

ИНТЕГРАЦИЯ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ В МАЛОЭТАЖНЫЕ ЖИЛЫЕ ЗДАНИЯ

Рассматриваются особенности интеграции возобновляемых источников энергии (ВИЭ) в малоэтажные жилые здания как ключевого направления развития энергоэффективной и экологически устойчивой архитектуры

Цель исследования заключается в анализе влияния солнечной, ветровой и геотермальной энергетики, а также систем накопления энергии на архитектурно-планировочные решения малоэтажного жилья, выявлении принципов их объемно-пространственной организации и формировании рекомендаций по проектированию зданий с низким и нулевым энергопотреблением.

Методологическая основа работы опирается на анализ отечественного и зарубежного опыта, сравнительное изучение реализованных энергоэффективных домов и типологизацию архитектурных решений, использующих ВИЭ в структуре ограждающих конструкций и инженерных систем.

В соответствии с поставленной целью основными задачами являются анализ отечественного и зарубежного опыта интеграции возобновляемых источников энергии в малоэтажное жилищное строительство, а также выявлению наиболее эффективных архитектурно-планировочных решений.

Исследование показало, что совокупностью глобальных вызовов, среди которых изменение климата, исчерпание ресурсов и рост энергопотребления в жилищном секторе занимают центральное место. Современная архитектурная практика находится в состоянии методологического перехода от реактивного следствия нормативным требованиям к проактивному проектированию, ориентированному на минимизацию экологического следа на всех этапах жизненного цикла здания. В этом контексте малоэтажные жилые здания, составляющие значительную долю жилого фонда, представляют собой критически важный объект для внедрения принципов циркулярной экономики и энергетической автономии. В связи с этим интеграция возобновляемых источников энергии становится не дополнительной опцией, а базовым принципом формирования архитектурной концепции. Архитектура малоэтажного жилья эволюционирует от статичного объекта к динамичной, адаптивной системе, чья форма и функция напрямую зависят от внешних энергетических и климатических условий. Закладывается основа для формирования устойчивой и ресурсоэффективной жилой среды будущего, отвечающей вызовам современности. Проектирование малоэтажного жилья с интегрированными ВИЭ формирует новый архитектурный язык, где эстетика и энергоэффективность становятся неразрывным целым.

Ключевые слова: экологическая архитектура, возобновляемая энергия, солнечные панели, гидрогенератор, энергоэффективность, биоклиматический дизайн, устойчивое проектирование.

ECOLOGICAL ARCHITECTURE AND INTEGRATION OF RENEWABLE ENERGY SOURCES INTO PRIVATE HOUSING CONSTRUCTION

The article considers the features of the integration of renewable energy sources (RES) into low-rise residential buildings as a key area for the development of energy-efficient and environmentally sustainable architecture.

The purpose of the study is to analyze the impact of solar, wind and geothermal energy, as well as energy storage systems on architectural and planning solutions for low-rise housing, identify the principles of their spatial organization and form recommendations for the design of buildings with low and zero energy consumption.

The methodological basis of the work is based on the analysis of domestic and foreign experience, a comparative study of implemented energy-efficient houses and the typologization of architectural solutions using renewable energy sources in the structure of enclosing structures and engineering systems.

In accordance with the set goal, the main objectives are. analysis of domestic and foreign experience in integrating renewable energy sources into low-rise housing construction, as well as identifying the most effective architectural and planning solutions.

The study showed that a combination of global challenges, including climate change, resource depletion and rising energy consumption in the residential sector occupy a central place. Modern architectural practice is in a state of methodological transition from a reactive consequence of regulatory requirements to proactive design, focused on minimizing the environmental footprint at all stages of the building's life cycle. In this context, low-rise residential buildings, which make up a significant proportion of the housing stock, represent a critically important facility for the implementation of the principles of circular economy and energy autonomy. In this regard, the integration of renewable energy sources becomes not an additional option, but the basic principle of forming an architectural concept. The architecture of low-rise housing evolves from a static object to a dynamic, adaptive system, whose form and function directly depend on external energy and climatic conditions. The foundation is being laid for the formation of a sustainable and resource-efficient residential environment of the future that meets the challenges of modernity. Designing low-rise housing with integrated renewable energy sources forms a new architectural language where aesthetics and energy efficiency become an inseparable whole.

Keywords: *ecological architecture, renewable energy, solar panels, hydrogenerator, energy efficiency, bioclimatic design, sustainable design.*

Современный этап развития архитектурно-строительной отрасли характеризуется возрастающим влиянием экологических императивов, обусловленных глобальными климатическими изменениями и ресурсными ограничениями [1]. В контексте реализации Парижского соглашения и целей устойчивого развития ООН строительный сектор, ответственный за значительную долю конечного энергопотребления и выбросов парниковых газов, становится объектом кардинальной трансформации [2]. Малоэтажные жилые здания, составляющие существенную часть жилищного фонда, представляют значительный потенциал для внедрения принципов циркулярной экономики и достижения энергетической автономии посредством интеграции возобновляемых источников энергии [3]. Однако эффективное использование данного потенциала требует преодоления фрагментарного, сугубо инженерного подхода и разработки целостной методологии, рассматривающей ВИЭ как неотъемлемый компонент архитектурной системы [4].

В мировой практике накоплен значительный опыт реализации проектов, ставших образцами устойчивого и экологического подхода в архитектуре [5]. Эти здания не только демонстрируют техническое совершенство, но и формируют новую философию взаимодействия человека и природы [6]. Попробуем разобрать наиболее знаковые примеры, на которые опираются архитекторы при проектировании экологических устойчивых объектов. Показательный пример применения солнечной энергетики при строительстве малоэтажных зданий является проект «Heliotrope», расположенный в г. Фрайбург в Германии (рис.1). Данный объект признан первым в мире зданием с положительным годовым энергобалансом, что определяет его как эталонный пример в исследованиях энергоактивной архитектуры [7]. Ключевой инновацией проекта является не столько применение фотоэлектрических преобразователей, сколько их системная роль в формировании адаптивной архитектурной системы. Здание реализует принцип гелиотропизма — механизированного вращения вокруг вертикальной оси для перманентной ориентации плоскости фотоэлектрических панелей, интегрированных в ограждающие конструкции, по отношению к солнцу. Эта динамическая

адаптация позволяет максимизировать инсоляцию энергогенерирующей оболочки в течение светового дня, существенно повышая эффективность преобразования солнечной радиации по сравнению со статичными системами.

Архитектурно-конструктивное решение демонстрирует переход от аддитивного монтажа панелей к их холистической интеграции [8]. Высокоэффективные фотоэлектрические модули выполняют функцию сплошного внешнего слоя фасадных и кровельных ограждений, становясь не дополнительным техническим оборудованием, а основным материалом светопрозрачной и непрозрачной частей оболочки. Энергетическая модель объекта функционирует по принципу просьюмера: вырабатываемая фотоэлектрической системой электроэнергия покрывает все внутренние потребности здания в электричестве, отоплении (за счёт преобразования излишков) и горячем водоснабжении. Избыток генерации в периоды пиковой инсоляции передаётся в общегородскую сеть, компенсируя энергопотребление в часы отсутствия солнца и обеспечивая положительный баланс в годовом исчислении.



Рис. 1. Общий вид малоэтажного здания «Heliotrope» в г. Фрайбург, Германия

Аналогично, принципы комплексной энергетической и экологической интеграции реализованы в масштабе целого квартала в проекте BedZED (Beddington Zero Energy Development) в г. Лондон, Великобритания (рис.2).

Данный проект представляет собой комплексную градостроительную модель, ориентированную на достижение углеродной нейтральности в рамках операционной фазы жизненного цикла [9]. В отличие от концепции единичного энергоактивного дома, BedZED реализует принципы устойчивости через системную организацию квартала смешанного использования, объединяющего жилые модули, рабочие пространства и объекты социальной инфраструктуры. Первоначальным энергетическим ядром квартала выступала когенерационная теплоэлектростанция (ТЭЦ), функционировавшая на древесной щепе, получаемой в результате переработки отходов местных лесопильных производств [10]. Данное решение иллюстрирует применение принципа замкнутого цикла и использования локального возобновляемого топлива для покрытия базовых нагрузок на электро- и теплоснабжение, минимизируя зависимость от централизованных сетей. Объемно-планировочная структура зданий оптимизирована для максимального использования инсоляции: ориентация по оси север-юг, размещение основных жилых помещений на южной стороне, организация остеклённых буферных пространств (зимних садов), выполняющих функции тепловых аккумуляторов. [11]. Активные системы представлены интегрированными в кровельные конструкции солнечными коллекторами для подготовки горячей воды [12]. Эффективность внедрения ВИЭ обеспечена кардинальным снижением энергопотребления зданий за счет сверхвысоких показателей теплоизоляции ограждающих конструкций, системы принудительной вентиляции с рекуперацией тепла, а также применения энергоэффективного инженерного оборудования и световых приборов [13]. Концепция устойчивости расширена за рамки энергетики и включает системы сбора, очистки и повторного использования ливневых и серых сточных вод, а также стратегию применения строительных материалов с низким воплощённым углеродом (вторичные материалы, местная древесина из сертифицированных источников) [14].



Рис. 2. Жилой комплекс BedZED (Bill Dunster Architects), в г. Лондон, Великобритания

Проект BedZED демонстрирует, что эффективная интеграция возобновляемых источников энергии в жилую среду достигается не за счет изолированного применения технологий, а посредством их синергетического взаимодействия с глубинными архитектурно-планировочными, конструктивными и градостроительными решениями, направленными на минимизацию спроса [15]. Данный кейс подтверждает возможность и методологическую состоятельность перехода к проектированию устойчивых поселений с близким к нулевому операционному энергобалансу, где здания функционируют как взаимосвязанные элементы единой экологически сбалансированной системы.

Адаптация принципов энергетической автономии к условиям плотной исторической застройки проиллюстрирована в проекте реконструкции «Zero Carbon House» в г. Хэмпшире, в Великобритании (рис. 3). В рамках данного кейса был реализован комплекс мер по глубокой энергомодернизации городского таунхауса, ключевым элементом которой стало внедрение геотермальной системы.

Основная задача заключалась в интеграции грунтового теплового насоса в здание с крайне ограниченным участком. Решение было найдено за счёт бурения

вертикальных зондов через единственную доступную точку — подвал, что потребовало тщательной координации инженерных и строительных работ на ранних этапах проекта [16]. В сочетании с другими мерами (сверхэффективная изоляция, вентиляция с рекуперацией, солнечные панели) это позволило полностью отказаться от ископаемого топлива для отопления и охлаждения.



Рис. 3. Общий вид здания «Zero Carbon House» в г. Хэмпшире, Великобритания

Таким образом, данный проект демонстрирует методологический подход к трансформации существующих зданий в энергонезависимые объекты, где успешное применение ВИЭ напрямую зависит от прецизионной интеграции инженерных систем в сложный архитектурно-градостроительный контекст [17].

В качестве иллюстрации комплексного подхода к проектированию энергоэффективного многоквартирного жилья выступает датский проект «Solhuset» («Солнечный дом»), реализованный в г. Копенгагене в Дании (рис. 4).

Данный объект представляет собой жилой комплекс, в котором принципы пассивной энергоэффективности и активной солнечной энергогенерации синтезированы в единую архитектурную систему [18]. Ключевой задачей проекта

являлось создание комфортной жилой среды с минимальным годовым энергопотреблением за счёт максимального использования возобновляемых источников, прежде всего, солнечной радиации.



Рис. 4. Проект «Solhuset» в г. Копенгагене, Дания

В продолжение обзора международного опыта проектирования энергоэффективного жилья показательным примером выступает датский жилой комплекс «Solhuset» («Солнечный дом») в Копенгагене, реализованный с применением принципов глубокой интеграции возобновляемых источников энергии в архитектурную концепцию. Данный объект демонстрирует системный подход, при котором пассивные методы энергосбережения и активные солнечные технологии образуют неразрывное единство [19]. Архитектурное решение основано на чёткой био-климатической ориентации: жилые помещения с увеличенным остеклением обращены на юг для максимального использования инсоляции, тогда как вспомогательные буферные зоны расположены с северной стороны [2]. Принципиально важным является не просто размещение, а именно архитектурно-конструктивная интеграция солнечных элементов: фотоэлектрические панели и тепловые коллекторы образуют единую, технологичную плоскость южного ската кровли, визуально и функционально являясь продолжением оболочки здания [20]. Энергетическую эффективность дополняет сложная инженерная система,

включающая механическую вентиляцию с рекуперацией тепла и грунтовой теплообменник для пассивной климатизации воздуха [21]. Таким образом, «Solhuset» служит эталонным примером холистического проектирования, где форма, функция и энергетическая стратегия взаимно обуславливают друг друга, обеспечивая достижение исключительно низкого эксплуатационного энергопотребления и формируя качественную, экологически ответственную жилую среду [22].

В качестве отечественного кейса адаптации передовых энергоэффективных технологий выступает экспериментальный активный дом «Солнечный», реализованный в Подмосковье. Проект основан на методологии датского стандарта «Active House», предусматривающего баланс между энергоэффективностью, экологичностью и высоким качеством внутренней среды (рис. 5).

Ключевой особенностью объекта является глубокая интеграция гелиосистем в архитектурно-конструктивное решение [23]. Солнечные панели для генерации электроэнергии и вакуумные солнечные коллекторы для теплоснабжения не смонтированы на кровлю, а формируют единую технологическую плоскость южного ската, угол наклона которого оптимизирован для максимального годового энергетического выхода в данных широтах. Такое решение обеспечивает синергетический эффект: фотоэлектрические модули, работая с повышенной эффективностью за счёт оптимальной ориентации, одновременно выполняют функцию защитного покрытия для кровельного «пирога» и тепловых коллекторов [24].

Энергетическая модель дома демонстрирует комплексный подход: возобновляемая генерация тесно связана с системой аккумуляции тепла и высокоэффективным инженерным оборудованием, включая грунтовой теплообменник и рекуперацию. В совокупности эти меры позволяют покрывать до 70% совокупных потребностей здания в тепле и электричестве за счёт солнечной энергии, что является значимым показателем для климатических условий центрального региона России.

Таким образом, проект активного дома «Солнечный» служит важным примером доказательной апробации и климатической адаптации принципов

энергоактивного строительства, демонстрируя техническую возможность и практическую целесообразность глубокой интеграции ВИЭ в жилые здания в российских реалиях [25].



Рис. 5. Общий вид активного дома «Солнечный» в г. Подмосковье, Россия

Эти примеры демонстрируют, что современная архитектура устойчивого развития выходит за рамки технической эффективности. Каждый из проектов формирует новую этику архитектуры, где природа воспринимается не как ресурс, а как партнер [6]. Именно такие объекты задают направление для будущего частного и общественного строительства, в том числе в российских условиях, где интеграция природы и архитектуры постепенно становится не исключением, а нормой. Анализ представленных кейсов позволяет констатировать, что эффективная интеграция возобновляемых источников энергии (ВИЭ) в архитектуру малоэтажных зданий представляет собой системный процесс, выходящий за рамки инженерного монтажа. Таким образом, успешная интеграция ВИЭ требует методологического перехода к проектированию энергоактивных архитектурных

систем, адаптированных к локальному контексту и ориентированных на превращение зданий в узлы устойчивой распределённой энергетики [11].

Заключение

Интеграция возобновляемых источников энергии в архитектуру малоэтажных жилых зданий представляет собой закономерный этап эволюции строительного комплекса в условиях глобальных экологических вызовов. Анализ теоретических принципов и практических реализаций, от единичных домов до целых кварталов, позволяет констатировать формирование новой проектной парадигмы. Её суть заключается в переходе от применения ВИЭ как обособленного инженерного оборудования к их холистическому синтезу с архитектурной формой, конструктивной системой и инженерной инфраструктурой на всех стадиях жизненного цикла объекта.

Успешные кейсы демонстрируют, что результатом такого синтеза является создание энергоактивных архитектурных систем. Эти системы характеризуются неразрывной взаимосвязью глубоких мер пассивной энергоэффективности (био-климатическое проектирование, сверхтеплоизоляция) и активных энергогенерирующих технологий, адаптированных к локальному контексту. ВИЭ перестают быть технической надстройкой, становясь материалом, конструкцией и доминантой архитектурного образа, что трансформирует здание из конечного потребителя в активного участника распределённой энергосети.

Таким образом, дальнейшее развитие направления связано с необходимостью консолидации методологических подходов, развития нормативной базы, стимулирования междисциплинарных исследований и формирования соответствующего профессионального дискурса, направленного на проектирование качественно новой, устойчивой жилой среды. Современные исследования и технологические разработки открывают перспективы для создания интеллектуальных адаптивных оболочек, способных динамически оптимизировать энергопотоки в реальном времени. Конвергенция принципов циркулярной экономики, цифрового моделирования и новых композитных материалов формирует основу для

следующего этапа — проектирования зданий как углеродно-нейтральных или положительных систем, вносящих чистый вклад в экологический баланс территории. Реализация этого потенциала определит вектор развития архитектуры в XXI веке, трансформируя её из дисциплины о форме в науку об управлении средовыми ресурсами.

Литература

1. Сухоруков А.В. Возобновляемая энергетика в архитектуре / А.В. Сухоруков. – М.: Архитектура-С, 2021. – 344 с.
2. Mazria E. Architecture 2030 / E. Mazria. – Arizona: Mazria Institute, 2002. – 192 p.
3. Афанасьева О.К. Архитектура малоэтажных домов с использованием возобновляемых источников энергии: учебное пособие / О.К. Афанасьева. – М.: МАРХИ, 2007. – 192 с.
4. Ганджа С.А., Шабиев С.Г. Энергоэффективные здания как синтез архитектурного и инженерного искусства // Архитектура, градостроительство и дизайн. – 2022. – №33. – С. 3 – 11.
5. Yeang K. Ecoarchitecture: The Work of Ken Yeang / K. Yeang. – Chichester: Wiley, 2012. – 416 p.
6. Абрамович А.С. Зеленая архитектура: концепции и практика / А.С. Абрамович. – Екатеринбург: УрГАХУ, 2020. – 320 с.
7. Yeang K. The Skyscraper: A Biography / K. Yeang. – London: Thames & Hudson, 2013. – 256 p.
8. Поляков И.А., Ильвицкая С.В. Использование средств альтернативной энергетики при формировании художественного образа в архитектуре // АМИТ. – 2017. – №1 (23). – С. 160–170.
9. Foster N. Masdar City Project Overview / N. Foster. – London: Foster + Partners, 2018. – 164 p.
10. Ганев Е.В. Возобновляемые источники энергии: учебное пособие / Е.В. Ганев, О.С. Попель. – М.: МГУ, 2020. – 416 с.

11. 11 Данилов Е.В. Биоклиматическое проектирование / Е.В. Данилов. – М.: Архитектура-С, 2018. – 256 с.
12. 12 Афанасьева О.К. Гелиотеплицы в малоэтажном жилищном строительстве // Жилищное строительство. – 2007. – № 11. – С. 18–20.
13. Ливчак В.И. Энергоэффективные здания: учебное пособие / В.И. Ливчак, Ю.А. Табунщиков. – М.: АВОК-ПРЕСС, 2019. – 256 с.
14. Попов А.М. Экологические основы архитектурного проектирования / А.М. Попов. – М.: Архитектура-С, 2020. – 288 с.
15. Шевцов И.Г. Архитектурно-строительное проектирование: учебник / под ред. И.Г. Шевцова. – М.: АСВ, 2021. – 448 с.
16. Хрусталеv Б.М. Теплоснабжение и вентиляция жилого дома: практическое руководство / Б.М. Хрусталеv. – М.: Стройиздат, 2021. – 368 с.
17. Шабиев С.Г. Архитектурная реновация электростанции Баттерси в Лондоне на основе экологического подхода // Академический вестник УралНИИ-ПРОЕКТ РААСН. – 2014. – №3. – С. 65–67.
18. Козлов В.Г. Микроклиматические принципы устойчивого проектирования / В.Г. Козлов. – М.: Архитектура-С, 2022. – 288 с.
19. Мигалина Н.Н. Проектирование жилых зданий: учебное пособие / Н.Н. Мигалина, Т.Г. Маклакова. – М.: Издательство АСВ, 2020. – 320 с.
20. Афанасьева О.К. Архитектура сооружений, использующих альтернативные источники энергии. Ветер // Архитектурная наука и образование: Тезисы докладов научной конференции. – М.: Архитектура-С, 2005. – С. 117.
21. Табунщиков Ю.А. Энергоэффективное здание: от теории к практике / Ю.А. Табунщиков. – М.: АВОК-ПРЕСС, 2021. – 320 с.
22. Safdie M. Habitat and Later Works / M. Safdie. – New York: Rizzoli, 2010. – 320 p.
23. Маркова О.К. Архитектура малоэтажных жилых домов с использованием возобновляемых источников энергии: учебное пособие по проектированию. — М.: Полиграфия МАРХИ, 2014. – 63 с.

24. Петрова Н.А. Энергоэффективные здания России / Н.А. Петрова. – СПб.: СПбГАСУ, 2019. – 288 с.

25. Колобанов Н.С. Энергоэффективные технологии в современном строительстве / Н.С. Колобанов. – СПб.: СПбГАСУ, 2019. – 344 с.

References

1. Sukhorukov A.V. Renewable energy in architecture / A.V. Sukhorukov. - M.: Architecture-S, 2021. –344 p.

2. Mazria E. Architecture 2030 / E. Mazria. – Arizona: Mazria Institute, 2002. – 192 p.

3. Afanasyeva O.K. Architecture of low-rise buildings using renewable energy sources: a textbook / O.K. Afanasyeva. Moscow: MARKHI, 2007. – 192 p.

4. Ganja S.A., Shabiev S.G. Energy-efficient buildings as a synthesis of architectural and engineering art // Architecture, urban planning and design. – 2022. – № 33. – pp. 3–11.

5. Yeang K. Ecoarchitecture: The Work of Ken Yeang / K. Yeang. – Chichester: Wiley, 2012. – 416 p.

6. Abramovich A.S. Green architecture: concepts and practice / A.S. Abramovich. Yekaterinburg: Urgakhu Publ., 2020. – 320 p.

7. Yeang K. The Skyscraper: A Biography / K. Yeang. – London: Thames & Hudson, 2013. – 256 p.

8. Polyakov I.A., Ilvitskaya S.V. The use of alternative energy in shaping an artistic image in architecture // AMIT. – 2017. – №1 (23). – Pp. 160 –170.

9. Foster N. Masdar City Project Overview / N. Foster. – London: Foster + Partners, 2018. – 164 p.

10. Ganev E.V. Renewable energy sources: a textbook / E.V. Ganev, O.S. Popel. Moscow: MSU, 2020. – 416 p.

11. Danilov E.V. Bioclimatic design / E.V. Danilov. Moscow: Architecture, 2018 – 256 p

12. Afanasyeva O.K. Solar panels in low-rise housing construction // Housing construction, 2007, №.11, – pp. 18–20.
13. Livchak V.I. Energy-efficient buildings: a textbook / V.I. Livchak, Yu.A. Tabunshchikov. Moscow: AVOK-PRESS, 2019. – 256 p.
14. Popov A.M. Ecological foundations of architectural design / A.M. Popov. - M.: Architecture-S., 2020. – 288 p.
15. Shevtsov I.G. Architectural and construction design: textbook / edited by I.G. Shevtsov. Moscow: DIA, 2021, – 448 p.
16. Khrustalev B.M. Heat supply and ventilation of a residential building: a practical guide / B.M. Khrustalev. – M.: Stroyizdat, 2021. – 368 p.
17. Shabiev S.G. Architectural renovation of the Battersea power plant in London based on an ecological approach // Academic Bulletin of UralNIIproekt RASN. – 2014. – № 3. – pp. 65–67.
18. Kozlov V.G. Microclimatic principles of sustainable design / V.G. Kozlov, Moscow: Architecture, 2022, – 288 p.
19. Migalina N.N. Designing residential buildings: a textbook / N.N. Migalina, T.G. Maklakova. Moscow: Publishing House of the DIA, 2020. – 320 p.
20. Afanasyeva O.K. Architecture of structures using alternative energy sources. Wind // Architectural science and education: Abstracts of scientific conference reports. Moscow: Architecture, 2005. – pp. 117
21. Tabunshchikov Yu.A. Energy-efficient building: from theory to practice / Yu.A. Tabunshchikov. Moscow: AVOK–PRESS, 2021. – 320 p.
22. Safdie M. Habitat and Later Works / M. Safdie. – New York: Rizzoli, 2010. – 320 p.
23. Markova O.K. Architecture of low-rise residential buildings using renewable energy sources: a textbook on design. Moscow: Polygrafiya MARKHI, 2014. – 63 p.
24. Petrova N.A. Energy-efficient buildings in Russia / N.A. Petrova. – St. Petersburg: SPbGASU, 2019. – 288 p.
25. Kolobanov N.S. Energy-efficient technologies in modern construction / N.S. Kolobanov. St. Petersburg: SPbGASU, 2019. – 344 p.

Сторчак Ю.А.

Магистрант, кафедры «Архитектура», Южно-Уральский государственный университет, г. Челябинск, Россия. E-mail: re_sa@bk.ru

Storchak A.A.

Master's degree-Student, Department of Architecture, South Ural State University, Chelyabinsk, Russia. E-mail: re_sa@bk.ru