

ISSN 1993-3509 (online)

Современное промышленное и гражданское строительство. 2025. Т. 21, № 2. С. 71–84.
Modern Industrial and Civil Construction. 2025. Vol. 21, no. 2. P. 71–84.

Научная статья

УДК 69.057

doi: 10.71536/spgs.2025.v21n2.2

edn: xjuarc



РЕАЛИЗАЦИЯ АСПЕКТОВ УСТОЙЧИВОЙ АРХИТЕКТУРЫ НА ОСНОВЕ ПРИМЕНЕНИЯ ТРЕХСЛОЙНЫХ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ПАНЕЛЕЙ С ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫМ СЛОЕМ ИЗ ПОЛИСТИРОЛБЕТОНА

Ольга Константиновна Мещерякова¹, Алексей Митрофанович Хорохордин²,
Сергей Владимирович Горский³

^{1,2} Воронежский государственный технический университет, Воронеж, Россия,

³ Национальный исследовательский Московский государственный
строительный университет, Москва, Россия,

¹ onora@list.ru, ² ahorohordin@cchgeu.ru, ³ 4804107@mail.ru

Аннотация. Необходима разработка инновационных организационно-технологических и конструктивных решений строительства с применением трехслойных железобетонных панелей с теплоизоляционным слоем из полистиролбетона для приведения технологических параметров строительства в соответствие «зеленым» стандартам и принципам устойчивой архитектуры. Разработана методическая схема научно-исследовательской и опытно-конструкторской работы, включающая несколько этапов: корректировку технологии производства полистиролбетона, разработку трехслойных плит с теплоизоляционным и частично несущим слоем полистиролбетона, добровольную экологическую сертификацию панелей, разработку комплексных организационно-технологических решений по строительству на основе трехслойных панелей. Применение вакуумирования при нагревании в процессе производства полистиролбетонных конструкций позволяет практически полностью нейтрализовать токсичность пенополистирола в составе полистиролбетона. Разработанные технологические и конструктивные решения позволяют реализовать базовые аспекты устойчивой архитектуры, отвечают ESG-принципам и соответствуют требованиям «зеленых» стандартов.

Ключевые слова: устойчивая архитектура, «зеленые» стандарты, полистиролбетон, бисерный пенополистирол, трехслойные железобетонные панели, газовая хроматография, «зеленый» сертификат

Для цитирования: Мещерякова О. К., Хорохордин А. М., Горский С. В. Реализация аспектов устойчивой архитектуры на основе применения трехслойных железобетонных панелей с теплоизоляционным слоем из полистиролбетона // Современное промышленное и гражданское строительство. 2025. Т. 21, № 2. С. 71–84. doi: 10.71536/spgs.2025.v21n2.2. edn: xjuarc.

Original article

IMPLEMENTATION OF ASPECTS OF SUSTAINABLE ARCHITECTURE BASED ON THE USE OF THREE-LAYER REINFORCED CONCRETE PANELS WITH A HEAT-INSULATING LAYER OF POLYSTYRENE CONCRETE

Olga K. Meshcheryakova¹, Alexey M. Khorokhordin², Sergey V. Gorsky³

^{1,2} Voronezh State Technical University, Voronezh, Russia,

³ Moscow State University of Civil Engineering, Moscow, Russia,

¹ onora@list.ru, ² ahorohordin@cchgeu.ru, ³ 4804107@mail.ru

Abstract. It is necessary to develop innovative organizational, technological and constructive construction solutions using three-layer reinforced concrete panels with a heat-insulating layer of polystyrene concrete to



bring the technological parameters of construction in line with «green» standards and principles of sustainable architecture. A methodological scheme of research and development work has been developed, which includes several stages: adjustment of polystyrene concrete production technology, development of three-layer plates with a heat-insulating and partially load-bearing layer of polystyrene concrete, voluntary environmental certification of panels, development of integrated organizational and technological solutions for construction based on three-layer panels. The use of heat evacuation during the production of polystyrene concrete structures makes it possible to almost completely neutralize the toxicity of expanded polystyrene in polystyrene concrete. The developed technological and constructive solutions make it possible to implement the basic aspects of sustainable architecture, meet ESG principles and meet the requirements of «green» standards.

Keywords: sustainable architecture, «green» standards, polystyrene concrete, beaded expanded polystyrene, three-layer reinforced concrete panels, gas chromatography, «green» certificate

For citation: Meshcheryakova O. K., Khorokhordin A. M., Gorsky S. V. Implementation of aspects of sustainable architecture based on the use of three-layer reinforced concrete panels with a heat-insulating layer of polystyrene concrete. *Modern Industrial and Civil Construction*. 2025;21(2):71–84. (In Russ.). doi: 10.71536/spgs.2025.v21n2.2. edn: xjuarc.

Введение

Устойчивая архитектура является одним из основных векторов развития градостроительной деятельности во всем мире. Еще в 2015 году ООН утвердила Повестку дня в области устойчивого развития на период до 2030 года – дорожную карту, позволяющую странам иметь возможность улучшить жизнь людей на равных условиях [12; 19]. Особенno важное место отводится экологии и энергоэффективности [10; 20].

Данное направление активно внедряется и в России. Это связано как с политикой государства, так и с экономической необходимостью. В результате требования к устойчивости и комфорту постепенно становятся неотъемлемой частью каждого проекта жилого дома. «Зелёные» стандарты можно считать очередным шагом в продвижении энергоэффективного и «зеленого» строительства в России. ESG (Environmental – экология, Social – социальная сфера, Governance – управление), principles – принципы деятельности строительной компании, основанные на защите окружающей среды и энергоэффективности, контроле за углеродным следом на всех этапах жизненного цикла как здания в целом, так и любой его конструкции [8; 11]. Таким образом, реализация ESG-принципов – это новый уровень ответственности строительства, воплощение базовых аспектов устойчивой архитектуры, управление строительством с учетом потенциального негативного воздействия строительного объекта на окружающую среду и, соответственно, оценки

возможных отрицательных воздействий на людей, которые будут эксплуатировать данный объект недвижимости [21].

Понятие устойчивой архитектуры в Градостроительном кодексе Российской Федерации нашло свое отражение как комплексное и устойчивое развитие территорий. В качестве целей комплексного развития территории определены устойчивость и комфортность городской среды за счет применения энергосберегающих технологий, новых экологически чистых материалов, энергосбережения при эксплуатации многоквартирных домов, по совершенствованию инженерных систем и утеплению ограждающих конструкций с целью экономии подаваемого тепла [3].

Очевидно, что комплексное развитие территорий невозможно без учета влияния существующих и вновь возводимых объектов недвижимости на окружающую среду, рационального расхода энергоресурсов, а также формирования максимально комфортных условий проживания людей в течение многих поколений. С этой целью в Российской Федерации вводятся «зелёные» сертификаты строительства, требующие применения энергоэффективных материалов, обладающих высокими теплоизоляционными и звукоизоляционными свойствами [5].

Всем указанным критериям соответствует технология строительства с применением полистиролбетона, который по своим теплотехническим, звукоизоляционным качествам, трещиноустойчивости, долговечности, низкой нагрузке на

фундаменты, а также скорости возводимых зданий малой этажности значительно превосходит другие строительные материалы. Данные свойства этого материала давно оценили во всем мире и применяют как для быстровозводимого малоэтажного строительства [14], так и для более тяжелых конструкций [6].

Прочные и экономичные дома со стенами из полистиролбетона даже в Сибири не требуют утепления фасадов. И это лишь одна из характеристик, которые выгодно выделяют полистиролбетон в сравнении с другими материалами. По многим основным параметрам он выигрывает даже у ближайших «конкурентов» – пенобетона, автоклавного и армированного газобетона. Так, один из сибирских интернет-порталов провел опрос, где, в частности, был задан вопрос о материале дома, и оказалось, что более 55 % опрошенных отдают предпочтение конструкциям из полистиролбетона [4].

Постановка задания

Однако широкое распространение данного материала в жилищном строительстве ранее имело ограничения в связи с требованиями к пожаробезопасности и экологичности многоэтажных зданий, а также рядом нерешенных проблем технологии строительства, связанных с прочностью при возведении зданий большой этажности. Для решения данной проблемы был проведен ряд исследований, и разработаны трехслойные железобетонные панели с теплоизоляционным слоем из полистиролбетона, которые позволяют использовать все преимущества полистиролбетона для многоэтажных домов и устраниТЬ все недостатки классических строительных материалов на основе полистиролбетона.

Строительство из данных материалов позволяет строить здания с учетом экологических аспектов и требований устойчивой архитектуры, под которой понимается экологичное строительство на базе высоких технологий [1].

Данное исследование стало результатом трехстороннего сотрудничества производственно-строительной компании «Дома-Дом», являющейся производителем домов и домокомплектов из полистиролбетона, воронежского завода «Полистиролбетон» и Центра коллективного пользования (ЦКП) имени профессора

Ю. М. Борисова ВГТУ в целях представления полученных результатов на международной строительной конференции во Вьетнаме и дальнейшего внедрения разработок в строительстве малоэтажного, а далее и многоэтажного жилья.

Основной материал

Стандартные полистиролбетонные блоки и панели изготавливаются как композитный материал: портландцемент различных марок соединяется с кварцевым песком и бисерными гранулами полистирола, также добавляются различные ускорители, пластификаторы, в состав может входить и древесная омыленная смола, которая применяется для расслоения смеси и всплытия частиц полистирола [15; 16]. В процессе производства все тщательно перемешивается, а готовый раствор выливается в опалубку либо на заводе, либо сразу на объект строительства.

Перечислим основные преимущества материала с точки зрения устойчивости [9], то есть экологических и энергоэффективных качеств (рис. 1):

1. Экологическая безопасность (полистиролбетон состоит из смеси бетона с пищевым полистиролом).
2. Высокая теплоизоляция и низкая теплопроводность (стена толщиной в обычный блок соответствует кирпичной стене толщиной до 1,8 м, что сокращает теплопотери в 5 раз).
3. Долговечность (полистиролбетон может прослужить до 100 лет).
4. Паропроницаемость соответствует паропроницаемости древесины.
5. Плохая горючесть (блоки и панели не горят, единственным результатом контакта с открытым пламенем является испарение шариков полистирола в поверхностном слое).

В числе недостатков экологичность, не соответствующая всем требованиям «зеленых стандартов», прочность и необходимость защитного и декоративного покрытия здания.

Очевидно, что с точки зрения устойчивой архитектуры данный материал обладает огромным количеством преимуществ и большими перспективами применения как в индивидуальном жилищном строительстве, так и при возведении многоквартирных домов при условии устранения недостатков.

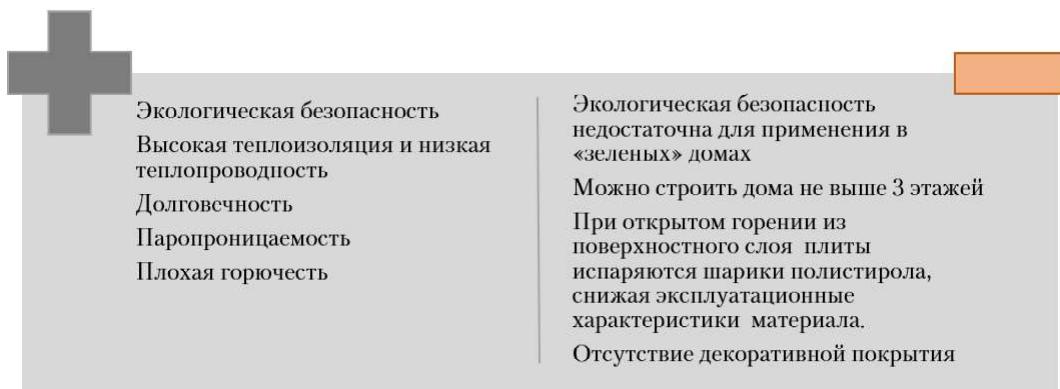


Рисунок 1 – Эксплуатационные характеристики полистиролбетона.

«Зеленые стандарты» строительства, принятые в России, в частности, предполагают следующие мероприятия [7]:

1. Повышение класса энергосбережения и снижение количества выбросов парниковых газов при эксплуатации здания (снижение расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию здания, в том числе, за счет применения энергоэффективных материалов).
2. Использование экологически безопасных материалов с низкой эмиссией вредных веществ в воздух (доля экологически сертифицированных строительных материалов и конструкций, использованных при строительстве, составляет не менее 10 %).
3. Снижение загрязнения окружающей среды, которое образуется в результате транспортирования строительных материалов на большие расстояния.
4. Минимизацию превышение значений шумового воздействия на людей.
5. Стимулирование использования материалов и инженерного оборудования с подтвержденным низким углеродным следом.
6. Обеспечение автоматизированного управления зданием на основе системы «Умный дом», чтобы эффективно управлять коммунальными ресурсами, производить своевременное обслуживание инженерного оборудования для повышения его срока службы, цифровизация строительства, применение BIM-технологий.

Чтобы строительство с применением полистиролбетона полностью соответствовало данным зеленым требованиям, было принято решение о

совершенствовании как производства самого материала, так и строительной технологии с его применением [2].

Ход исследовательской работы был разделен на 4 этапа (рис. 2):

1 ЭТАП

Скорректирована стандартная технология приготовления полистиролбетона путем применения вакуумирования в процессе приготовления смеси. В этот момент выделялись и удалялись все возможные вещества непосредственно из полистиролбетона. Особенно важно определять такие эксплуатационные характеристики как токсичность при высоких температурах [18].

Проводились исследования выделений установке для определения показателя токсичности при горении с точки зрения выделения при нагревании и формировались хроматограммы при различных температурах испытаний на газовом хроматографе.

Показатель токсичности продуктов горения – отношение количества материала к единице объема замкнутого пространства, в котором образующиеся при горении материала газообразные продукты вызывают гибель 50 % подопытных животных. Значение показателя токсичности продуктов горения следует применять для сравнительной оценки полимерных материалов, а также включать в технические условия и стандарты на отделочные и теплоизоляционные материалы. При проведении основных испытаний в установленном режиме находят ряд значений зависимости токсического действия продуктов горения от величины отношения массы образца

Корректировка технологии производства полистиролбетона

- Введение вакуумирования в процесс производства

Разработка трехслойных панелей:

1. Для многоэтажного строительства из тяжелых бетонов с частично несущим слоем полистиролбетона марки D550
2. Для малоэтажного строительства из легких бетонов с частично несущим слоем полистиролбетона марки D550

- Панель состоит из внешнего и внутреннего железобетонного слоя и слоя полистиролбетона в центре

Добровольная экологическая сертификация

- Панели сертифицированы

Разработка комплексных организационно-технологических решений по строительству зданий на основе трехслойных панели

- Необходимы 2 решения – для многоквартирных домов и малоэтажного строительства

Рисунок 2 – Этапы научно-исследовательской и опытно-конструкторской работы.

к объему установки. Для получения токсических эффектов ниже и выше уровня 50 % летальности изменяют объем экспозиционной камеры при постоянных размерах образцов материалов.

Сущность метода определения показателя токсичности заключается в сжигании исследуемого материала в камере сгорания при заданной плотности теплового потока и выявлении зависимости летального эффекта газообразных продуктов горения от массы материала, отнесенной к единице объема экспозиционной камеры. Для экспериментов были отобраны 2 группы (по 10 образцов размером $60 \times 60 \times 8$ мм) полистиролбетона, произведенного при обычной технологии и с применением вакуумирования. Усредненные результаты испытаний по ГОСТ 12.1.044-89 «Система стандартов безопасности труда. Пожароопасность веществ и материалов. Номенклатура показателей и методы их определения» при температуре испытания в камере сгорания $t = 550^{\circ}\text{C}$ по стандартной технологии (1) и с применением вакуумирования при производстве (2) представлены в таблице 1.

Таким образом, при вакуумировании и нагревании токсичность пенополистирола снизилась. Чтобы подтвердить данные выводы, были проведены исследования на газовом хроматографе Agilent серии 8 800, мод. 8 890 GC System Центра коллективного пользования (ЦКП) имени профессора Ю. М. Борисова ВГТУ.

Ход исследования приведен на рисунке 3. Суть экспериментов заключалась в следующем:

1. Был взят исходный бисерный пенополистирол, который является сырьем для производства пенополистиролбетонных блоков и панелей [17], а также готовые блоки полистиролбетона, из которых были извлечены частицы пенополистирола.
2. Выделялись навески разной массы, затем эти, и другие образцы помещались в газовый хроматограф, принцип действия которого на газожидкостном методе исследований. Инертный газ используется в качестве подвижной фазы. Он проходит через слой неподвижной жидкой фазы, находящейся на внутренней поверхности колонки.
3. По результатам проведенной работы на полученной хроматограмме произвели качественное идентифицирование компонентов, сравнивая значения с эталонным (из библиотеки данных). В частности, использовали идентификацию по времени выхода пика, а также сравнивали с данными логарифмической шкалы удерживания.
4. Была осуществлена оптимизация условий хроматографического разделения, все пики на хроматограмме разделены между собой в достаточной степени. Определенные вещества маркованы на представленной хроматограмме.

5. По диаграммам на рисунке 4 сделаны выводы: при хроматографировании ($t = 550^{\circ}\text{C}$) усредненной фракции пенополистирола, изъятого из блоков, выделения всех веществ ниже в 30 раз, чем в исходном пенополистирольном сырье; при хроматографировании ($t = 60^{\circ}\text{C}$) в составе усредненной фракции пенополистирола график не показал

экстремума, во всех диапазонах наблюдался только колебательный шум. Таким образом, было доказано, что первый этап научно-исследовательской работы успешно выполнен: вакуумирование позволило практически полностью нейтрализовать токсичность пенополистирола в составе полистиробетона.

Таблица 1. Токсичность полистиролбетона

№ группы п/п	Среднее время разложения образца, Т, мин	Масса образца, г		Потеря массы, г	Концентрации, %	Группа токсичности по Федеральному закону 123 «Технический регламент о требованиях пожаробезопасности» и по ГОСТ	Продолжительность экспозиции животных, мин	Показатель токсичности, $H_{\text{CL}50}$ в $\text{г} \cdot \text{м}^{-3}$
		начальная	конечная					
1 – Стандартная технология производства полистиролбетона	12	5	3,803	1,197	0,9	1,4	1,1	T2 – умеренно опасные
2 – Вакуумирование	12	5	4,201	0,799	0,7	0,8	0,7	T1 – малоопасные



Рисунок 3 – Этапы исследования пенополистирола на газовом хроматографе Agilent серии 8 800 в ЦКП ВГТУ.

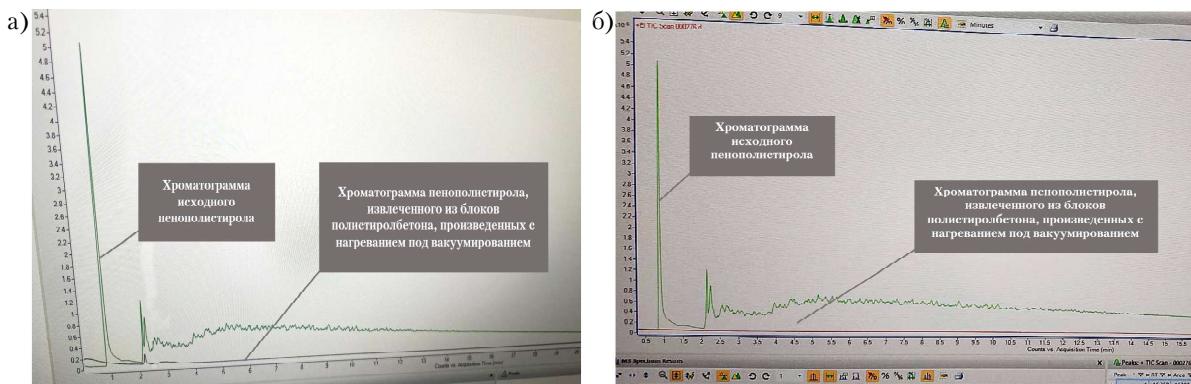


Рисунок 4 – Результаты исследования пенополистирола на газовом хроматографе Agilent серии 8 800: а) хроматографирование при $t = 550^{\circ}\text{C}$; б) хроматографирование при $t = 60^{\circ}\text{C}$.

2 ЭТАП

На второй этап исследовательской работы были разработаны экспериментальные конструктивно-технологические решения на основе полистиролбетона как для малоэтажного жилья, так и для многоквартирных домов (рис. 5).

Суть инновации заключается в капсулировании полистиролбетона и создании трехслойных стеновых панелей, что обеспечит соответствие «зеленым стандартам», экологичность строительства, пожаробезопасность, защиту гранул пенополистиролбетона от испарения при контакте с открытый огнем, требуемую прочность конструкции, что обеспечивает возможность применения в строительстве зданий свыше 3 этажей [13].

Для разработки трехслойных панелей за основу были взяты межгосударственные стандарты ГОСТ 31310-2015 «Панели стеновые трёхслойные железобетонные с эффективным утеплителем», ГОСТ 15588-2014 «Плиты пенополистирольные теплоизоляционные» и ряд других межгосударственных стандартов.

Полученные экспериментальные образцы состоят из следующих слоев:

1. Для основных слоев панелей был выбран тяжелый бетон по ГОСТ 26633 класса В15.
2. Теплоизоляционный слой полистиролбетона имеет следующий состав: вспененный полистирол по ГОСТ 15588; цемент по ГОСТ 31108; подготовленная вода по ГОСТ 23732,

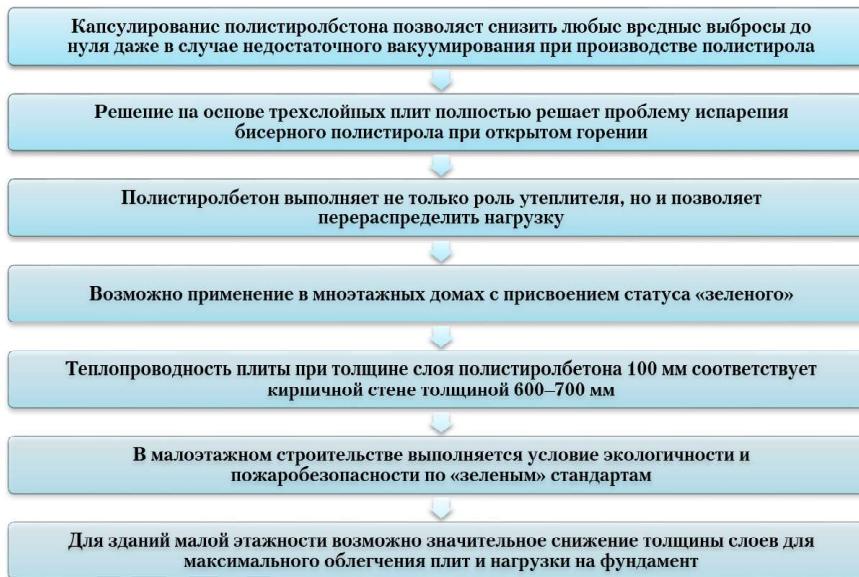


Рисунок 5 – Инновационные конструктивно-технологические решения для трехслойной панели с применением полистиролбетона.

СанПиН 2.1.3684-21; добавки пластифицирующие по ГОСТ 24211 или по нормативно-технической документации производителя. Полистиролбетон соответствует – ГОСТ 33929-2016 «Полистиролбетон. Технические условия», марка по средней плотности – D550, фактический класс прочности на сжатие соответствует нормируемому классу В2. Допускается замена сырья на аналогичное сырье отечественного и зарубежного производства, не уступающее по качеству и показателям.

3. Арматура (рис. 6).
4. Внешний декоративный слой (только для стенных панелей с защитно-декоративным покрытием), как показано на рисунках 7 а, б.



Рисунок 6 – Арматура для производства экспериментальных образцов.

Такие панели были сделаны для проведения экспериментов и в целях применения в много квартирных домах. Для малоэтажного строительства предполагается использовать легкие бетоны по ГОСТ 31310-2015 и снизить толщину внешнего железобетонного слоя до 50 мм, внутреннего – до 80 мм в целях общего снижения массы конструкции и меньшего давления на фундамент. За счет крайне низкой теплопроводности полистиролбетона такие панели будут соответствовать кирпичной стене толщиной до 600–700 мм.

Подобный конструктив позволяет перераспределить нагрузку даже в многоэтажном строительстве, а в малоэтажном – полистиролбетон марок D-500 – D-600 является несущим слоем ограждающих конструкций. При данном конструктиве испарения бисерного полистирола даже при открытом горении равны нулю, а прочность полностью обеспечена несущими слоями. Характеристики экспериментальных образцов приведены в табл. 2.

3 ЭТАП

Далее полученная трехслойная панель прошла добровольную сертификацию – СТО 32105203-002-2021 «Экологически безопасная продукция. Технические условия» с целью соответствия всем требованиям экологической безопасности, для чего были проведены испытания, результаты которых сведены в таблицу 3.



Рисунок 7 – Экспериментальные образцы трехслойных панели с теплоизоляционным слоем на основе полистиролбетона: а) трехслойная панель без декоративного покрытия; б) трехслойная фасадная панель с декоративной поверхностью «серый гранит».

Проводились как классические испытания по нормативам, так и передовые методы испытаний. В частности, для проведения испытаний в климатической камере испытывались минимакеты панелей, созданные по теории подобия.

Заключение испытательной лаборатории: по результатам проведенных исследований (анализа) армированные изделия из полистиролбетона: стеновые панели марки D550, выпускаемые Обществом с ограниченной

Таблица 2. Характеристики образцов

Тип железобетонного изделия	Толщина внешнего бетонного слоя стеновой панели, мм	Теплоизоляционный слой полистиролбетона, мм	Толщина внутреннего бетонного слоя панели, мм	Арматура	Внешний декоративный слой, мм
Панели стеновые фасадные без декоративного покрытия	100	100	150	Различных диаметров для обвязки	—
Панели стеновые фасадные с декоративным покрытием	100	100	150	Различных диаметров для обвязки	60

Таблица 3. Соответствие полистиролбетона требованиям добровольной экологической сертификации

п/п	Наименование показателя	Показатели	
		Предельно допустимая концентрация	Испытания
1	Содержание вредных веществ в воздухе рабочей зоны: – бензиловый спирт – бензойная кислота	5 5	0,68 0,93
2	Раздражающее действие в рекомендуемом режиме применения: – на кожные покровы – на конъюнктиву глаза	0–1 балл до 1 балла	0 баллов 0 баллов
3	Сенсибилизирующее действие	0 баллов	0 баллов
4	Содержание в воздухе рабочей зоны, ПДК, мг/м ³ , не более – серы – хлора – фтора – диоксид азота – хлороксида фосфора – аммиак – оксид азота – сернистый ангидрид – сероводород – оксид углерода – фенол – акролеин – пропионовый альдегид – формальдегид	6 1 1 2 0,05 20 5 10 10 20 0,3 0,2 5 0,5	<0,01 <0,01 <0,01 <0,01 <0,01 <0,01 <0,01 <0,01 <0,01 <0,01 <0,01 <0,01 <0,01 <0,01
5	Эксплуатационные характеристики: – изоляция воздушного шума – теплоизоляция	63 дБ 0,14 Вт/(м · °C)	не менее 62 дБ Очень высокая
6	Класс опасности	IV	IV

ответственностью «ДОМА-КРД.РУ», соответствуют СТО 32105203-002-2021 «Экологически безопасная продукция. Технические условия».

4 ЭТАП

На данном этапе предполагается разработка следующего организационно-технологического решения:

1. На базе действующего завода-производителя создать отдельное модульное производство.
2. Быстроразборный модуль доставлять к строительным площадкам, где предполагается возведение теплых и экологически чистых домов, отвечающих требованиям зеленых стандартов и устойчивой архитектуры.
3. Организуется технологическая схема, которая предполагает доставку сырья, производство инновационных трехслойных панелей и монтаж на месте.

4. На базе данного подхода планируется строительство «умных» поселков при поддержке государства на территориях, пострадавших от различных катаклизмов.

5. Запланировано строительство многоквартирных домов, индивидуального и малоэтажного жилья (блокированной застройки) на основе применения серий стеновых панелей различной толщины и, соответственно, прочности.

Сравним требования зеленого стандарта и соответствие разработанных конструктивных и организационно-технологических решений (табл. 4).

Выводы

На основе всего сказанного можно резюмировать, что разработанные технологические и

Таблица 4. Соответствие «зеленым» требованиям и аспектам устойчивой архитектуры результатов научно-исследовательской и опытно-конструкторской работы

№ п/п	Требования «зеленого» стандарта	Степень соответствия требованиям
1.	Повышение класса энергосбережения и снижение количества выбросов парниковых газов	Применение данных панелей позволит эффективнее сохранять тепло и повысить класс энергосбережения здания
2.	Использование экологически безопасных материалов с низкой эмиссией вредных веществ в воздух	Исследования токсичности и газовая хроматография подтвердили, что пенополистирол в составе готового полистиролбетона практически не выделяет никаких опасных веществ Панели сертифицированы по системе добровольной экологической сертификации, далее предполагается получение «зеленых» сертификатов зданий, которые будут построены по инновационной технологии
3.	Снижение загрязнения окружающей среды, которое образуется в результате транспортирования строительных материалов на большие расстояния	Предполагается изготовление панелей из материалов на основе переработки мусора в непосредственной близости от строительной площадки, а также цемента и песка, добываемых в окружающей местности
4.	Минимизация превышение значений шумового воздействия на жителей здания	Прослойка из полистиролбетона значительно снижает шумовую нагрузку
5.	Стимулирование использования материалов и инженерного оборудования с подтвержденным низким углеродным следом	Оксид углерода удаляется еще на этапе производства полистиролбетона за счет вакуумирования
6.	Обеспечение автоматизированного управление зданием га основе системы «Умный дом», чтобы эффективно управлять коммунальными ресурсами, производить своевременное обслуживание инженерного оборудования для повышения его срока службы, цифровизация строительства, применение BIM-технологий	Организационно-технологические решения предполагают: Проектирование на основе BIM-технологий; Формирование информационной модели здания; Цифровой входной, операционный и приемочный строительный контроль материалов; Цифровизацию и автоматизацию управления зданием на этапе эксплуатации

конструктивные решения позволяют реализовать базовые аспекты устойчивой архитектуры, отвечают ESG-принципам и соответствуют требованиям «зеленых» стандартов.

Применение вакуумирования при нагревании в процессе производства полистиролбетонных конструкций позволяет практически полностью нейтрализовать токсичность пенополистирола в составе полистиролбетона.

Разработанные панели прошли добровольную сертификацию – СТО 32105203-002-2021

«Экологически безопасная продукция. Технические условия».

Дальнейшие исследования будут посвящены уточнению и оптимизации толщины слоев панелей, исследованиям реологических характеристик.

Планируется выполнение экспериментального строительства с применением трехслойных панелей из трехслойных железобетонных панелей с теплоизоляционным слоем из полистиролбетона.

Список источников

- Баронин С. А., Гущина Е. С. Развитие стратегий жилищного строительства на основе концепции устойчивости и эколого-ориентированного девелопмента // Жилищные стратегии. 2023. Т. 10, № 3. С. 237-256. DOI 10.18334/zhs.10.3.118996. ISSN 2410-1621 (print), 2412-9089 (online).
- Манухина Л. А., Горский С. В. Организационные и конструктивно-технологические решения при строительстве быстровозводимого типового малоэтажного жилья с применением полистиролбетона на базе концепции "умных" поселков // Недвижимость: экономика, управление. 2024. № 4 (Приложение). С. 185-189.
- Друева А. А. Комплексное развитие территории: правовые условия обеспечения // Вестник Университета имени О.Е. Кутафина (МГЮА). 2022. № 12 (100). С. 82-90. DOI 10.17803/2311-5998.-2022.100.12.082-090.
- Какие материалы для строительства дома вы выбираете? [Электронный ресурс] // IRK.ru: [сайт]. 2003-2025. URL: https://www.irk.ru/news/house_quiz (дата обращения: 12.03.2025).
- Обзор перспектив зеленого строительства в России [Электронный ресурс] // Kept.ru: [сайт]. 2024. URL: https://kept.ru/news/obzor-perspektiv-zelenogo-stroitelstva-v-rossii/?utm_source=google.com&utm_medium=organic&utm_campaign=google.com&utm_referrer=google.com (дата обращения: 03.04.2025).
- Развитие применения полистиролбетона на Ближнем Востоке [Электронный ресурс] // Строительные Технологии Сибири: [сайт]. 2008-2025. URL: <https://sts54.ru/articles/razvitiye-primeneniya-polistirolobetona-na-blizhnem-vostoke> (дата обращения: 03.04.2025).
- Шеина С. Г., Шумаева Л. А., Живоглядов Г. А. Примеры зарубежных и отечественных зеленых сертификаций жилых зданий // Экспертиза и
- Baronin, S.A. and Gushchina, E.S. (2023), "Developing Housing Construction Strategies Based on the Concept of Sustainability and Eco-Oriented Development", *Russian Journal of Housing Research*, vol. 10, no. 3. pp. 237-256. DOI 10.18334/zhs.10.3.118996. ISSN 2410-1621 (print), 2412-9089 (online).
- Manukhina, L.A. and Gorsky, S.V. (2024), "Organizational and Constructive-Technological Solutions During the Construction of a Prefabricated Typical Low-Rise Housing with the Use of Polystyrene Concrete Based on the Concept of "Smart" Settlements", *Real Estate: Economics, Management*, no. 4 (Appendix), pp. 185-189.
- Drueva, A.A. (2022), "Integrated Development of the Territory: Legal Conditions for Ensuring", *Courier of Kutafin Moscow State Law University (MSAL)*, no. 12 (100), pp. 82-90. DOI 10.17803/2311-5998.2022.100.12.082-090.
- IRK.ru (2003-2025), "What materials do you choose for building a house?", available at: https://www.irk.ru/news/house_quiz (Accessed 12 March 2025).
- Kept.ru (2024), "An overview of the prospects for green construction in Russia", available at: https://kept.ru/news/obzor-perspektiv-zelenogo-stroitelstva-v-rossii/?utm_source=google.com&utm_medium=organic&utm_campaign=google.com&utm_referrer=google.com (Accessed 03 April 2025).
- Construction Technologies of Siberia (2008-2025), "Development of polystyrene concrete application in the Middle East", available at: <https://sts54.ru/articles/razvitiye-primeneniya-polistirolobetona-na-blizhnem-vostoke> (Accessed 03 April 2025).
- Sheina, S.G., Shumaeva, L.A. and Zhivoglyadov, G.A. (2024), "Examples of Foreign and Domestic Green Certifications of Residential Buildings", *Ekspertiza i upravlenie nedvizhimostyu: kompleksnoe razvitiye territorij, energosberezenie, informacionnoe mode-*

- управление недвижимостью: комплексное развитие территорий, энергосбережение, информационное моделирование: материалы XIV Междунар. научно-практической конференции (Ростов-на-Дону, 14 марта 2024 г.). Ростов-на-Дону: Донской государственный технический университет, 2024. С. 83-87.
8. Andrew R. M. Global CO₂ Emissions from Cement Production // Earth System Science Data. 2018. Vol. 10, N 1. P. 195-217. DOI 10.5194/essd-10-195-2018.
 9. Chorom H., Mansouri N., Behzadi M. H. Prioritization of the Green Buildings Criteria // International Journal of Occupational and Environmental Hygiene. 2020. Vol. 12, N 3. P. 203-216.
 10. The Prioritization of Sustainability Features of Buildings from the Viewpoint of Experts / T. Delavar [et al.]. // Buildings. 2023. Vol. 13, N 12. P. 1-19. DOI 10.3390/buildings13123021.
 11. Fedchenko E. A., Gusarova L.V., Uskenbayeva A. R. Green Building in the ESG Agenda for Sustainable Development of Russia: Conditions and Trends // Construction Materials and Products. 2024. Vol. 7 (3). P. 1-13. DOI 10.58224/2618-7183-2024-7-3-9.
 12. Green Building Standards and the United Nations' Sustainable Development Goals // S. Goubran [et al.]. // Journal of Environmental Management. 2023. Vol. 326 (Part A). DOI 10.1016/j.jenvman.2022.116552.
 13. Mohammed H. J., Zain M. F. M. Experimental Application of EPS Concrete in the New Prototype Design of the Concrete Barrier // Construction and Building Materials. 2016. N 124. P. 312-342. DOI 10.1016/j.conbuildmat.2016.07.105.
 14. Orphanage Built Using Recycled Polystyrene [Электронный ресурс] // Browse B2B Central: [сайт]. 2016. URL: <https://www.b2bcentral.co.za/orphanage-built-using-recycled-polystyrene> (дата обращения: 03.04.2025).
 15. Prasittisopin L., Termkhajornkit P., Kim Y. H. Review of Concrete with Expanded Polystyrene (EPS): Performance and Environmental Aspects // Journal of Cleaner Production. 2022. Vol. 366. P. 132919. DOI 10.1016/j.jclepro.2022.132919.
 16. Ramli Sulong N. H., Mustapa S. A. S., Abdul Rashid M. K. Application of Expanded Polystyrene (EPS) in Buildings and Constructions: A review // Journal of Applied Polymer Science. 2019. Vol. 136, N 20. P. 1-11. DOI 10.1002/app.47529.
 17. Experimental Investigation on Lightweight Concrete by Adding Polystyrene Beads / S. Rathika [et al.]. // Materials Today: Proceedings. 2023. DOI 10.1016/j.matpr.2023.05.444. ISSN 2214-7853.
 18. Effects of Expanded Polystyrene (EPS) Particles on Fire Resistance, Thermal Conductivity and Compressive Strength of Foamed Concrete / A. A. Sayadi [et al.]. // Construction and Building Materials. 2016. N 112. P. 716-724. DOI 10.1016/j.conbuildmat.2016.02.218.
 19. Stuart B. The future of sustainable architecture Polystyrene [Электронный ресурс] // Construction & Civil Engineering magazine: [сайт]. 2024. URL: <https://ccemagazine.com/the-future-of-sustainable-architecture-polystyrene/>
- lirovanie* [Expertise and management of real estate: integrated development of territories, energy conservation, information modeling], Proceedings of the XIV International Scientific and Practical Conference, Rostov-on-Don, Russia, 14 March 2024, pp. 83-87.
8. Andrew R. M. (2018), "Global CO₂ Emissions from Cement Production", *Earth System Science Data*, vol. 10, no. 1, pp. 195-217. DOI 10.5194/essd-10-195-2018.
 9. Chorom, H., Mansouri, N. and Behzadi, M.H. (2020), "Prioritization of the Green Buildings Criteria", *International Journal of Occupational and Environmental Hygiene*, vol. 12, no. 3, pp. 203-216.
 10. Delavar, T., Amiri, A., Borgentorp, E. and Junnila, S. (2023), "The Prioritization of Sustainability Features of Buildings from the Viewpoint of Experts", *Buildings*, vol. 13, no.12, pp. 1-19. DOI 10.3390/buildings13123021.
 11. Fedchenko, E.A., Gusarova, L.V. and Uskenbayeva, A.R. (2024), "Green Building in the ESG Agenda for Sustainable Development of Russia: Conditions and Trends", *Construction Materials and Products*, vol. 7 (3), pp. 1-13. DOI 10.58224/2618-7183-2024-7-3-9.
 12. Goubran, S., Walker, T., Cucuzzella, C. and Schwartz, T. (2023), "Green Building Standards and the United Nations' Sustainable Development Goals", *Journal of Environmental Management*, vol. 326 (part A). DOI 10.1016/j.jenvman.2022.116552.
 13. Mohammed, H.J. and Zain, M.F.M. (2016), "Experimental Application of EPS Concrete in the New Prototype Design of the Concrete Barrier", *Construction and Building Materials*, no. 124, pp. 312-342. DOI 10.1016/j.conbuildmat.2016.07.105.
 14. Browse B2B Central (2016), "Orphanage Built Using Recycled Polystyrene", available at: <https://www.b2bcentral.co.za/orphanage-built-using-recycled-polystyrene> (Accessed 03 April 2025).
 15. Prasittisopin, L., Termkhajornkit, P. and Kim, Y.H. (2022), "Review of Concrete with Expanded Polystyrene (EPS): Performance and Environmental Aspects ", *Journal of Cleaner Production*, no. 366, pp. 132919. DOI 10.1016/j.jclepro.2022.132919.
 16. Ramli Sulong, N.H., Mustapa, S.A.S. and Abdul Rashid, M.K. (2019), "Application of Expanded Polystyrene (EPS) in Buildings and Constructions: A review", *Journal of Applied Polymer Science*, vol. 136, no. 20, pp.1-11. DOI 10.1002/app.47529.
 17. Rathika, S., Brindha Devi, V., Premkumar, R., Ranjit, P. and Kumar, R.D. (2023), "Experimental Investigation on Lightweight Concrete by Adding Polystyrene Beads", *Materials Today: Proceedings*. DOI 10.1016/j.matpr.2023.05.444. ISSN 2214-7853.
 18. Sayadi, A.A., Tapia, J.V., Neitzert, T.R. and Clifton, G.C. (2016), "Effects of Expanded Polystyrene (EPS) Particles on Fire Resistance, Thermal Conductivity and Compressive Strength of Foamed Concrete", *Construction and Building Materials*, no. 112, pp. 716-724. DOI 10.1016/j.conbuildmat.2016.02.218.
 19. Stuart, B. (2024), "The future of sustainable architecture", available at: <https://ccemagazine.com/the-future-of-sustainable-architecture-polystyrene/>

- <https://ccemagazine.com/news/the-future-of-sustainable-architecture> (дата обращения: 03.04.2025).
20. Thosiac Sam-Haendell W. Sustainable Architecture // SSRN Electronic Journal. P. 1-11. DOI 10.2139/ssrn.4910753.
 21. Yas Z., Jaafe K. Factors Influencing Green Building Projects Spread in the UAE // Journal of Building Engineering. 2020. Vol. 27. P. 1-17. DOI 10.1016/j.jobe.2019.100894.
 - ne.com/news/the-future-of-sustainable-architecture (Accessed 03 April 2025).
 20. Thosiac, Sam-Haendell W. (2024), "Sustainable Architecture", *SSRN Electronic Journal*, pp. 1-11. DOI 10.2139/ssrn.4910753.
 21. Yas, Z. and Jaafe, K. (2020), "Factors Influencing Green Building Projects Spread in the UAE", *Journal of Building Engineering*, vol. 27, pp. 1-17. DOI 10.1016/j.jobe.2019.100894.

Информация об авторах

Мещерякова Ольга Константиновна – доктор экономических наук, профессор кафедры технологии, организации строительства, экспертизы и управления недвижимостью Воронежского государственного технического университета, Воронеж, Россия. Научные интересы: исследование особенностей организации и управления строительством жилых зданий, оценка технико-экономической эффективности.

Хорохордин Алексей Митрофанович – начальник Центра коллективного пользования им. проф. Ю. М. Борисова Воронежского государственного технического университета, Воронеж, Россия. Научные интересы: экспериментальные и натурные испытания элементов строительных конструкций, новых конструкций и их узлов с измерением напряженно-деформированного состояния при различных воздействиях.

Горский Сергей Владимирович – аспирант кафедры организации строительства и управления недвижимостью Национального исследовательского Московского государственного строительного университета, Москва, Россия. Научные интересы: исследования полистиролбетона и различных строительных конструкций с его применением, технология строительства энергоэффективных жилых зданий.

Information about the authors

Meshcheryakova Olga K. – D. Sc. (Economics), Professor of the Department of Technology, Organization of Construction, Expertise and Real Estate Management, Voronezh State Technical University, Voronezh, Russia. Scientific interests: the study of the organization and management of the construction of residential buildings, assessment of technical and economic efficiency.

Khorokhordin Alexey M. – Head of the Center for Collective Use named after Prof. Yu. M. Borisov, Voronezh State Technical University, Voronezh, Russia. Scientific interests: experimental and field tests of building structure elements, new structures and their components with measurement of stress-strain state under various influences.

Gorsky Sergey V. – postgraduate student of the Department of Organization of Construction and Real Estate Management, National Research Moscow State University of Civil Engineering, Moscow, Russia. Scientific interests: research of polystyrene concrete and various building structures with its application, technology of construction of energy-efficient residential buildings.

Вклад авторов:

Мещерякова О. К. – научное руководство; консультирование.

Хорохордин А. М. – разработка концепции; выполнение испытаний конструкций; написание части текста статьи.

Горский С. В. – разработка концепции; разработка методологии исследования; написание части текста статьи.

Contribution of the authors:

Meshcheryakova O. K. – scientific guidance; consulting.

Khorokhordin A. M. – development of the concept; testing of structures; writing part of the text of the article.

Gorsky S. V. – development of the concept; development of the research methodology; writing part of the text of the article.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

The authors declare no conflicts of interests.

Статья поступила в редакцию 15.04.2025; одобрена после рецензирования 14.05.2025; принята к публикации 23.05.2025.

The article was submitted 15.04.2025; approved after reviewing 14.05.2025; accepted for publication 23.05.2025.