



Теплотехнические аспекты стеновых конструкций и особенности архитектурных решений зданий из материалов на основе использования грунта

С.Н. Смирнова¹

¹Поволжский государственный технологический университет
г. Йошкар-Ола, Российская Федерация

Аннотация: Малоэтажная экологичная архитектура в России вынуждена развиваться в суровых климатических условиях. Строительство зданий на основе использования грунта в России практически не осуществляется. В этой связи *целью исследования* выступает выявление возможности использования грунта, как биопозитивного материала, в качестве материала наружной стены малоэтажного экологичного здания в условиях Среднего Поволжья. *Задачи исследования* – выявить классификацию наружных стен экологичного здания на основе использования грунта; проследить историю строительства экологичных зданий данного типа; определить характерные черты архитектурного решения и проанализировать теплотехнические аспекты возможного конструктивного устройства стен на основе использования грунта в климатических условиях Среднего Поволжья.

Результаты. Рассмотрены несколько вариантов конструктивного устройства стен на основе использования грунта: грунтоблоки, саман, «мешки с землей», торфоблоки. Описана краткая история строительства подобных сооружений, общие черты объемно-планировочных решений, проанализированы теплотехнические показатели данных конструкций наружных стен для условий Среднего Поволжья.

Выводы. Значимость полученных результатов для архитектуры состоит в теплотехническом обосновании возможности проектирования и строительства зданий по различным технологиям конструктивного устройства стен на основе использования грунта в условиях Среднего Поволжья, предложена конструкция стены по нескольким вариантам конструктивного устройства стен на основе использования грунта.

Ключевые слова: экологичность, земляная архитектура, грунтоблоки, саман, «мешки с землей», торфоблоки

Для цитирования: Смирнова С.Н. Теплотехнические аспекты стеновых конструкций и особенности архитектурных решений зданий из материалов на основе использования грунта // Известия КГАСУ, 2026, № 1 (75), с. 293-305, DOI: 10.48612/NewsKSUAE/75.24, EDN: OWNRVK

Thermal engineering aspects of wall structures and architectural features of buildings made of soil-based materials

S.N. Smirnova¹

¹Volga state university of Technology, Yoshkar-Ola, Russian Federation

Abstract. Low-rise eco-friendly architecture in Russia is forced to develop in harsh climatic conditions. The construction of buildings based on the use of soil is practically not carried out in Russia. In this regard, *the purpose* of the study is to identify the possibility of using soil as a biopositive material for the exterior wall of a low-rise eco-friendly building in the conditions of the Middle Volga region. *The research tasks* are to identify the classification of exterior walls of

an eco-friendly building based on the use of soil; to trace the history of the construction of eco-friendly buildings of this type; to determine the characteristic features of the architectural solution and to analyze the thermal engineering aspects of a possible structural design of walls based on the use of soil in the climatic conditions of the Middle Volga region.

Results. Several options for the structural design of walls based on the use of soil are considered: earth blocks, adobe, “earthbags”, and peat blocks. A brief history of the construction of such structures is described, as well as the general features of their spatial and planning solutions. The thermal performance of these exterior wall structures for the conditions of the Middle Volga region is analyzed.

Conclusions. The significance of the results obtained for architecture lies in the thermal engineering justification of the possibility of designing and constructing buildings using various technologies for the structural design of walls based on the use of soil in the conditions of the Middle Volga region. The article proposes a wall design based on several options for the structural design of walls based on the use of soil.

Keywords: environmental friendliness, earthen architecture, earth blocks, adobe, “earthbags”, peat blocks.

For citation: Smirnova S.N. Thermal engineering aspects of wall structures and architectural features of buildings made of soil-based materials // News of KSUAE, 2026, № 1 (75), p. 293-305, DOI: 10.48612/NewsKSUAE/75.24, EDN: OWNRVK

1. Введение

Известно, что традиционная архитектура - наиболее яркое воплощение принципов организации ресурсосберегающего архитектурного пространства. Эти принципы заключаются в следующем: принцип ресурсной локализации пространства, принцип автономности пространства, принцип пространственных ограничений, принцип гибридности пространства, принцип специализации пространства, принцип структурности пространства. Приоритетным выступает в настоящем исследовании принцип ресурсной локализации пространства, который заключается в использовании: локального ресурсного потенциала – строительные материалы, трудовые, информационные и вторичные ресурсы; локальной топографии; естественных и антропогенных особенностей ресурсосберегающего потенциала пространства; архетипа локального традиционного жилища или других устоявшихся типологий – концепция субстрата архитектурной культуры в основе программы пространства [1].

Определение «ресурсосберегающая архитектура» предполагает альтернативу ресурсоемкой архитектуре и рассматривается, в широком смысле, как архитектурное пространство, функционирующее в рамках триады «Человек-Объект-Среда» [1, 2], выходя за рамки понимания ресурсосберегающей архитектуры как здания, только лишь экономящего энергию. А.Н.Тетиор настаивает также на сохранении природного разнообразия, наличия экологических коридоров, применения экологических материалов и, в целом, на выполнении требований визуальной экологии [3]. Н.Фостер предпочитает использовать термин «устойчивая» архитектура, подразумевая жизнеспособность только той архитектуры, которая рождается вследствие синтеза всех элементов её составляющих, включая, наряду с решениями, напрямую обеспечивающими экологичность и экономию энергии, также анализ транспортных связей, общественных отношений, взаимодействие с городской инфраструктурой [4].

Архитектурная форма экологических зданий, как утверждает своим творчеством Н.Фостер, выступает ответом на действующие извне климатические условия, своим объемным решением, геометрическими параметрами, ориентацией предполагая уменьшение затрат на климатизацию здания. По внешним признакам В.И.Иовлев выявляет классическую, неклассическую и постнеклассическую композицию в формообразовании экологических зданий [5].

Ю. А. Табунщиков прослеживает математические закономерности между формой здания и его тепловым режимом, ставшие основой формирования ГОСТ Р 71472-2024

«Экологические требования к объектам недвижимости. Экологически ориентированная архитектура с применением высоких технологий. Основные требования».

Ряд исследователей предлагают разработки объемно-планировочного решения экологичного здания для конкретных климатических условий: И. В. Черешнев – для условий г. Волгограда [6], П.А. Казанцев – Дальнего Востока [7].

Г. Минке видит использование земли и её производных в процессе формирования архитектуры зданий как одно из условий достижения «устойчивости» архитектуры и указывает в своих трудах на широкий ареал распространения зданий, использующих землю в качестве материала наружных стен, – Германия, Швейцария, Финляндия, США, Австралия, Новая Зеландия, Индия и т.д. [8].

«Основы государственной политики в области экологического развития Российской Федерации на период до 2030 года» утверждены Президентом РФ 30 апреля 2012 года. В числе прочих приоритетных задач – обеспечение экологически безопасного обращения с отходами, формирование экологической культуры, развитие экологического образования и воспитания.

Строительство экологичных малоэтажных зданий целесообразно осуществлять по принципам одного из направлений экологичной архитектуры – эколоуток, – ориентирующемся на использование местных материалов (дерево, глина, солома, тростник). За рубежом присутствует термин «натуральное», «природное» или «экологическое» строительство. Оно зародилось еще в 1970-х годах в странах Европы и в США. Исследователями выделено несколько направлений:

- 1) технологии на основе использования земли – землебит, саман;
- 2) технологии получения материалов на растительной основе – деревянный каркас, бамбук, модульные тюки из соломы;
- 3) композитные технологии – пенько- или костробетон (хемпбетон), корвуд, каменная кладка, изоляция из овечьей шерсти.

Отечественными исследователями выявлено три основных направления эколоутека [9]:

- 1) использование в строительстве природных материалов – дерево, камень, глина, растительное сырье, саман (суперсаман), натуральные волокна и их композитные сочетания;
- 2) использование материалов, которые прошли переработку или используются вторично: макулатура, пиломатериалы или отслужившие конструкции;
- 3) использование «живых» материалов дерева и кустарники (применение которых обобщенно называется «арбоархитектура»), а также травы, цветы, мхи, водоросли и др.

Можно выделить основные преимущества данного направления экоархитектуры: сравнительно низкая стоимость и доступность; доказанное снижение или полное отсутствие выбросов парниковых газов; высокий уровень санитарно-гигиенического и психологического комфорта.

Следуя соответствии базовых категорий, предусмотренных СТО НОСТРОЙ 2.35.4-2011 «Зеленое строительство», устойчивость среды обитания в системе тем не менее обеспечивается в основном экологией создания, эксплуатации и утилизации объекта, в частности – это минимизация воздействия на экологию строительных материалов (категория 8, доля категории в системе оценки – 9,8%).

В настоящем исследовании, являющимся продолжением работы по исследованию землебитных конструкций [10], уделяется внимание остальным типам конструкций наружных стен экологичного здания на основе использования грунта: грунтоблоки, саман, «мешки с землей», торфоблоки.

Цель исследования – выявление возможности использования земли в качестве материала наружной стены малоэтажного экологичного здания в условиях Среднего Поволжья. Задачи исследования – проследить краткую историю строительства экологичных зданий данного типа; определить характерные черты архитектурного решения и проанализировать теплотехнические аспекты возможного конструктивного устройства стен на основе использования грунта в климатических условиях Среднего Поволжья.

2. Материалы и методы

Методика исследования предполагает изучение текстового, графического и иллюстративного материала. Материалы исследования в настоящей работе представляют собой архитектурные решения сооружений, возведенных из материалов на основе использования грунта. Методы исследования представляют собой сравнительный анализ архитектурных решений, вариантов конструктивного устройства различных типов стен на основе использования земли с древности до наших дней, результатов теплотехнического расчета.

Грунтоблоки. Использование грунтоблоков в сравнении с землебитными конструкциями даёт неоспоримое преимущество в скорости возведения зданий и проверенной необходимой прочности строительных конструкций. Толщина стены принимается по теплотехническому расчету. Но исходя из конструктивных требований, как отмечают исследователи, она должна быть не меньше 50 см для двухэтажного дома, а одноэтажного – 40 см. Кладка из грунтоблоков – с перевязкой швов.

Строительство из земляных блоков широко распространено во всех странах с жарким, сухим, субтропическим и умеренным климатом. Постройки из земляных блоков, датируемые 8000-6000 годами до нашей эры, были найдены в Туркестане, а также около 4000 г. до н.э. в Ассирии. Даже сегодня в Верхнем Египте можно увидеть монументальные сооружения возрастом около 3200 лет, такие как огромная земляная стена в Мединете, своды складских помещений в районе храма Рамзеса II близ Гурна.

В Скандинавии и Англии строительство из дерна было распространено в 17 и 18 веках. Эти дома были построены из блоков, вырезанных из верхнего слоя суглинистой почвы вместе с растущей на ней травой. Блоки были перевернуты и использованы в качестве кирпичей для возведения стен без раствора. Европейские иммигранты привезли эту технику в США, где в 18-м и 19-м веках было построено большое количество домов из дерна. Некоторые поселенцы также переняли ту же идею у североамериканских индейцев, таких как омаха и пауни, которые веками использовали этот метод для покрытия своих круглых хижин дерном. В Нью-Мексико для строительства стен использовались блоки илистого грунта, вырезанные из речных русел и содержащие сеть корней, которые служат укреплением. Эти блоки называются терронис или терронес, и иногда их также использовали в Мексике и Центральной Америке. В Германии земляные блоки использовались в 6 веке до нашей эры; глинобитные блоки размером 40 x 40 см и высотой от 6 до 8 см использовались в форте Хойнебург близ Боденского озера. Для возведения его стен высотой 3 метра было использовано около 140 000 блоков и 400 м³ строительного раствора. Официальные правила строительства из блоков были опубликованы в 1764 году. Дэвид Гилли опубликовал руководства по строительству из самана в 1787 и 1790 годах [8].

Грунтоблоки использовались при возведении Великой Китайской стены. Городские стены Вавилона, выложенные из кирпича - сырца, по длине достигали 7 км, а их толщина достигала 3,3 - 7 м. Древнегреческий храм Геры в Олимпии, крепостные стены Афин выложены из глиняного сырца длиной 30 см, толщиной 8 см [8].

В 19 веке земляное строительство из грунтоблоков ведется в России, по имеющимся из периодической печати того времени сведениям, на территории Орловской, Саратовской, Симбирской, Тверской, Ярославской губерний и др. В 30-е годы XX века строятся одно-двухэтажные грунтоблочные жилые дома.

Во время Великой Отечественной войны для устройства фортификационных сооружений использовались блоки размерами 40x20x15 см и 33x16x15 см. Добавление в грунтомассу цемента и армирование соломенной резкой позволяло улучшить транспортабельность и прочностные характеристики грунтоблоков.

В первые послевоенные годы на основе обширного опыта патентуются способы выработки грунтоблоков повышенной прочности [11].

В период бурного развития сборного железобетона (с 1954 по 1985 годы) из массового строительства практически были вытеснены все традиционные материалы, в том числе и грунт.

Согласно теплотехническому расчету, толщина однородной грунтоблочной стены для условий Среднего Поволжья составила бы 2,0 метра с сопротивлением теплопередаче

$R = 3,29 \text{ (м}^2 \cdot \text{°C)/Вт}$. В этой связи целесообразнее рассмотреть стену из грунтоблоков с утеплением снаружи (рис.1а).

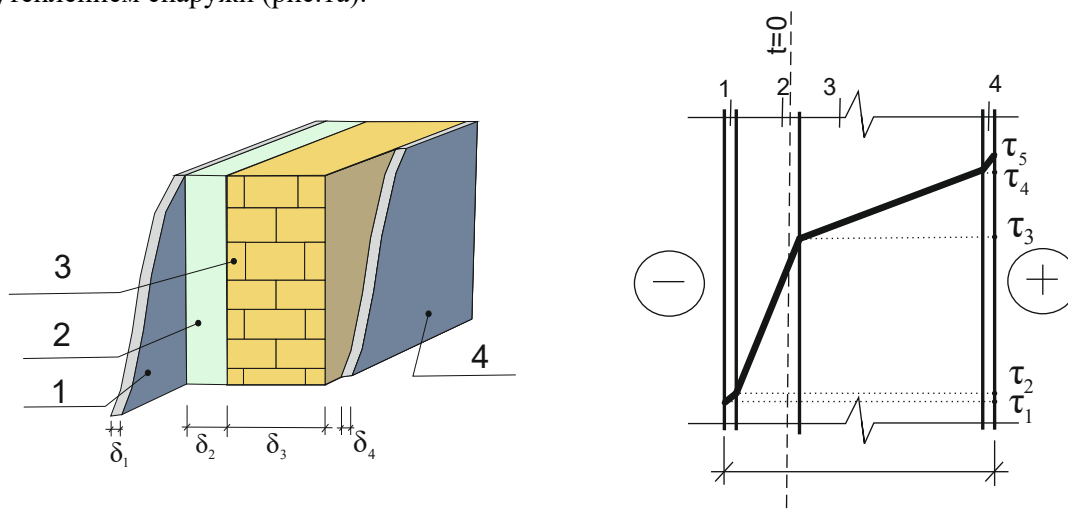


Рис. 1. Разрез наружной стены (δ_i см. в табл.1) и распределение температур в ограждающей конструкции, τ_i - температура на границе i -ого слоя ограждающей конструкции: а) из грунтоблоков по теплотехническому расчету с утеплителем снаружи (рисунок автора), где 1,4-штукатурка; 2- теплоизоляция, 3- грунтоблоки;

$\tau_1 = -32,22 \text{ °C}$; $\tau_2 = -31,97 \text{ °C}$; $\tau_3 = +4,94 \text{ °C}$; $\tau_4 = +18,71 \text{ °C}$; $\tau_5 = +18,91 \text{ °C}$;

б) из саманных блоков по теплотехническому расчету с утеплителем снаружи, где 1,4 -штукатурка; 2- жесткая теплоизоляция, 3- саманные блоки;

$\tau_1 = -27,32 \text{ °C}$; $\tau_2 = -27,12 \text{ °C}$; $\tau_3 = +1,15 \text{ °C}$; $\tau_4 = +18,71 \text{ °C}$; $\tau_5 = +18,91 \text{ °C}$;

в) по технологии «мешки с землей», где 1,4 -штукатурка; 2- жесткая теплоизоляция, 3- мешки с землей;

$\tau_1 = -32,14 \text{ °C}$; $\tau_2 = -31,85 \text{ °C}$; $\tau_3 = +10,26 \text{ °C}$; $\tau_4 = +18,71 \text{ °C}$; $\tau_5 = +18,91 \text{ °C}$;

г) из торфоблоков и керамического кирпича (рисунок автора): 1,4 -штукатурка; 2- торфоблоки, 3- кирпич;

$\tau_1 = -32,40 \text{ °C}$; $\tau_2 = -32,12 \text{ °C}$; $\tau_3 = +11,70 \text{ °C}$; $\tau_4 = +18,71 \text{ °C}$; $\tau_5 = +18,91 \text{ °C}$;

д) из CSEBs+ торфоблоки по теплотехническому расчету, где 1,4 -штукатурка; 2- торфоблоки, 3- CSEBs;

$\tau_1 = -32,52 \text{ °C}$; $\tau_2 = -32,26 \text{ °C}$; $\tau_3 = +8,90 \text{ °C}$; $\tau_4 = +18,28 \text{ °C}$; $\tau_5 = +18,55 \text{ °C}$;

Fig.1. Section of external wall (δ_i see Table 1) and temperature distribution in the enclosing structure, τ_i - temperature at the boundary of the i -th layer of the enclosing structure:

a) made of soil blocks with insulation on the outside (illustration by the author): 1,4 - plaster; 2 - rigid thermal insulation, 3 - soil blocks;

b) made of adobe blocks with insulation on the outside according to heat engineering calculations (illustration by the author): 1,4 - plaster; 2 - rigid thermal insulation, 3 - adobe blocks;

c) based on the “earthbags” technology (illustration by the author): 1,4 - plaster; 2 - rigid thermal insulation, 3 - earthbags

d) made of peat blocks and ceramic bricks (illustration by the author): 1,4 - plaster; 2 - peat blocks, 3 – brick;

e) made of CSEBs+ peat blocks according to heat engineering calculations: 1,4 - plaster; 2 - peat blocks, 3 – CSEBs.

Теплотехнический расчет стены, выполненный для климатических условий Среднего Поволжья (г.Йошкар-Ола, $R^{\text{тр}} = 3,27 \text{ (м}^2 \cdot \text{°C)/Вт}$), позволяет заключить, что грунтоблочная стена с жесткой теплоизоляцией снаружи (рис.1) позволяет обеспечить сопротивление теплопередаче конструкции $R = 3,78 \text{ (м}^2 \cdot \text{°C)/Вт}$, что не меньше требуемого (табл.1). Для условий Среднего Поволжья представляется технически сложно осуществимым сушка грунтоблоков и саманных блоков в естественных условиях.

В настоящее время зарубежом широкое распространение получили уплотненные стабилизированные земляные блоки - Compressed Stabilized Earth Blocks (CSEBs) [12]. Рассматриваются высокопрессованные необожженные блоки с различным составом и пропорциями песка, глины и стабилизаторов, таких как известь, цемент и т.д. Летучая зола также используется в качестве стабилизатора при замене цемента. По химическому

составу CSEBs идентичны землелитным стенам SIREWALL. Поскольку размеры этих блоков могут быть различны, в зависимости от опалубки, для сравнительного анализа целесообразно воспользоваться предыдущими результатами (табл.1) [10].

Архитектурные решения зданий на основе использования грунта в качестве материала наружных стен в условиях Среднего Поволжья, как показывает опыт строительства подобных зданий, подчинены общим закономерностям возведения зданий блочного типа с возможностью устройства пилястр, арок, перемычек, карнизных поясов, деталей обрамления окон.

Саман. Следующая заслуживающая внимания конструкция стены из смеси глины, соломы, песка с последующим формованием кирпичей, высушенных на солнце, – саман (лемпач, калыш, сушняк, адоб, адоба). Для изготовления самана используется почва с высоким содержанием глины. Широкое распространение получил в южных районах России, Средней Азии, Испании, Франции, Португалии, странах Ближнего Востока, Перу, Мексике и т.д. [13, 14.15].

Внимание подобным технологиям строительства уделяли не только безымянные народные зодчие. Фрэнк Ллойд Райт – автор проекта глинобитного дома для Ллойда Берлинггема в Эль-Пасо (Техас) из сырцового кирпича (adobe), материала обычного для того района, правда, не реализованного в связи с начавшейся второй мировой войной [16]. Этот объект всё же был воплощён Чарльзом Клотше при содействии Фонда Фрэнка Ллойда Райта в 1984 году в качестве центральной части нового жилого комплекса в Санта-Фе с удвоенной площадью и расположением с востока на запад, а не с севера на юг, как планировалось изначально [17].

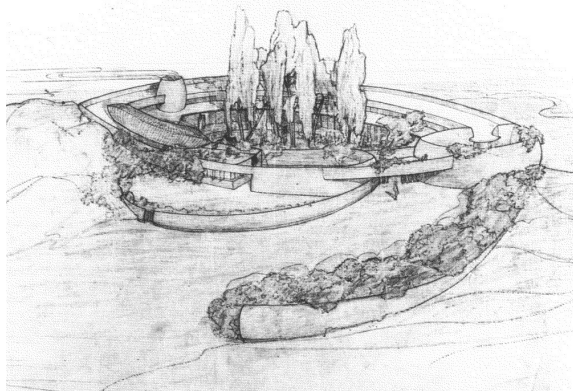


Рис. 2. Проект глинобитного дома Ллойда Берлинггема. Автор- Ф.-Л. Райт, 1943 г., перспектива.

(Источник:https://mensh.ru/sites/default/files/styles/image_xl/public/images/2024-11/flwright-pottery-house-1.webp?itok=XfMao8Bb)

Fig.2. Lloyd Burlingham's Cob House. Architect: F. L. Wright, 1943, perspective view.

(Source:https://mensh.ru/sites/default/files/styles/image_xl/public/images/2024-11/flwright-pottery-house-1.webp?itok=XfMao8Bb)



Рис.3. Ф.-Л.Райт, Ч.Клотше. Жилой дом в Санта-Фе, 1984 г.

(Источник:<https://images2.dwell.com/photos/6063391372700811264/6988196694482620416/original.jpg?auto=format&q=35&w=1600>)

Fig.3. F.L. Wright, C. Klotsche. Residential house in Santa Fe, 1984. (Source: <https://images2.dwell.com/photos/6063391372700811264/6988196694482620416/original.jpg?auto=format&q=35&w=1600>)

Английским словом «cob» обозначается метод строительства из земли и деревянных конструкций, без формового кирпича. Толщина стен достигает 60 см, они укладываются послойно с высотой каждого слоя 45 см [18].

Подобные сооружения, датируемые XIII веком, известны в Англии, особенно в местности Девон. Старейшая из сохранившихся построек – 1539 года. К XV в. наблюдается расцвет подобного строительства, в середине XIX в. развитие промышленности и транспортная доступность сделали кирпич основным строительным материалом в Англии.

Отличие метода строительства «cob» от «adobe» – свободный способ формообразования, с возможностью создавать изогнутые, плавные очертания

поверхностей, хотя в русскоязычной интерпретации и тот, и другой типы строительства обозначаются одним термином – «саман» [19].

Старейшим архитектурным комплексом в Азии, выполненным полностью из самана, до 2003 года являлась персидская «крепость Бам» (Арг-е Бам), созданная около 6–4 века до н. э. династией Ахеменидов. На протяжении веков индейцы пуэбло в Таосе, жители штата Нью-Мексико строили свои дома, используя землю, собранную на этих участках, воду из близлежащих ручьев и солому с полей. Историческое ядро города Шибам, Йемен, занимающего площадь около 20 000 м² и доступного только через единственные ворота, было построено полностью из самана. Многие дома напоминают небоскребы и датируются XV веком.

При возведении стен из однородного самана толщина стены из легкого самана ($\lambda = 0,3 \text{ Вт/ (м} \cdot \text{°C)}$) – 1,0 метр, а из тяжелого ($\lambda = 0,6 \text{ Вт/ (м} \cdot \text{°C)}$) может достигать 2,0 метров. Для условий Среднего Поволжья предлагается использовать конструкцию стены из саманных блоков с утеплителем снаружи (рис.1б). При использовании легкого самана толщина стены составляет 0,49 м (табл.1).

Технологии на основе использования земли (землебит, саман) успешно реализуются при строительстве сооружений в холодном климате Скандинавских стран [20]. В условиях Среднего Поволжья обязательным условием эксплуатации сооружений из самана является штукатурка глиняным или известково-песчаным раствором, внутри-можно гипсовым. Для условий Среднего Поволжья представляется технически сложно осуществимым сушка грунтоблоков и саманных блоков в естественных условиях.

Earthbags или «мешки с землей». История метода «earthbags» или «мешки с землей» восходит к военным убежищам, и впервые он был применен иранским архитектором Надером Халили в 70-х г.г. XXв., автором книги «Ceramic Houses and Earth Architecture» [21]. Здания из земляных мешков создаются путем заполнения мешков землей и создания жилых помещений путем укладки их друг на друга. После завершения строительства на поверхность наносится грунтовочная штукатурка, чтобы защитить ее от внешних воздействий и повысить прочность.

Возможность изменять размеры мешков и гибкость их формы позволяют создавать различные конструкции. Большую популярность получили круглые в плане сооружения с купольным завершением и арочными окнами. Этот метод широко используется при восстановлении жилья вследствие чрезвычайных ситуаций в Африке и Южной Америке [22]. В России вопросы строительства с использованием «земляных мешков» широко исследуются архитектором Ильей Сибиряковым.

Толщина стены будет регламентироваться размерами полипропиленового мешка (рукава). При ширине 55 см максимально возможная толщина стены – 40 см (рис.1в). В этом случае возникает необходимость в использовании жесткой теплоизоляции. Кроме того, расположение утеплителя снаружи позволит сохранить мешки с землей в зоне положительных температур. Предпочтителен следующий состав грунтовой смеси: глина – 15-20%; песок – 60-70%; цемент – 5-10%. При содержании глины более 25% в средней полосе России, стена будет иметь большую усадку.

Общая толщина стены в условиях Среднего Поволжья составит 0,54 м (табл.1).

Торфоблоки. Торф как «горючая земля» упоминался еще в документах античности. В основном, он использовался в качестве топлива. Существует несколько направлений использования торфа: энергетическое, сельскохозяйственное, конструкционное, медицинское [23].

Согласно «Энергетической стратегии России на период до 2030 года № 1715-р», торф рассматривается как местный источник топлива, кроме того предусматривается за счет использования торфа удовлетворение коммунально-бытовых потребностей, потребностей сельского хозяйства и смежных отраслей, в том числе оговаривается использование торфа в качестве теплоизолирующего материала [24, 25].

По площади торфяных месторождений Россия занимает 1 место в мире, 56,8 млн.га га, и 175,6 млрд.т по доле использование торфа в национальных энергобалансах, у нашей страны 5 место- всего 0,2%. Для сравнения этот же показатель для Ирландии составляет 15,3% с её запасами в 5,8 млрд.т. В Приволжском федеральном округе по размерам

разведанных запасов Марий Эл стоит в списке после Пермского края, Кировской и Нижегородской областей [26].

Торф — возобновляемый сырьевой ресурс, образуется при отмирании или частичном распаде в условиях избыточного увлажнения и недостатке кислорода болотной растительности (травы, мхи, лишайники). По оценкам специалистов, годовой прирост торфа в России при этом оценивается в 250-280 млн тонн, что эквивалентно 70 млн т.у.т. [27]. Болота составляют 6% от всей территории республики и занимают 109 тыс.га [28].

На территории Республики Марий Эл в настоящее время разрабатывается 202 месторождения торфа, 90 % от добычи которого используется в основном в качестве топлива [28].

Размеры блока составляют 510x250x88 мм. В этой связи, сравнивая все возможные способы устройства стены из торфоблоков, с точки зрения конструкционной прочности, теплотехнического расчета и удобства эксплуатации принимаем следующую конструкцию стены с использованием торфоблоков в качестве утеплителя (рис.1г) (табл.1). Использование торфоблоков как элемента наружной стены не отражается на внешнем архитектурном облике объекта, влияя только на его экологичность и теплотехнические показатели наружной ограждающей конструкции.

3. Результаты и обсуждение

Теплотехническая оценка различных вариантов стен на основе использования земли в условиях Среднего Поволжья сводится к стандартному расчету приведенного сопротивления теплопередачи и расчета толщины утеплителя согласно СП 50.13330.2024 «Тепловая защита зданий» (актуализированная редакция СНиП 23-02-2003):

1) определение градусо-суток отопительного периода ГСОП для района строительства;

Для г.Йошкар-Ола ГСОП = $(t_b - t_{от}) \cdot z_{от} = (20 - (-4,3)) \cdot 211 = 5127,3$ (°C·сут)/год,

где t_b — расчётная температура внутреннего воздуха, °C (для жилых зданий принимается 20 °C по ГОСТ 30494-2011;

$t_{от}$ — средняя температура наружного воздуха за отопительный период, (по СП 131.13330.2025), $t_{от} = -4,3$ °C;

$z_{от}$ — продолжительность отопительного периода, сут (по СП 131.13330.2025, для периода со среднесуточной температурой ≤ 8 °C для жилых и общественных зданий, $z_{от} = 211$ сут.

2) определение нормируемого сопротивления;

Нормируемое значение приведённого сопротивления теплопередаче определяется по п. 5.2 СП 50.13330.2024. Расчёт выполняется в два этапа: сначала определяется базовое значение по таблице 3, затем оно корректируется региональным коэффициентом.

$$R_0^{норм} = R_0^{тр} \cdot m_p$$

где m_p — коэффициент, учитывающий особенности региона строительства. В СП 50.13330.2024 принимается равным 1,0.

Значение $R_0^{тр}$ определяется по формуле:

$R_0^{тр} = a \cdot ГСОП + b$, (м²·°C)/Вт, где a и b — коэффициенты, принимаемые по таблице 3 СП 50.13330.2024 в зависимости от категории здания и типа ограждающей конструкции.

Коэффициенты для наружных стен I категории: $a = 0,00035$; $b = 1,4$

$$R_0^{тр} = 0,00035 \cdot 5127,3 + 1,4 = 3,2 \text{ (м}^2 \cdot \text{°C)/Вт}$$

$$R_0^{норм} = 3,2 \cdot 1,0 = 3,2 \text{ (м}^2 \cdot \text{°C)/Вт}$$

3) расчет суммарного термического сопротивления базовой (несущей) конструкции без утеплителя;

$$R_{баз} = 1/\alpha_v + \sum(\delta_i/\lambda_i) + 1/\alpha_n \text{ (суммирование по всем слоям кроме утеплителя)}$$

4) определение требуемого термического сопротивления утеплителя;

$R_{ут} = R_0^{тр}/\gamma$ — коэффициент теплотехнической однородности γ в рамках предварительного расчета принимается условно.

5) расчет минимальной толщины утеплителя с последующим округлением до ближайшего типоразмера, выпускаемого промышленностью (кратно 10 или 50 мм);

$$\delta_{ут} = R_{ут} \cdot \lambda_{ут}, \text{ м}$$

где $\lambda_{\text{ут}}$ — расчётный коэффициент теплопроводности утеплителя, Вт/(м·°C), принимаемый по приложению М СП 50.13330.2024 для соответствующих условий эксплуатации, в нашем случае Б, зоны влажности — нормальной (прил.А СП 50.13330.2024), влажностного режима помещений — нормального (табл.1 СП 50.13330.2024), коэффициент теплопроводности грунта — для суглинка с весовым влагосодержанием грунта 8 % по табл. В.6 СП 61.13330.2012 «Тепловая изоляция оборудования и трубопроводов».

б) условное сопротивление $R_0^{\text{усл}}$ учитывает только однородные слои конструкции. Реальные стены содержат теплотехнические неоднородности: стыки панелей, оконные откосы, дюбели, гибкие связи, обрамления проёмов, которые снижают фактическое сопротивление. Для учёта этих факторов вводится коэффициент теплотехнической однородности g ;

$$R_0^{\text{пр}} = R_0^{\text{усл}} \cdot g$$

Условие теплозащиты считается выполненным, если:

$$R_0^{\text{пр}} \geq R_0^{\text{норм}}$$

Результаты по отдельным типам конструкций наружной стены на основе использования грунта сведены в таблицу (табл.1).

Таблица 1

Сравнительная оценка теплотехнических показателей стены из материалов на основе использования грунта для условий Среднего Поволжья

Тип конструкции стены, коэффициент теплотехнической однородности, g	Слои стены	Коэффициент теплопроводности, λ , Вт/(м·°C)	Толщина слоя, δ , м	Толщина стены, м	Приведенное сопротивление теплопередаче, R , (м²·°C)/Вт
Грунтоблоки (с утеплителем снаружи), $g=0,90$	1-штукатурка	0,93	0,02	0,78	3,78
	2-жесткая теплоизоляция	0,034	0,10		
	3-грунтоблоки	0,6	0,64		
	4-штукатурка	0,93	0,02		
Саманные блоки (с утеплителем снаружи), $g=0,90$	1-штукатурка	0,93	0,02	0,69/ 0,49	4,96/ 4,00
	2-жесткая теплоизоляция	0,034	0,10		
	3-саман легкий	0,3/0,18	0,55/ 0,33		
	4-штукатурка	0,93	0,02		
Мешки с землей, $g=0,90$	1-штукатурка	0,93	0,02	0,54	3,33
	2-жесткая теплоизоляция	0,034	0,1		
	3-мешки с землей	0,7	0,4		
	4-штукатурка	0,93	0,02		
Торфоблоки, $g=0,90$	1-штукатурка	0,93	0,02	0,52	3,4
	2-торфоблоки	0,08	0,25		
	3-кирпичная кладка	0,52	0,25		
	4-штукатурка	0,93	0,02		
Compressed Stabilized Earth Blocks (CSEBs) $g=0,90$	1-штукатурка	0,93	0,02	0,69	4,77
	2-жесткая теплоизоляция	0,034	0,15		
	3-CSEBs	0,7	0,5		
	4-штукатурка	0,93	0,02		
CSEBs+ Торфоблоки, $g=0,90$	1-штукатурка	0,93	0,02	0,79	3,62
	2-торфоблоки	0,08	0,25		
	3-CSEBs	0,7	0,5		
	4-штукатурка	0,93	0,02		

В исследованиях зарубежных авторов встречаются исследования теплотехнических свойств композитных сапрпель-конопляных плит [29], также ведутся разработки

модифицированных цементно-песчаных блоков с добавлением 6% торфа, что позволило снизить теплопроводность блока до значений 1,275 Вт/(м·°С) [30].

Перспективным с экологической точки зрения следует считать вариант стены «CSEBs+торфоблоки в качестве утеплителя» как наружной стены из полностью биопозитивных материалов, имеющих к тому же широкое распространение в Среднем Поволжье. Данная конструкция стены также имеет несравненное технологическое преимущество по сравнению с остальными, поскольку все её составные элементы – заводского изготовления, что приобретает особую важность в условиях изменчивости погоды и повышенной сезонной влажности воздуха в Среднем Поволжье. Благодаря технологии изготовления земляных блоков CSEBs, в частности добавления цемента, данная конструкция будет служить более долговечно в сравнении с остальными, что, в конечном итоге, безусловно скажется на экономической выгоде данного варианта стены (рис.1) (табл.1).

4. Заключение

1. Наружные стены из материалов на основе использования земли возводятся повсеместно, даже в холодном и влажном климате Скандинавских стран, для строительства монументальных сооружений религиозного характера, фортификационных и оборонительных сооружений, традиционного жилища. Старейшие здания из грунтоблоков датируются 8000-6000 г.г. до н.э. Благодаря тому, что данный материал является легко доступным и дешёвым, как показывает история строительства, к таким земляным технологиям, как грунтоблоки, «мешки с землёй», саман, торфоблоки, обращаются во времена глубоких потрясений и отсутствия других возможностей возведения сооружений (пример- опыт Великой Отечественной войны, наводнения, землетрясения и т.д.). Современная земляная архитектура, возникшая как ответ на глобальный экологический кризис,- не исключение.

2. Из материалов на основе использования земли возводят архитектурные объекты не только безымянные народные зодчие, но и архитекторы с мировым именем. Архитектурные решения зданий из блоков на основе использования грунта (грунтоблоки, торфоблоки, саман-adobe) подчинены общим закономерностям возведения зданий блочного типа с возможностью устройства пилястр, арок, перемычек, карнизных поясов, деталей обрамления окон. Саман- cob и earthbags или «мешки с землей» обладают возможностью придавать пластичные очертания, участвуя таким образом в архитектурном формообразовании свободного типа.

3. Из рассмотренных в исследовании конструкций наружных стен из материалов на основе использования грунта следует обратить внимание на торфоблоки, состоящие из материала с наименьшим коэффициентом теплопроводности, λ , Вт/(м·°С), и большей экологичностью в сравнении с другими материалами. Дополнительным преимуществом в использовании торфоблоков в Среднем Поволжье служит наличие месторождений торфа. Наиболее оптимальным вариантом стены, можно предположить, будет совмещение блоков CSEBs в качестве несущего слоя и торфоблоков в качестве теплоизоляции.

Изучение опыта традиционного природного строительства совместно с инновационными технологическими разработками в области экологичных материалов станет основой развития экологической архитектуры.

Список литературы/ References

1. Куликов Д.А. Принципы организации ресурсосберегающего архитектурного пространства// Известия КГАСУ. 2011. № 1 (15). С. 31–38.
Kulikov D.A. Principles of organizing a resource-saving architectural space/ News of KSUAE 2011. No. 1 (15). P.31-38
2. Айдарова Г.Н. Альтернативная архитектура. Культурологический аспект. / В сб.: Искусство и этнос: новые парадигмы. – Казань: Изд-во «Дом печати», 2002. – 168 с.
Aidarova G.N. Alternative architecture. Cultural aspect. / In the collection: Art and Ethnicity: New Paradigms. – Kazan: Publishing house of the Press, 2002. – 168 p.
3. Тетиор А.Н. Долгий путь к городу, позитивному для человека и природы// Sciences of Europe. 2020. № 48. С. 3-14.

- Tetior A.N. Long way to city, positive for the person and nature / *Sciences of Europe*. No. 48. 2020. P. 3-14.
4. M. F Pantoja, R. H Póvoas, J. C Pantoja. Design and Sustainable Construction in the Contemporary Work of Norman Foster / *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2022. December. DOI 10.1088/1755-1315/1123/1/012040
5. Иовлев В.И. Архитектурно-экологическое формообразование // *Архитектон: известия вузов*. 2006. № 15 (06). URL: http://archvuz.ru/2006_3/1 (дата обращения: 27.06.2022).
Iovlev V.I. Architectural and ecological shaping / *Architecton: proceedings of higher education*. 2006. No. 15 (06). URL: http://archvuz.ru/2006_3/1 (reference date: 27.06.2022).
6. Черешнев И. В., Черешнева Н. В. Исследование методов архитектурно-экологического формообразования жилых зданий // *Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура*. 2019. Вып. 4(77). С. 213—220.
Chereshnev I. V., Chereshneva N. V. Study of methods of architectural and ecological shaping of residential buildings // *Bulletin of the Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering. Series: Construction and Architecture*. 2019. Iss. 4(77). P. 213-220.
7. Сайт архитектора Павла Казанцева// Сайт. 2025. URL:<https://pal-antvlad.narod2.ru/> (дата обращения: 03.02.2025).
Website of the architect Pavel Kazantsev/ Website. 2025. URL:<https://pal-antvlad.narod2.ru/> (reference date: 03.02.2025).
8. Gernot Minke. Building with Earth. Design and Technology of a Sustainable Architecture/ Birkhäuser – Publishers for Architecture, Basel- Berlin- Boston, 2006. 200 p.
9. Вавилова Т.Я., Манцуrowa Е.М.. Основные направления использования природных материалов в современном архитектурном проектировании// *Вестник инженерной школы ДВФУ*. 2016. №2. С. 128-134.
Vavilova T.Ya., Mantsurova E.M. The main directions of using natural materials in modern architectural design/ *Bulletin of the FEFU School of Engineering*. 2016. No. 2. P. 128-134.
10. Смирнова С.Н. Особенности архитектурного решения землебитных строений и возможности их конструктивного устройства для условий Среднего Поволжья// *Известия КГАСУ*. 2022 №2(60). С.82-92. DOI: 10.52409/20731523_2022_2_82
Smirnova S.N., Features of the architectural solution of earth-building structures and the possibility of their constructive arrangement for the conditions of the Middle Volga region/ *News of KSUAE*. 2022. No. 2(60). P. 82-92. DOI: 10.52409/20731523_2022_2_82
11. Способ выработки грунтоблоков: пат. 66031 СССР, МПК B28B3/00 C04B33/30; заявл. 03.10.1944 : опубл. 03.03.1946 / Философов П.С. URL: <https://patenton.ru/patent/SU66031A1> (дата обращения: 03.02.2025).
The method of producing soil blocks: patent 66031 of the USSR, MPK B28B3/00 C04B33/30; decl.03.10.1944; publ.03.03.1946/ Filosofov P.S. URL: <https://patenton.ru/patent/SU66031A1> (reference date: 03.02.2025).
12. Haidee Yulady Jaramillo, Sir Alexci Suárez Castrillón, July Andrea Gomez Camperos. Mechanical Properties of an Earth Block Compressed with Cementitious Material / *Civil Engineering and Architecture*. 2022. Vol. 10. No. 7. P. 2858 – 2865. DOI: 10.13189/cea.2022.100706.
13. G. Polidori, A. ArasGaudry, C. Rousseau, F. Beaumont, F. Bogard, S. Murer, T. Moussa, Ch. Bliard, G. Fronteau, E.Hamard. Analysis of adobes from vernacular raw earth buildings in the Champagne region (France) / *Construction and Building Materials*, 2025. Vol. 470, 4 April. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2025.140582>
14. L. F. Guerrero Baca. The Use of Cob in the Intervention of Adobe Construction Components/ *Intervención (Méx. DF)*. 2020. Vol.11 No.22. DOI: <https://doi.org/10.30763/intervencion.236.v2n22.15.2020>

15. H. Azouqah, N. Alomar, L. Kaadan, M. Sonbul, H. Abdulaziz, W. Labib. Sustainable Local Materials: A Study of Adobe Bricks in Saudi Arabia / Materials Science Forum. 2021. October 1047:163-173. DOI:10.4028/www.scientific.net/MSF.1047.163
16. Глинобитный дом Райта// Сайт. 2025. URL: <https://mensh.ru/articles/glinobitnyy-dom-rayta> (дата обращения: 03.02.2025)
Wright's adobe house // Website. 2025. URL: <https://mensh.ru/articles/glinobitnyy-dom-rayta> (reference date: 03.02.2025)
17. David Griffin. Frank Lloyd Wright's Only Adobe Design Is Rescued From Total Disrepair // URL: <https://www.dwell.com/article/frank-lloyd-wright-pottery-house-adobe-design-poe-house-87465142/6988196694482620416> (reference date: 03.02.2025)
18. J. Rios, A. Learning from the Past: Parametric Analysis of Cob Walls/ Appl. Sci. 2023. 13,9045. DOI: <https://doi.org/10.3390/app13159045>
19. Ming Hu. Exploring Low-Carbon Design and Construction Techniques: Lessons from Vernacular Architecture//Climate. 2023. 11(8), 165. DOI: <https://doi.org/10.3390/cli11080165>
20. J. Fernandes, M. Dabaieh. From the Mediterranean to the Nordic: Unveiling the potential of earth construction in contemporary architecture. /Structures and Architecture. REstructure REmaterialize REthink REuse - Rinke & Frier Hvejsel (Eds), 2025. 1859p. P. 739-746. DOI: 10.1201/9781003658641-89
21. H. Karimi, M. A. Adibhesami. A Review of Nader Khalili Shelter Design Thoughts from the Sustainability/ UKH Journal of Science and Engineering. 2022. 6(2):1-7, December. DOI:10.25079/ukhjse.v6n2y2022.pp1-7
22. Дома из мешков с землей – это тот же саман или землебит, только для очень сырых регионов. // Сайт. 2022. URL: <https://dzen.ru/a/YgAvmf9exTxQXhLJ> (дата обращения: 02.04.2026)
Houses made of earthbags are the same adobe or earthstone, only for very damp regions. // Website. 2022. URL: <https://dzen.ru/a/YgAvmf9exTxQXhLJ> (reference date: 02.04.2026)
23. Брыксина В.А., Каданцева Я.В., Курьято Н.А. Использование торфопродукции в сельском хозяйстве // Наука в Центральной России. 2023. Т. 66, № 6. С. 80-92. DOI: <https://doi.org/10.35887/2305-2538-2023-6-80-92>.
Bryksina V.A., Kadantseva Ya.V., Kuryato N.A. Use of peat products in agriculture // Science in Central Russia. 2023. Vol. 66, No. 6. P. 80-92. DOI: <https://doi.org/10.35887/2305-2538-2023-6-80-92>.
24. Достовалова М.С., Инишева Л.И., Инишев Н.Г. Физико-географические факторы болотообразовательного процесса на горных территориях Сибири // Региональные геосистемы. 2025. 49(2). С. 205–219. DOI: 10.52575/2712-7443-2025-49-2-205-219
EDN: ADEEARPeat is an undervalued resource in Russia.
Dostovalova M.S., Inisheva L.I., Inishev N.G. Physical and Geographical Factors of the Swamp-Forming Process in the Mountainous Territories of Siberia / Regional Geosystems. 2025. 49(2) P. 205–219. DOI: 10.52575/2712-7443-2025-49-2-205-219
EDN: ADEEAR
25. Евзеров В.Я. Торф – неиспользованный сырьевой ресурс северо-запада Российской Арктики// Труды Ферсмановской научной сессии ГИ КНЦ РАН. 2021. № 18. С. 160–164. DOI: <https://doi.org/10.31241/FNS.2021.18.029>.
Yevzerov V.Ya. Peat as an untapped resource of the North-Western Russian Arctic/ Proceedings of the Fersman Scientific Session of the Geological Institute of the Kola Science Centre of the Russian Academy of Sciences. 2021. No. 18. P. 160–164. DOI: <https://doi.org/10.31241/FNS.2021.18.029>
26. Демаков Ю. П., Исаев А. В., Богданов Г. А., Тишин Д. В., Жилич С. В., Долгих А. В. Изменение состава и параметров торфа в процессе эволюции озёрно-болотной системы «Кошеер» (Республика Марий Эл) // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Сер.: Лес. Экология. Природопользование. 2020. № 2 (46). С. 68–86. DOI: <https://doi.org/10.25686/2306-2827.2020.2.68>

- Demakov Iu. P., Isaev A. V., Bogdanov G. A., Tishin D. V., Zhilich S. V., Dolgikh A. V. Change of Peat Composition and Parameters when “Kosheer” Lalus-Trine-Boggy System Evolution (Mari El Republic)/ Bulletin of Volga State University of Technology. Ser.: Forest. Ecology. Nature Management. 2020. No. 2 (46). P. 68–86. DOI: <https://doi.org/10.25686/2306-2827.2020.2.68>
27. Торф — недооценённый ресурс России URL: [https://www.c-o-k.ru/articles/torf-nedoocenennyu-resurs-rossii_\(дата обращения: 03.02.2025\)](https://www.c-o-k.ru/articles/torf-nedoocenennyu-resurs-rossii_(дата обращения: 03.02.2025))
Peat is an undervalued resource in Russia. URL: [https://www.c-o-k.ru/articles/torf-nedoocenennyu-resurs-rossii_\(reference date: 03.02.2025\)](https://www.c-o-k.ru/articles/torf-nedoocenennyu-resurs-rossii_(reference date: 03.02.2025))
28. Справка о состоянии и перспективах использования минерально-сырьевой базы республики Марий Эл на 15.06.2020 г. URL: [https://rosnedra.gov.ru/data/Fast/Files/202011/9e4fd01c61eeef594b332505db12612f.pdf_\(дата обращения: 03.02.2025\)](https://rosnedra.gov.ru/data/Fast/Files/202011/9e4fd01c61eeef594b332505db12612f.pdf_(дата обращения: 03.02.2025))
Report on the state and prospects of using the mineral resource base of the Republic of Mari El as of June 15, 2020. URL: [https://rosnedra.gov.ru/data/Fast/Files/202011/9e4fd01c61eeef594b332505db12612f.pdf_\(reference date: 03.02.2025\)](https://rosnedra.gov.ru/data/Fast/Files/202011/9e4fd01c61eeef594b332505db12612f.pdf_(reference date: 03.02.2025))
29. I. H. Mohamad Idris, N. Z. Yusof. Development of low thermal mass cement-sand block utilizing peat soil and effective microorganism / Case Studies in Construction Materials. 2018. No. 8. P. 8–15 DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2017.11.004>
30. Sharif E. Guseynov, et al. 3D Mathematical Model Characterizing the Dynamics of the Temperature Field of a Wall Structure with a Double-Sided Facing from a Saproel-Hemp Composite Material Environment/ Technology. Resources. Rezekne, Latvia Proceedings of the 13th International Scientific and Practical Conference. 2021. Vol. 3. P. 95-10 DOI: <https://doi.org/10.17770/etr2021vol3.6648>

Информация об авторах.

Смирнова Светлана Николаевна, кандидат архитектуры, доцент, Поволжский государственный технологический университет, г. Йошкар-Ола, Российская Федерация
E-mail: smirnovskie_ns@mail.ru

Information about the authors.

Svetlana N. Smirnova, candidate of architecture, assistant professor, Volga State University of Technology, Yoshkar-Ola, Russian Federation
E-mail: smirnovskie_ns@mail.ru

Дата поступления: 18.02.2025

Дата принятия: 30.04.2026