of the building and the energy characteristics of the building. The final goal of the project is to integrate green roofs into bioclimatic architectural design of buildings, and decelerate and reverse climate change	Development of mandatory and recommendatory guidance documents
5	Germany	German Association of roof gardeners	FLL guide	FLL instructions provide detailed information on green roof maintenance and service information for technical installations. FLL also applies to any roof landscaping work	Binding goals; reduction of charges due to the stormwater collection; mandatory requirements
		Society for landscape design and research (FLL)			
6	The Czech Republic	Association for the creation and maintenance of landscaped areas (supported by the Ministry of environment)	Standards for design, implementation, and maintenance. The structure of vegetation on “green” rooftops	The construction, installation and maintenance standards are primarily designated for green roof designers, investors and contractors, but also provide a lot of important information to construction and insulation companies. No less important is the information about the special requirements that must be observed during installation, taking into account some flat roof designs and the material properties of products. The standard has a detailed description of functional layers of “green” roofs with an emphasis on the vegetation layer. The standards contain requirements for vegetation, listing the recommended set of plants. The publication also addresses the issue of temporary and permanent sustainability of larger plants on heavily landscaped roofs. It is completed with the conditions for obtaining ready-made “green” roofs by the customer, maintenance requirements and recommended warranty conditions	Developed within the framework of New green saving, a green roof subsidy programme; voluntary use; financial incentives
		Czech Green Rooftop Association	Green roofs as a hope for the future — II	The publication is the result of three years of systematic activities in 2013. Since 2014, the organization of a professional competition for green roof projects “Green roof of the year”, thanks to which this publication can present two dozen high-quality “green” roofs in the Czech Republic. Successful projects serve as a source of inspiration for all progressive investors, future and current homeowners, government officials and administrators	

Continuation of the Table 2

7	England	Department of communities and local self-government	Fire-fighting characteristics of “green” roofs and walls	This document provides an overview of existing guidance documents and illustrates the results of tests performed on green roofs and wall systems. It also provides guidance on fire safety aspects in the construction industry and maintenance of green roofs and walls	“Living” roof policy; guidelines
		Green roof arrangement (GRO)	Eco-friendly construction: a guide to the use of green roofs, green walls and additional elements of buildings	The guide is designated for those who need independent advice on the planning, design, construction, and maintenance of green roofs, green walls, and other biological properties. In particular, the document aims to dispel myths and give designers the opportunity to maximize the benefits of design solutions.	
		GRO group of technical consultants	Green roof code of best practice for the UK, 2011	The GRO code aspires to be the code of best practice and as such it should be used to guide the behavior in terms of design, specification, installation and maintenance of a green roof	
		Livingroofs.org (an independent organization)	Pocket guide to a green roof	This guide provides a brief introduction to green roofs, answers to key questions, and it contains sources of additional information.	
8	USA	American National Standards Institute (Single Ply Roofing Industry)	ANSI/SPRI VF-1 A standard for the external fire protection design of vegetation roofs (2017)	The design standard provides a method for calculating the external fire resistance of plant roofing systems. It has a minimum number of design and installation recommendations for those who design, define, and install green roofing systems. It must be applied in accordance with installation specifications and manufacturer requirements	Promotion: tax discounts; LEED certification; green landscape factor requirement; incentives pursuant to the Clean Water Act; discounts
			ANSI/SPRI RP-14 Wind energy standard for green roofing systems (2016)	The standard provides a method for calculating the wind resistance of plant roofing systems using glued roof membranes. It provides the minimum number of design and installation recommendations to those who design, define, and install plant-based roofing systems. It should be applied in conjunction with the installation specifications and manufacturer requirements in terms of specific products used in the plant roofing system, or be supplemented by them	
9	Japan	Urban “green” technologies	Neo-design of the “green” space, vol. 1–4	Neo Green Space Design contains a basic technique for creating green spaces. It consists of four volumes, each having different information	Political mandate
			A guide to eco-friendly roof and wall technologies	This book has summarized green roof and wall technologies	
		Stakeholders that enjoy government support	Tokyo environmental plan 2012, Tokyo 2020, green building Program 2002, Metropolitan Tokyo environmental performance ranking system, 10-year Green Tokyo project 2006, national building law 2005	The 2012 Tokyo green plan has tax incentives and it requires that 20 % of the roofs of private buildings with an area of over 1,000 sq. m are to be landscaped and the same for public buildings with an area of more than 250 m ² . The national construction law requires new apartments or office buildings in urban areas to cover 20 % of the GR	Financial incentives

10	Singapore	Singapore national parks (NParks); urban development authority (URA); urban area and high-rise building improvement (LUSH); center for urban greenery and ecology (CUGE)	Choosing plants for green roofs in Singapore	This guide contains more than seventy plants that are suitable for green roofs in Singapore	Planning system; incentives
			Recommendations concerning design loads applied to roof structures	This standard sets out the main load-related considerations and challenges in designing green roofs taking into account the estimated loads of vegetation, substrate, recommended soil depth, and proper arrangement of landscape components on the roof under normal roof conditions	
			Recommendations for the bottom layer of landscaped roofs	This standard describes basic physical and chemical properties needed to determine the quality of the composition and construction of the substrate layer used for roof landscaping	
			Recommendations for filtering, drainage and barrier layers that prevent root penetration	This standard sets out the main technical quality requirements applicable in the course of construction of filter, drainage and protective layers that prevent the penetration of green roots on roofs	
			Skyrise green incentive scheme 2009 (SGIS), SGIS 2.0 2015, landscape design for urban spaces and high-rise buildings 2009 (LUSH), LUSH 2.0 2014	SGIS covers 50 % of the cost of installation of green roofs; LUSH provides discounts and benefits aimed at the development of "green" roofs	Discounts; benefits; funding programs
11	China	Chinese association of water resistance of buildings	JGJ 155-2013, J683-2013 Technical specifications for green roofs	"Technical regulations for roof landscaping" is approved as an industry-wide standard having the JGJ number. Sections 3. 2. 3, 5. 1. 7 are mandatory provisions, and they must be implemented. The regulations provide information about the materials used, the maintenance procedure and vegetation	Mandatory use
		Administrative office for landscaping, Association of the building materials industry, etc.	DB 31/T493-2020, technical specifications for roof landscaping	The standard defines and classifies roof landscaping, explains the technical requirements applicable to loading, water resistance, water supply and drainage of buildings designated for roof landscaping, and it also contains clear technical requirements for the design, construction and maintenance of roof landscaping	
		International garden and flower park management office, landscaping management office (Shenzhen)	DB440300/T 37-2009, roof landscape design standards	This standard defines basic requirements and loads, waterproofing, structural layers of plantings, garden plots, garden roads, irrigation, lighting and other factors of roof landscaping	
12	United Arab Emirates	Dubai municipality	Green roof guide	Green roof and green wall planning, implementation, and maintenance guide	Voluntary use

Table 3. Discounts, tax benefits, and refunds

No	The country	Full name of programmes/ discounts	Programme in brief
1	Germany (Hamburg)	Green roof strategy	Building owners who install green roofs can receive subsidies covering up to 60 % of installation costs. This financial support (up to the total of 3 million euros) is available until the end of 2019 through the Hamburg Ministry of environment and energy.
2	USA (New York)	Green roof and solar tax reduction program	The city and the state provided a tax credit of \$ 5.23 per square foot, but no more than \$ 100,000, but they stopped accepting applications on March 15, 2018
3	USA (Palo- Alto)	Green roof discount	Provides \$ 1.50 per square foot of installed green roofs (\$ 1,000 or less for residential properties and \$ 10,000 or less for commercial properties). Part of the urban program of discounted stormwater fighting measures
4	USA (Washington)	Tax discounts applicable to green roofs	The loan is provided against income tax and receipts. Since 2016, the loan reaches 50 % of all costs incurred in the process of construction of a “green” roof, up to \$100,000
5	USA (Philadelphia)	A discount program for “green” roofs (River Smart rooftops)	The district of Columbia Department of energy and environment offers a discount of \$ 10 (if the proposed “green” roof is located within the combined sewer system) or \$ 15 (if it is located within the municipal storm sewer system per square foot of voluntary green roof installation

Since the climatic conditions are different in different regions of Russia, this fact should be taken into account in the course of the roof design. Let’s address the case of China, that develops additional standards that include features of installation of “green” roofs in the cities along with national (general) standards.

Table 3 shows the financial incentive programs and strategies that can be applied in Russia. There are other strategies and programs that promote the construction and installation of the green infrastructure, such as the acceleration of the project approval if green roofs are part of the project plan and using green roofs for sustainable development plans to get higher scores. The US model is also relevant for Russia [34]:

- funding (by means of a grant) the installation of certain types of “green” infrastructure. Applications must be submitted and approved before construction begins;

- financing (by means of a discount): the installation of certain types of “green” infrastructure may cause the reimbursement of a portion of its cost (up to a certain amount);

- financing (by means of a subsidy): property owners make payments in the amount of a portion of the contribution for the “green” infrastructure;

- a mandate: effective regulations or rules require green roofs in specific circumstances;

- housing management programmes: there are financial incentives and technical support to encourage property owners to voluntarily install and/or maintain green infrastructure and storm water management practices.

The analysis of the feasibility of installing “green” roofs in the Ryazan region

According to the Rosstat data, the population of the Ryazan region was a dependent variable Y in

Fig. 5. Population change in the Ryazan region in 2001–2020

the 2001–2020 period, the demographic situation is illustrated in Fig. 5. A correlation analysis of the table that has input values was performed to identify the factors that have the greatest impact. The automatically generated correlation matrix demonstrates a positive relationship between the demography of the Ryazan region and factors $X_2, X_4, X_5, X_6, X_7, X_8, X_9, X_{10}$, and its negative relationship with X_1, X_3 . Further calculation of t -statistics excluded the possibility of adding factors to the model that do not affect the output value and worsen the model quality. A coefficient is considered significant if its absolute value exceeds the Student critical value. Having the total number of observations $n = 21$ with a significance level of 0.05, the critical value is 2.093. As a result of verification $X_1, X_3, X_4, X_6, X_7, X_{10}$ factors were excluded. Their significance is minimal.

The regression analysis of the source data was performed using the “Data Analysis” package and independent variables that meet the significance condition, such as the amount of air pollutants X_2 , artificial reforestation X_5 , the total area of urban land in front of the city line X_8 , the total area of green spaces X_9 . The value of R , showing dependence of the value of dependent variable Y on the values of independent variables X , is equal to $0.802 > 0.8$, which indicates satisfactory approximation accuracy (the model as a whole is adequate to the described phenomenon). The reliability based on the level of significance of the Fisher criterion (significance F) is much smaller, as it is equal to 0.05; therefore, the model is significant.

As a result, using the values in the “Coefficients” column, the following mathematical model of multiple regression was obtained in its natural form:

$$\hat{y} = 61\,833,16 + 2,64x_2 + 38,91x_5 - 15,21x_8 + 107,16x_9, \quad (1)$$

where $\hat{y}$ is the predicted value of the parameter, persons; x_i are independent variables.

As for the interpretation of equation parameters, if final statistical criteria are available, you can describe the mathematical model. The analysis has proven that in 80.1 % of cases, the final result depends on the factors included in the input data, and only in 19.9 % of cases the final result depends on disregarded factors. Given the results of another correlation, all four coefficients have an impact on dependent variable Y . Equation (1) shows that artificial reforestation and additional areas with green spaces can boost population numbers in a given region. “Green roofs” will perceive and regulate the negative consequences of human activities, in particular:

- reduce the “heat island” effect;
- prevent the greenhouse effect;
- trigger a natural cooling and evaporation process;
- reduce the percentage of chronic diseases.

A positive coefficient, equal to 2.64, indicates that an increase in emissions of harmful substances will not have a negative effect on the rise of the demographic curve. If the averaged values of X_5, X_8, X_9 are unchanged, its impact is minimal and it will be

offset by factors of reforestation and landscaped areas. An increase in the area of urban land will decelerate population growth, as indicated by the coefficient equal to 15.21. This can be explained by the fact that when an additional territory is included into the total area, the share of the population whose growth decreases annually is also taken into account. Thus, the X_8 factor leads to the demographic decline.

CONCLUSION AND DISCUSSION

The following conclusions were made based on the results of this study.

1. Each historical period was different from the previous one due to the emergence of new engineering solutions that had different component compositions. A combination of emerging issues, anticipated solutions and experience, trial and error served to design “green” roofs of modern times, which, in turn, differ due to the wide range of functional purposes. Consequences of the system solution in the domestic climate remain unknown. As it has turned out, the historical experience of using “green” roofs was not limited to one climatic zone. The charts have proven the feasibility of installation at low and high temperature conditions, it is important to consider the local natural features at the design stage.

2. The analysis of research works has identified the gaps in the “green” policy of Russia. Countries that have extensive experience in using the system solution enjoy support at the legislative level. In Russia, each climate zone requires dedicated technical guidelines for the planning, design and commissioning of green roofs, including, at least:

- comparison of thermal designs for winter and summer seasons;
- strength analysis with regard for snow and wind loads in winter;
- identification of acceptable wind loads for different climatic regions and heights due to the presence of lifting forces to which the roof is exposed;
- stability of the “green” structure in seismically active areas.

3. To date, there is no statistics on the operation of “green” roofs in different climatic zones, even at the theoretical level. In this case, construction companies cannot assume the risks of implementing the concept of landscaping in the future projects.

4. Financial incentives should be provided to promote the widespread use of green roofs.

5. Russia has no measures that help property owners and developers to go beyond the immediate financial scope to clearly understand long-term benefits and a relevant need for a sustainable urban environment.

6. “Green” construction is not considered in Russia as experimentally accumulated experience of installing “green” roofs on multi-storied buildings, which could be carried out as part of renovation processes to assess the results of the work.

7. Successful implementation of foreign projects, expert assessment of their effectiveness, focused on the primary aspects of green roofs are the main reasons for the development and introduction of the Russian standard GOST R 58875-2020, which is the first regulatory document that regulates walkable “green” roofs. The development of a national standard shows that the segment of landscaped flat roofs enjoys particular attention, and this means a focus on new developments in engineering and design solutions.

8. The hierarchy of regulatory documents clearly demonstrates the absence of a binding document governing the design of roofs to ensure the integration of landscaped areas in urban development.

9. Despite the fact that GOST R 58875 is not included in Resolution No. 1521, that has a list of mandatory regulatory documents, since June 1, 2020, the document has become a priority guideline for designers and architects working at roof landscaping projects.

10. Regulatory documents governing “green” construction in foreign countries were developed, on the one hand, as a way to solve the problem of emergence of an urban heat island, and on the other hand, to protect the environment in megacities. The imple-

mentation of “green” roofs at the legislative level was unique in each country. In most cases, it was possible to increase the area of green areas by applying financial incentives.

11. Thus, Russia is still not ready for the large-scale introduction of “green” roofs. In the future, it is necessary to conduct theoretical and practical experiments to study the efficiency of the system solution in different climatic regions of Russia.

12. The implementation of correlation and regression analysis made it possible to assess the dependencies and identify the factors that have the greatest impact on population numbers in the Ryazan region.

13. In the process of correlation and regression analysis, a multiple regression equation was obtained that reflects the average influence of each of the factors on the final result.

14. The use of factors and regression models made it possible to predict the effectiveness of “green” roofs as an option capable of reducing the negative impact to be produced on the ecological situation in the cities in the future, as well as to get the opportunity to reduce the population decline.

REFERENCES

1. Barnosky A.D., Hadly E.A., Bascompte J., Berlow E.L., Brown J.H., Fortelius M. et al. Approaching a state shift in Earth's biosphere. *Nature*. 2012; 486(7401):52-58. DOI: 10.1038/nature11018
2. Dulzon A.A. Sustainable development and resource efficiency: problems, contradictions. *Philosophical Thought*. 2017; 3:131-148. DOI: 10.7256/2409-8728.2017.3.22139 (rus.).
3. Pereira H.M., Leadley P.W., Proença V., Alkemade R., Scharlemann J.P.W., Fernandez-Manjarrés J.F. et al. Scenarios for global biodiversity in the 21st Century. *Science*. 2010; 330(6010):1496-1501. DOI: 10.1126/science.1196624
4. Il'ichev V.A., Yemel'yanov S.G., Kolchunov V.I., Bakayeva N.V. *Innovative technologies in city building. Biosphere compatibility and human potential*. Moscow, ASV Publishing House, 2019; 208. (rus.).
5. Shafique M., Xue X., Luo X. An overview of carbon sequestration of green roofs in urban areas. *Urban Forestry & Urban Greening*. 2020; 47:126515. DOI: 10.1016/j.ufug.2019.126515
6. Muntean M., Guizzardi D., Schaaf E., Crippa M., Solazzo E., Olivier J.G.J. et al. Fossil CO₂ emissions of all world countries. *2018 Report*. 2018. DOI: 10.2760/30158
7. Il'ichev V.A., Kolchunov V.I., Bersenev A.V., Pozdnyakov A.L. Some points of designing of settlements from the point of biospheric compatibility concept. *Academia. Architecture and Construction*. 2009; 1:74-80. (rus.).
8. Yuliani S., Hardiman G., Setyowati E. Green-Roof: The role of community in the substitution of green-space toward sustainable development. *Sustainability*. 2020; 12(4):1429. DOI: 10.3390/su12041429
9. Grant G. *Green roofs and facades*. Bracknell, IHS BRE Press, 2006; 71.
10. Wilkinson S.J., Feitosa R.C. Retrofitting housing with lightweight green roof technology in Sydney, Australia, and Rio de Janeiro, Brazil. *Sustainability*. 2015; 7(1):1081-1098. DOI: 10.3390/su7011081
11. Pierce G., Gmoser-Daskalakis K., Jessup K., Grant S.B., Mehring A., Winfrey B. et al. University stormwater management within urban environmental regulatory regimes: Barriers to progressivity or opportunities to innovate? *Environmental Management*. 2021; 67(1):12-25. DOI: 10.1007/s00267-020-01377-3
12. Velazquez L.S. Organic greenroof architecture: Design considerations and system components. *Environmental Quality Management*. 2005; 15(1):61-71. DOI: 10.1002/tqem.20068
13. Townshend D. Study on green roof application in Hong Kong. URL: https://www.devb.gov.hk/filemanager/en/content_29/Green%20roof%20study_executive%20summary%20eng.pdf
14. Taylor R. Green roofs turn cities upside down. *Ecos*. 2008; 143:18-21.
15. Tan Y., Liu G., Zhang Y., Shuai C., Shen G.Q. Green retrofit of aged residential buildings in Hong

- Kong: A preliminary study. *Building and Environment*. 2018; 143:89-98. DOI: 10.1016/j.buildenv.2018.06.058
16. Peck S. Tokyo begins to tackle urban heat with green roofs. *Green Roof Infrastructure Monitor*. 2001; 3(2):4.
17. Dhakal K., Chevalier L. Managing urban stormwater for urban sustainability: Barriers and policy solutions for green infrastructure application. *Journal of Environmental Management*. 2017; 203(1):171-181. DOI: 10.1016/j.jenvman.2017.07.065
18. Vijayaraghavan K. Green roofs: A critical review on the role of components, benefits, limitations and trends. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2016; 57:740-752. DOI: 10.1016/j.rser.2015.12.119
19. Huang B., Mauerhofer V., Geng Y. Analysis of existing building energy saving policies in Japan and China. *Journal of Cleaner Production*. 2015; 112:1510-1518. DOI: 10.1016/j.jclepro.2015.07.041
20. Gary G., Dusty G. Living roofs and walls from policy to practice. 10 years of urban greening in London and beyond. URL: <https://livingroofs.org/london-2019-green-roof-report/>
21. Shen L., He B., Jiao L., Song X., Zhang X. Research on the development of main policy instruments for improving building energy-efficiency. *Journal of Cleaner Production*. 2016; 112:1789-1803. DOI: 10.1016/j.jclepro.2015.06.108
22. Kalantari M., Ghezelbash S., Yaghmaei B. People and green roofs: Expectations and perceptions of citizens about green roofs development, an Iranian case study. *Mediterranean Journal of Social Sciences*. 2016. DOI: 10.5901/mjss.2016.v7n2s2p138
23. Aziz H.A., Ismail Z. Design guideline for sustainable green roof system. *2011 IEEE Symposium on Business, Engineering and Industrial Applications (ISBEIA)*. 2011. DOI: 10.1109/ISBEIA.2011.6088803
24. Irga P.J., Braun J.T., Douglas A.N.J., Pettit T., Fujiwara S., Burchett M.D. et al. The distribution of green walls and green roofs throughout Australia: Do policy instruments influence the frequency of projects? *Urban Forestry & Urban Greening*. 2017; 24:164-174. DOI: 10.1016/j.ufug.2017.03.026
25. Tassicker N., Rahnamayiezekavat P., Sutrisna M. An insight into the commercial viability of green roofs in Australia. *Sustainability*. 2016; 8(7):603. DOI: 10.3390/su8070603
26. Pianella A., Bush J., Chen Z., Williams N.S.G., Aye L. Green roofs in Australia: review of thermal performance and associated policy development. *50th International Conference of Architectural Science Association*. 2016.
27. Ismail Z., Aziz H.A., Nasir N.M., Taib M.Z.M. Comparative study on green roof mechanism in developed countries. *2012 IEEE Symposium on Business, Engineering and Industrial Applications*. 2012. DOI: 10.1109/ISBEIA.2012.6422975
28. Dong J., Zuo J., Luo J. Development of a management framework for applying green roof policy in urban China: A preliminary study. *Sustainability*. 2020; 12(24):10364. DOI: 10.3390/su122410364
29. Teotónio I., Silva C.M., Cruz C.O. Eco-solutions for urban environments regeneration: The economic value of green roofs. *Journal of Cleaner Production*. 2018; 199:121-135. DOI: 10.1016/j.jclepro.2018.07.084
30. Van der Meulen S.H. Costs and benefits of green roof types for cities and building owners. *Journal of Sustainable Development of Energy, Water and Environment Systems*. 2019; 7(1):57-71. DOI: 10.13044/j.sdewes.d6.0225
31. Wu Y., Shen L., Zhang Y., Shuai C., Yan H., Lou Y. et al. A new panel for analyzing the impact factors on carbon emission: A regional perspective in China. *Ecological Indicators*. 2019; 97:260-268. DOI: 10.1016/j.ecolind.2018.10.006
32. Shin E., Kim H. Benefit-cost analysis of green roof initiative projects: The case of Jung-gu, Seoul. *Sustainability*. 2019; 11(12):3319. DOI: 10.3390/su11123319
33. Liberalesso T., Cruz C.O., Silva C.M., Manso M. Green infrastructure and public policies: An international review of green roofs and green walls incentives. *Land Use Policy*. 2020; 96:104693. DOI: 10.1016/j.landusepol.2020.104693
34. Maya S., Steven W.P., Jeff J. *Green roof and wall policy in North America. Regulations, Incentives, and Best Practices*. URL: <https://greenroofs.org/policy-resources>

Received February 19, 2021.

Adopted in revised form on March 1, 2021.

Approved for publication on March 12, 2021.

BIONOTES: Elena V. Sysoeva — Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Design of Buildings and Structures of the Institute of Construction and Architecture; **Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGSU)**; 26 Yaroslavskoe shosse, Moscow, 129337, Russian Federation; ID RISC: 755880, Scopus: 57192373360, ORCID: 0000-0001-7250-3190; SysoevaEV@mgsu.ru;

Ilya V. Morozov — master degree student of the Department of Design of Buildings and Structures of the Institute of Construction and Architecture; **Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGSU)**; 26 Yaroslavskoe shosse, Moscow, 129337, Russian Federation; ID RISC: 1039470, Scopus: 57205221924, ResearcherID: AAF-6917-2021, ORCID: 0000-0003-4620-1118; imorozoov@gmail.com.