

ИННОВАЦИОННЫЕ НАРУЖНЫЕ СТЕНЫ И ФАСАДЫ С ИЗМЕНЯЕМЫМИ И УПРАВЛЯЕМЫМИ СВОЙСТВАМИ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНЫХ ЗДАНИЙ

Светлана Валерьевна Плотникова

Брянский государственный инженерно-технологический университет, г. Брянск, Россия,
wonderlandru@gmail.com

Аннотация. В статье приведены разработанные автором и запатентованные инновационные решения энергосберегающих ограждающих конструкций и фасадов зданий с изменяемыми и управляемыми свойствами. Представлены наиболее перспективные, на взгляд автора, направления по снижению воплощенной энергии и уменьшению выбросов CO₂ на стадии проектирования наружных стен зданий с учетом их жизненного цикла. Приведены примеры создания ограждающих конструкций и фасадов для энергоэффективных интеллектуальных зданий с высокой экологической безопасностью: самонесущей энергосберегающей наружной стены с анизотропными свойствами, динамического энергосберегающего фасада с изменяемыми свойствами, энергосберегающей стены с регулируемыми теплозащитными свойствами, стыкового соединения железобетонных панелей для сборно-разборных крупнопанельных зданий. Проведена оценка жизненного цикла инновационных конструктивных решений наружных стен в сравнении с традиционными стенами с использованием разработанной методики и программы для расчета воплощенной энергии и выбросов парниковых газов.

Ключевые слова: инновационные ограждающие конструкции, динамические фасады, энергоэффективность, воплощенная энергия, выбросы парниковых газов, экологическая безопасность

Для цитирования: Плотникова С. В. Инновационные наружные стены и фасады с изменяемыми и управляемыми свойствами для повышения экологической безопасности энергоэффективных зданий // Вестник Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. 2025. Выпуск 2025-3(173). Здания и сооружения с применением новых материалов и технологий. С. 95–108. doi: 10.71536/vd.2025.3c173.10. edn: [psypyl](#).

Original article

INNOVATIVE EXTERIOR WALLS AND FACADES WITH CHANGEABLE AND MANAGED PROPERTIES TO ENHANCE THE ENVIRONMENTAL SAFETY OF ENERGY-EFFICIENT BUILDINGS

Svetlana V. Plotnikova

Bryansk State University of Engineering and Technology, Bryansk, Russia,
wonderlandru@gmail.com

Abstract. The article presents innovative solutions developed by the author and patented for energy-saving enclosing structures and facades of buildings with variable and controllable properties. In the author's opinion, the most promising directions for reducing embodied energy and reducing CO₂ emissions at the design stage of exterior walls of buildings, taking into account their life cycle, are presented. Examples of the creation of enclosing structures and facades for energy-efficient intelligent buildings with high environmental safety are given: self-supporting energy-saving exterior wall with anisotropic properties, dynamic energy-saving facade with variable properties, energy-saving wall with adjustable thermal protection properties, butt joint of reinforced concrete

© Плотникова С. В., 2025



panels for collapsible large-panel buildings. The life cycle of innovative structural solutions for exterior walls has been assessed in comparison with traditional walls using the developed methodology and program for calculating embodied energy and greenhouse gas emissions.

Keywords: innovative enclosing structures, dynamic facades, energy efficiency, embodied energy, greenhouse gas emissions, environmental safety

For citation: Plotnikova S. V. Innovative exterior walls and facades with changeable and managed properties to enhance the environmental safety of energy-efficient buildings. *Proceeding of the Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Buildings and structures using new materials and technologies.* 2025;3(173):95–108. (In Russ.). doi: 10.71536/vd.2025.3c173.10. edn: psypyl.

ФОРМУЛИРОВКА ПРОБЛЕМЫ

Строительная отрасль и жилищно-коммунальный комплекс являются одними из крупнейших мировых потребителей материальных и энергетических ресурсов, производителей отходов и вредных выбросов. Здания и строительные конструкции оказывают значительное влияние на окружающую среду как на региональном, так и на глобальном уровне. Этот сектор несет особую ответственность за выбросы парниковых газов и оказывает значительное влияние на использование энергии. Поскольку на строительство и эксплуатацию зданий приходится около 40 % глобального использования ресурсов, 40 % мирового годового потребления энергии и 30 % мировых выбросов парниковых газов, разработка и применение инновационных конструктивных систем зданий и систем жизнеобеспечения, способствующих сокращению затрат энергии и выбросов парниковых газов на всех стадиях их жизненного цикла является на сегодня одной из самых актуальных задач [1; 2].

Концепция устойчивого развития для строительной отрасли должна включать в себя аспекты, связанные с выбором строительных материалов и изделий с учетом используемого сырья и технологий их получения и производства, оптимизацией проектных решений несущих и ограждающих конструкций с учетом обеспечения требуемой энергоэффективности и экологической безопасности зданий, реализацией методов и технологий возведения строительных объектов, их эксплуатации и сноса с возможностью переработки и повторного использования отдельных отходов. В первую очередь эта концепция фокусируется на сокращении энергопотребления, выбросов CO_2 и постепенном уменьшении использования природных ресурсов строительной отраслью.

Наружные стены, являющиеся одной из основных частей здания, напрямую влияют на теплозащитные и экологические характеристики оболочки здания благодаря их значительному вкладу в первоначальную воплощенную энергию ограждающей конструкции и определяющему влиянию на потребление энергии и выбросы парниковых газов в течение жизненного цикла. Они могут составлять до 15 % от общего воздействия здания на окружающую среду в течение 50–100-летнего жизненного цикла.

При возведении наружных стен в России используются различные материалы и изделия, обладающие, как правило, высокой энергоемкостью при получении и производстве: цементный раствор и монолитный бетон, железобетонные конструкции, керамические изделия, силикатный и керамический кирпич, газосиликатные блоки, металлические конструкции и арматура, минеральная вата, пенопласти и другие высокоэффективные утеплители. В настоящее время при возведении энергоэффективных зданий, как правило, используются конструктивные решения наружных стен в виде многослойных ограждающих конструкций с использованием эффективных утеплителей различного типа с плотностью 30–150 кг/м³ [3]. Такие решения, рассчитанные на постоянные теплофизические характеристики стен, являются нерациональными с учетом значительного изменения режимов и условий эксплуатации зданий в зимний и летний периоды, значительного ухудшения теплофизических свойств эффективных утеплителей в течение 10–30 лет из-за их относительно не высокой долговечности по сравнению с другими материалами капитальных стен зданий.

В зарубежных странах и России принято множество нормативных документов, касающихся конструктивных и тепловых характеристик ограждающих конструкций, в то время как влияние наружных стен различного конструктивного исполнения, особенно инновационных, на совокупный выброс CO_2 в течение всех этапов их жизненного цикла, требует дальнейшего изучения.

АНАЛИЗ ПОСЛЕДНИХ ИССЛЕДОВАНИЙ И ПУБЛИКАЦИЙ

Повышение энергоэффективности и экологической безопасности зданий является приоритетной задачей строительной отрасли и жилищно-коммунального хозяйства [4; 5; 6; 7; 8]. В последние десятилетия

особое внимание уделяется исследованию и созданию так называемой активной и динамической изоляции с переменным тепловым сопротивлением [8; 10; 11]. Динамические теплоизоляционные системы позволяют изменять и регулировать теплофизические свойства ограждающих конструкций, в том числе в автоматизированном режиме, в зависимости от изменения погодных и эксплуатационных условий, при этом могут активно использовать альтернативные источники энергии и участвовать в работе систем отопления и вентиляции, повышая эффективности их работы для достижения оптимальных параметров микроклимата с минимальными затратами.

Авторами патента № 2607561 «Теплоизоляционная конструкция наружной стены», представлена разработка, позволяющая обеспечить нормируемый температурный перепад между внутренней поверхностью наружной стены и температурой воздуха в помещении, при котором обеспечивается благоприятный микроклимат в помещении и отсутствует возможность промерзания стены и утеплителя [12].

В ФГБОУ ВО «Поволжский государственный технологический университет» разработали солнечный фасад, позволяющий повысить теплозащитные свойства ограждающей конструкции и управлять ее свойствами [13].

В ФГБОУ ВО «Петербургский государственный университет путей сообщения» разработали ряд многослойных стен с регулируемыми теплозащитными свойствами [14; 15].

Французскими учеными Дюфорестелем Тьери и Миллевильем Пьер-Анри предложена конструкция теплоизоляционного устройства, представляющего собой панель, состоящую из двух стенок, разделенных внешней основной распоркой и образующих газонепроницаемую камеру, в свою очередь разделенную двумя гибкими пленками, способными смыкаться и размыкаться под действием давления газа и электростатических сил [16].

В МГСУ разработаны строительные блоки, обладающие не только свойствами элемента несущей конструкции здания выдерживать нагрузки и оказывать сопротивление передаче тепла сквозь стену, но и обладающие свойствами устройств, предназначенных для изменения теплопроводной способности за счет периодических перепадов температуры воздуха и атмосферного давления, постоянно происходящих в течение времени [17].

При исследованиях активной и динамической теплоизоляции ограждающих конструкций в основном оценивается эффект повышения энергоэффективности зданий и в меньшей степени уделяется внимание проблеме снижения выбросов парниковых газов с учетом всех этапов жизненного цикла наружных стен с инновационными системами теплоизоляции. Поэтому актуальной в настоящее время является разработка методики и оценка новаторских конструктивных решений наружных стен зданий по вышеуказанным параметрам на стадии проектирования энергоэффективных зданий.

Целью работы является обоснование основных направлений развития конструктивных решений ограждающих конструкций зданий для снижения выбросов CO_2 в течение всех этапов их жизненного цикла и разработка примеров наружных стен в рамках отдельных направлений с возможностью их реализации в ближайшем будущем.

Целью исследований является оценка выбросов углекислого газа традиционными и разработанными автором инновационными наружными стенами в течение всех этапов их жизненного цикла.

Основные задачи исследования:

- разработка инновационных решений наружных стен с изменяемыми и управляемыми свойствами в рамках отдельных сформулированных направлений развития ограждающих конструкций для снижения выбросов углекислого газа;
- оценка выбросов углекислого газа традиционными наружными стенами в течение всех этапов их жизненного цикла;
- оценка выбросов углекислого газа разработанными автором инновационными наружными стенами в течение всех этапов их жизненного цикла;
- анализ результатов исследований.

ОСНОВНОЙ МАТЕРИАЛ

Обоснование основных направлений развития конструктивных решений ограждающих конструкций зданий для снижения выбросов CO_2

При обосновании развития используемых материалов и конструктивных решений наружных стен с целью снижения выбросов CO_2 в течение их жизненного цикла необходимо исходить из того, что внешние стены напрямую участвуют в создании и поддержании комфортных и экологически безопасных условий во внутренних помещениях зданий и играют важную роль при воздействии здания на окружающую среду.

Несмотря на то, что для устройства стены могут быть использованы экологически чистые материалы, при определенных конструктивных решениях неправильное их расположение может вызвать негативные явления, такие как увлажнение, образование плесени, появление дефектов, локальные деструктивные процессы, влияющие на долговечность конструкции в целом и снижение экологических показателей микроклимата помещений и здания в целом.

Для повышения экологической безопасности энергоэффективных зданий путем совершенствования конструктивных решений теплозащитной оболочки во взаимосвязи с работой инженерных систем жизнеобеспечения можно выделить следующие направления развития ограждающих конструкций, повышающих экологическую безопасность энергоэффективных зданий с возможностью их реализации в ближайшем будущем:

1. Разработка ограждающих конструкций с анизотропными свойствами эффективного утеплителя, позволяющими уйти от резкого изменения строительно-технических и теплофизических свойств на границе несущих и теплоизоляционных слоев, где и происходят негативные процессы, снижающие экологическую безопасность (накопление влаги, образование дефектов, разрушение и т. д.).

2. С учетом того, что конструктивные решения ограждающих конструкций энергоэффективных зданий часто имеют расположение слоя эффективного утеплителя внутри стены (многослойные кирпичные стены, наружные панели крупнопанельных зданий и т. д.), долговечность которого несопоставимо меньше, чем других слоев стены, и который нельзя заменить в процессе эксплуатации здания при капитальном ремонте, целесообразно разработать стены с внутренним эффективным утеплителем, например в виде искусственного пуха, легко заменяемым в случае необходимости.

3. С учетом того, что в большинстве ограждающих конструкций их конструктивные решения допускают неоднородности в тепловой защите (мостики холода и т. п.), особенно при перевязке наружных слоев в кирпичных и панельных домах, необходимо разработать конструктивные решения, предусматривающие повышение однородности тепловой защиты за счет применения элементов связи из новых композиционных материалов с низкой теплопроводностью.

4. В связи с быстрым старением при эксплуатационных воздействиях ряда традиционных эффективных утеплителей, в процессе которого выделяются вредные для здоровья человека вещества, например формальдегид при использовании различного вида пенопластов и минеральной ваты, необходимо освобождаться от достаточно дорогих, энергозатратных и экологически небезопасных эффективных утеплителей и разработать инновационные теплозащитные системы, например вакуумированные теплозащитные оболочки с автоматизированным управлением их теплофизическими свойствами.

5. С учетом того, что теплозащитные характеристики современных ограждающих конструкций рассчитываются на наиболее неблагоприятные климатические условия данного региона и являются неизменными круглый год, то одним из инновационных направлений может быть разработка ограждающих конструкций с переменными и регулируемыми теплозащитными характеристиками.

6. Одним из важных направлений снижения стоимости ограждающих конструкций энергоэффективных зданий является получение эффективных утеплителей на основе промышленных отходов и побочных продуктов (зол ТЭС, шлаков, древесных отходов и т. д.), благодаря чему и значительно будет уменьшено и их негативное влияние на окружающую среду. Требуется разработка новых технологий получения экологически безопасных эффективных утеплителей из промышленных отходов и побочных продуктов.

7. Энергетическая и экологическая безопасность зданий, а также условия комфорта значительно повышаются при использовании различных систем комплексного автоматизированного управления свойствами ограждающих конструкций и системами жизнеобеспечения (системы «умного дома» и т. п.).

Методы исследования

Для экологической оценки инновационных ограждающих конструкций и сравнения показателей с традиционными стенами по выбросам углекислого газа использован метод оценки жизненного цикла (ОЖЦ) в соответствии с Национальным стандартом Российской Федерации ГОСТ Р ИСО 14040-2022 «Экологический менеджмент. Оценка жизненного цикла. Принципы и структура».

Для оценки инновационных ограждающих конструкций разработана методика, предусматривающая расчет воплощенной энергии и выбросов углекислого газа 1 м^2 наружного стекового ограждения с учетом всех стадий жизненного цикла и с учетом заданных характеристик и региональных особенностей строительства [18]. Отличительной особенностью методики является учет трансмиссионных потерь тепла через 1 м^2 стены в эксплуатационный период с расчетом выбросов углекислого газа при получении соответствующей теплопотерям энергии. Для реализации методики предложена программа ЭКО (Экология Конструкций Ограждения) с соответствующей базой данных. База программы содержит данные по воплощенной энергии в

МДж/кг, выбросам углерода (воплощенному углероду) в кг CO_2 экв/ кг для различных материалов, используемых для наружных стеновых ограждений для исследуемого региона.

Модули оценки ограждающих стеновых конструкций с учетом их жизненного цикла принятые согласно EN15804:2012:

1. Стадия производства строительных материалов, изделий и конструкций (модули А1–А3):

Модуль А1: Добыча и подготовка сырья для получения строительных материалов, включая переработку вторичного сырья.

Модуль А2: Транспортировка сырья и вторичного материала производителю.

Модуль А3: Производство строительных материалов, изделий и конструкций.

2. Стадия строительства (модули А4–А5):

Модуль А4: Транспортировка строительных материалов, изделий и конструкций до строительной площадки.

Модуль А5: Возведение (монтаж) ограждающих стеновых конструкций.

3. Стадия эксплуатации (модули В1–В7):

Модуль В1: Использование (эксплуатация) стеновых ограждающих конструкций.

Модуль В2: Обслуживание (текущий ремонт) стеновых ограждающих конструкций.

Модуль В3: Ремонт стеновых ограждающих конструкций.

Модуль В4: Замена (замена компонентов, частей или систем).

Модуль В5: Капитальный ремонт или реконструкция.

Модуль В6: Эксплуатационное потребление энергии.

Модуль В7: Эксплуатационное потребление воды.

4. Стадия окончания срока службы (модули С1–С4):

Модуль С1: Демонтаж (разборка) ограждающих стеновых конструкций.

Модуль С2: Транспортировка к местам переработки отходов или захоронения отходов.

Модуль С3: переработка отходов и захоронение отходов.

Модуль С4: утилизация или захоронение отходов.

Общий объем выбросов углерода в течение жизненного цикла наружной стены, приходящийся на 1 м² ее поверхности, принят как сумма выбросов углерода, образующихся на всех вышеуказанных стадиях и рассчитывается по формуле:

$$C = C_{A1-A3} + C_{A4-A5} + C_{B1-B7} + C_{C1-C4}, \quad (1)$$

где C – общий объем выбросов углерода за жизненный цикл стеновых конструкций, приходящийся на 1 м² ее поверхности, кг CO_2 экв/м²;

C_{A1-A3} – выбросы углерода, приходящиеся на 1 м² стеновых конструкций на этапе производства строительных материалов и изделий для стен, кг CO_2 экв/м²;

C_{A4-A5} – выбросы углерода, приходящиеся на 1 м² стеновых конструкций на этапе строительства, кг CO_2 экв/м²;

C_{B1-B7} – выбросы углерода, приходящиеся на 1 м² стеновых конструкций на этапе их эксплуатации, кг CO_2 экв/м²;

C_{C1-C4} – выбросы углерода, приходящиеся на 1 м² стеновых конструкций на этапе окончания срока их службы, кг CO_2 экв/м².

Программа учитывает также выбросы углекислого газа при выполнении транспортных работ. По окончании расчета результаты представляются в виде таблицы и диаграмм.

ПРИМЕРЫ РАЗРАБОТАННЫХ ИННОВАЦИОННЫХ ОГРАЖДАЮЩИХ КОНСТРУКЦИЙ

Пример 1. Конструкция самонесущей энергосберегающей наружной стены с вариотропными свойствами [19]. Разработанная конструкция энергосберегающей самонесущей стены для зданий с железобетонным каркасом имеет высокие теплозащитные свойства для любой части здания при обеспечении долговечности конструкций и минимальных материальных и трудовых затрат на ее устройство. Конструкция самонесущей энергосберегающей стены представлена на рисунке 1.

Стена содержит наружный облицовочный слой из кирпичной кладки и внутренний слой из блоков, изготовленных в заводских условиях из ячеистого бетона с вариотропными свойствами по паропроницаемости. При изменении паропроницаемости по сечению ячеистых блоков отсутствует зона накопления влаги на границе блоков и облицовочного кирпичного слоя, что способствует повышению долговечности материалов и сохранению ими своих эксплуатационных свойств. В узлах соединения железобетонных

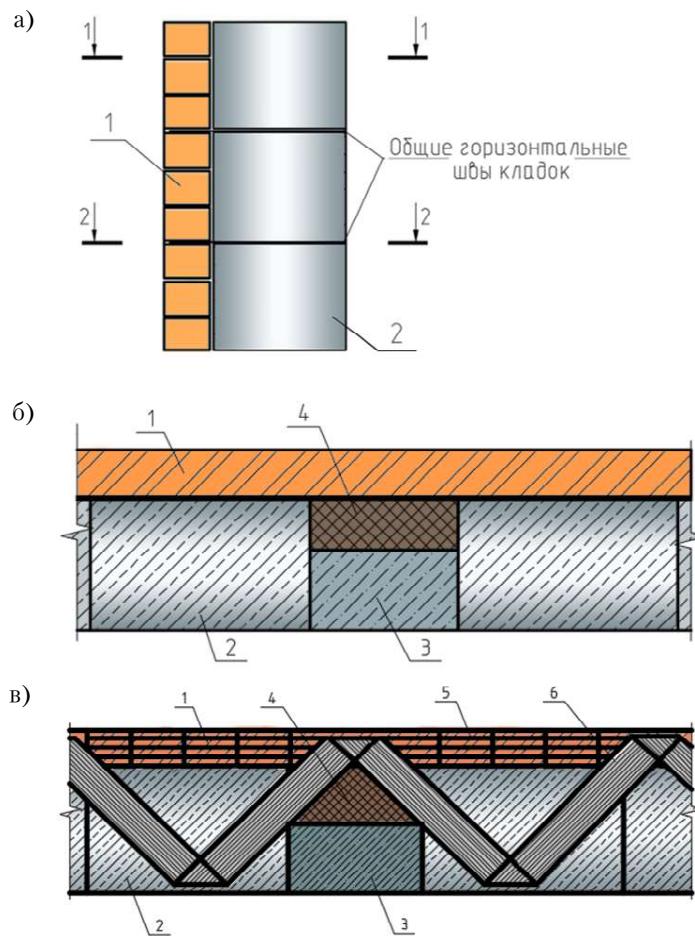


Рисунок 1 – Конструкция самонесущей энергосберегающей стены с вариотропными свойствами: а) вертикальное сечение стены; б) разрез 1-1; в) разрез 2-2; 1 – наружный облицовочный слой из кирпичной кладки; 2 – внутренний слой из ячеистобетонных блоков с вариотропной паропроницаемостью; 3 – железобетонный элемент каркаса здания; 4 – эффективный утеплитель, например плиты из минеральной ваты; 5 – сетка из базальто-пластиковой арматуры; 6 – тканый холст на основе односторонних высокопрочных углеродных волокон.

элементов каркаса здания со стеной наружный облицовочный слой, армированный проволочной арматурой и отделенный от железобетонных элементов утеплителем, крепится к внутреннему слою в каждом общем для наружного и внутреннего слоев горизонтальном шве полосой тканого холста на основе односторонних высокопрочных углеродных волокон.

Пример 2. Динамический энергосберегающий фасад с изменяемыми свойствами (рис. 2) [20].

Задачей предлагаемого решения является автоматизированное регулирование теплофизических свойств стены здания в зависимости от изменения погодных и эксплуатационных условий, повышение эффективности использования солнечной энергии для воздушного отопления помещений здания, обеспечение подогрева свежего воздуха при его подаче через приточный клапан.

В результате использования предлагаемого изобретения снижаются тепловые потери здания, затраты на отопление, вентиляцию и охлаждение помещений благодаря использованию поворотных призм с гранями, наружные и внутренние поверхности которых обладают различными свойствами излучательной способности, коэффициентами поглощения и отражения, а также содержат пленочные солнечные батареи. Динамический энергосберегающий фасад с изменяемыми свойствами работает в различных режимах (рис. 3).

Пример 3. Энергосберегающая стена с регулируемыми теплозащитными свойствами (рис. 4) [21]. Изобретение относится к области строительства энергоэффективных и экологически безопасных зданий, и, в частности, касается автоматического регулирования теплозащитных свойств защитной оболочки здания и снижения затрат на обеспечение требуемого воздухообмена в помещениях в холодный период времени. Вышеуказанный результат достигается тем, что предлагаемая энергосберегающая стена с регулируемыми

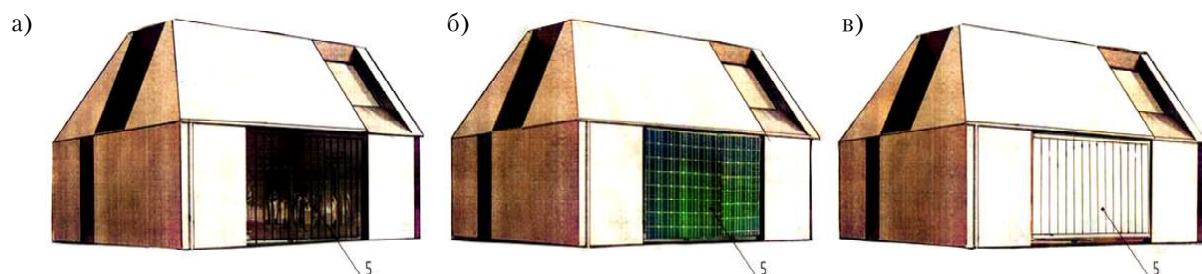
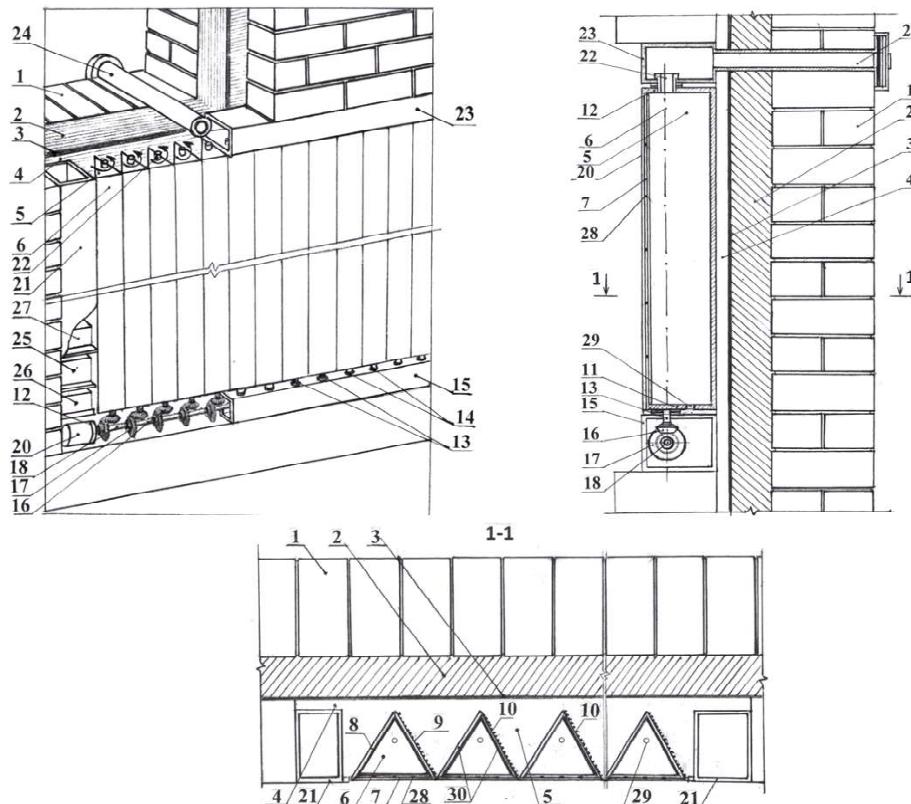


Рисунок 3 – Общий вид динамического энергосберегающего фасада здания с изменяемыми свойствами, работающего в режиме солнечного коллектора (а), в режиме солнечной батареи (б) и в режиме охлаждения здания (в).

теплозащитными свойствами содержит стену из традиционных стеновых материалов (монолитный бетон, кирпич, блоки из ячеистого бетона и т. п.) с внутренней воздушной прослойкой и слоем эффективного утеплителя, например, из минеральной ваты, прилегающей к защитному наружному слою стены.

Воздушная прослойка содержит натуральный или искусственный пух из расчета 1,2–3,6 килограмм на 1m^3 объема воздушной прослойки и имеет в нижней части перфорированный трубопровод, подсоединенный к размещенному на внутренней грани стены устройству для подогрева и подачи воздуха из помещений в воздушную прослойку (воздушно-тепловые завесы, тепловентиляторы и т. п.) со скоростью, соответствующей скорости витания пуха (то есть скорости потока воздуха, при которой частицы пуха, находящегося в потоке, остаются во взвешенном состоянии, т. е. витают).

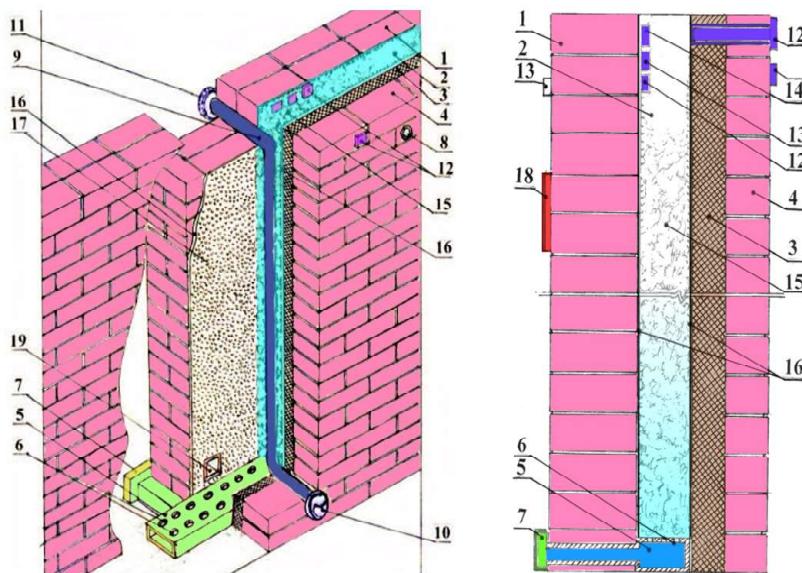


Рисунок 4 – Общая схема конструктивного решения энергосберегающей стены с регулируемыми теплозащитными свойствами и ее вертикальный разрез: 1 – стена из традиционных стеновых материалов (монолитный бетон, кирпич, блоки из ячеистого бетона и т. п.); 2 – внутренняя воздушная прослойка; 3 – слой эффективного утеплителя, например из минеральной ваты; 4 – защитный наружный слой стены; 5 – перфорированный трубопровод; 6 – отверстия; 7 – устройство для подогрева и подачи теплого воздуха (воздушно-тепловые завесы, тепловентиляторы и т. п.); 8 – клапан для выпуска отработанного воздуха; 9 – воздуховод различной формы для подачи свежего воздуха; 10 – заборный клапан; 11 – приточный клапан; 12 – датчик температуры; 13 – датчик влажности; 14 – датчик плотности; 15 – натуральный или искусственный пух из расчета 1,2-3,6 килограмма на 1 м³ объема воздушной прослойки; 16 – вертикальные слои с выступающими элементами в виде крючков; 17 – крючки различной формы (наподобие одной из поверхностей застежек-липучек); 18 – блок автоматизированного управления теплозащитными свойствами стены и воздухообменом; 19 – отверстие с клапаном для наполнения воздушной прослойки пухом и замены пуха после заданного срока эксплуатации.

В верхней части наружной части стены имеется клапан для удаления отработанного воздуха, а в нижней части клапан для при притока свежего воздуха, соединенный с трубопроводом, проходящим через воздушную прослойку снизу-вверх и имеющим выход в помещение через внутреннюю часть стены. Трубопровод для подачи свежего воздуха может быть выполнен в виде вертикальной трубы или в виде трубы в форме змеевика для повышения эффективности подогрева свежего воздуха при его движении снизу-вверх. Для управления свойствами стены используется автоматизированная система, включающая датчики температуры, влажности, плотности и блок управления. В результате использования предлагаемого изобретения в холодный период времени снижаются затраты на отопление здания и обеспечиваются требуемый воздухообмен и оптимальные микроклиматические параметры в помещениях. Предлагаемое конструктивное решение позволяет обеспечить температуру внутренней поверхности стены не только в пределах нормируемого перепада (4–4,5 °C), но и соответствующую температуре воздуха в помещениях, что значительно повышает ощущение комфорта людьми.

Пример 4. Стыковое самофиксирующееся соединение железобетонных панелей в сборно-разборных крупнопанельных энергоэффективных зданиях (рис. 5) [22]. Изобретение относится к области строительства и может быть использовано при возведении сборно-разборных быстровозводимых энергоэффективных зданий из крупных панелей, а именно при соединении панелей наружных и внутренних стен и панелей перекрытия. Технической задачей, на решение которой направлено изобретение, является обеспечение самофиксации, повышение скорости и точности установки крупных панелей сборно-разборных зданий, снижение трудоемкости их монтажа, повышение теплозащитных функций стыка, а также снижение трудозатрат при демонтаже крупных панелей сборного здания для повторной сборки здания на новом месте или в случае окончания срока его эксплуатации. При этом не требуется проведение сварочных работ, выполнения болтовых соединений или установки в отверстия закладных деталей скоб, как обычно осуществляется в настоящее время при фиксации крупных панелей. При совпадении диаметров анкеров 8, выполненных в виде усеченных конусов, и сквозных конусообразных отверстий в подковообразных выступах горизонтальных пластин 12 происходит самофиксация крупных панелей в проектном положении.

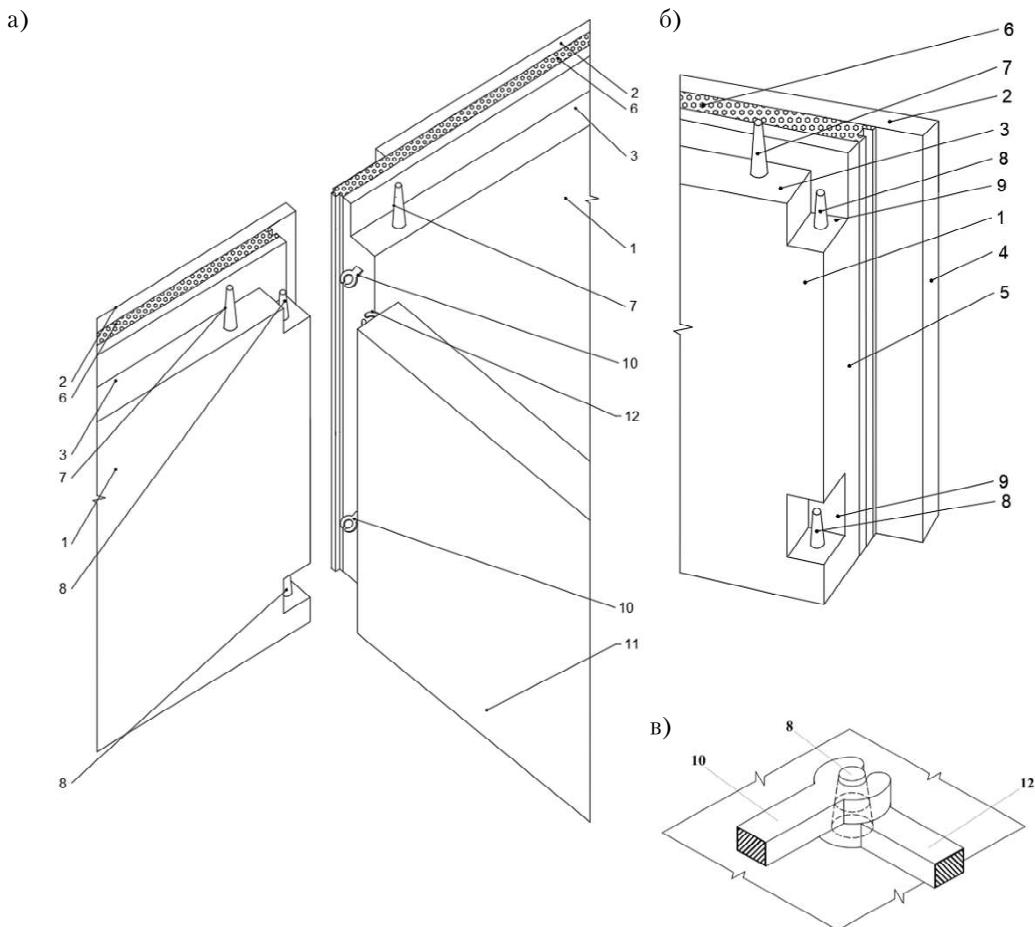


Рисунок 5 – Общий вид стыкуемых самофиксирующихся панелей (а, б) и стыковое соединение закладных деталей наружной и внутренней стеновых панелей после монтажа панелей (в): 1 – наружные трехслойные стеновые панели; 2 – наружный защитный слой; 3 – внутренний несущий слой из бетона; 4 и 5 – вертикальные торцевые грани панелей, смещенные относительно друг друга; 6 – слой из долговечного эффективного утеплителя; 7 и 8 – вертикальные анкеры в виде усеченного конуса и вертикальные анкеры; 9 – ниши; 10 – горизонтальные закладные пластины с подковообразным выступом, имеющим внутреннее сквозное отверстие в виде усеченного конуса; 11 – внутренняя стеновая панель; 12 – горизонтальные закладные пластины 12 с подковообразным выступом, имеющим внутреннее сквозное отверстие в виде усеченного конуса.

Одним из важных преимуществ предлагаемого стыкового соединения является отсутствие процессов по заполнению вертикального стыка, расположенного между наружными панелями 1 и внутренней панелью 11 монолитным бетоном в условиях строительной площадки, что требует дополнительных трудоемких и энергоемких операций по подаче, укладке и уплотнению бетонной смеси в стыках, а в зимних условиях дополнительного прогрева бетона для достижения им заданной прочности.

После самофиксации крупных панелей достаточно заполнить внутреннее пространство верхней и нижней ниш 9, расположенных в одной из торцевых граней наружной панели 1, эффективным утеплителем типа пеноизола, пенополиуретана или пенобетоном низкой плотности, используя специальный пистолет для впрыскивания смесей.

Сдвиг вертикальной торцевой грани наружного защитного слоя 2 панели 1 из бетона относительно вертикальной торцевой грани несущего слоя 3 позволяет повысить теплозащитные свойства вертикально стыка. Однородная теплозащита по всей площади панели позволяет уйти от проблемы мостиков холода в вертикальных и горизонтальных стыках крупных панелей, которые наблюдаются при традиционном исполнении стыков крупных панелей в известных решениях. Важным преимуществом предлагаемого стыкового соединения является снижение трудозатрат и повышение скорости демонтажных работ при разборке здания. Это достигается при подъеме крупных панелей на небольшую высоту краном или гидродомкратами, при котором элементы стыкового соединения выходят из фиксированного состояния при небольших усилиях.

Результаты исследований

В данной статье представлено исследование шести наружных стен с одинаковым сопротивлением теплопередаче, равным базовому значению требуемого сопротивления теплопередачи для города Брянска $R_o^{mp} = 2,932 \text{ м}^2 \cdot \text{°C} / \text{Вт}$. Стены первого варианта представлены ненесущими наружными стенами каркасного здания из монолитного железобетона, стены второго варианта представлены самонесущими кирпичными стенами и стены третьего варианта представлены наружными несущими стеновыми панелями. При этом стены 1, 3 и 5 – традиционные стены, используемые в настоящее время при возведении зданий, а стены 2, 4 и 6 – инновационные, на которые получены патенты [19; 20; 22].

Конструктивное решение стен следующее:

- стена 1: силикатный кирпич, 120 мм; минеральная вата плотностью 140 кг/м³, 100 мм; автоклавный газосиликатный блок плотностью 400 кг/м³, 200 мм; штукатурный слой из цементного раствора, 20 мм; армирование кладки – металлическая кладочная сетка;
- стена 2: силикатный кирпич, 120 мм; автоклавный газосиликатный блок переменной плотности 200–400 кг/м³, 360 мм; штукатурный слой из цементного раствора, 20 мм; армирование – тканый холст на основе односторонних высокопрочных углеродных волокон;
- стена 3: силикатный кирпич, 120 мм; минеральная вата плотностью 140 кг/м³, 100 мм; силикатный кирпич, 250 мм; штукатурный слой из цементного раствора, 20 мм; армирование кладки – металлическая кладочная сетка;
- стена 4: динамический фасад из треугольных призм, 200 мм; минеральная вата плотностью 140 кг/м³, 100 мм; силикатный кирпич, 250 мм; штукатурный слой из цементного раствора, 20 мм; армирование кладки – тканый холст на основе односторонних высокопрочных углеродных волокон;
- стена 5: керамзитобетон 80 мм; пенополистирол – 150 мм; керамзитобетон – 120 мм; Армирование – металлический пространственный каркас; элементы крепления – петли и скобы;
- стена 6: керамзитобетон 80 мм; минеральная вата – 150 мм; керамзитобетон – 120 мм; армирование – гибкие базальтопластиковые связи, элементы крепления по патенту [16].

Выбросы углекислого газа традиционными и инновационными наружными стенами в кг эквСО₂/м² представлены в таблице и на рисунке 6.

Таблица. Выбросы углекислого газа традиционными и инновационными наружными стенами, кгэквСО₂/м²

Тип наружных стен	Этапы жизненного цикла наружных стен					
	Производственный	Транспортировки	Строительства	Эксплуатации	Сноса	Общие выбросы
1 Вариант. Стены ненесущие для каркасных зданий						
1	60,16	2,05	0,59	14,85	0,06	77,71
2	49,06	1,98	0,52	3,15	0,05	54,76
2 вариант. Стены кирпичные несущие						
3	110,2	3,48	1,95	15,2	0,18	131,01
4	102,6	2,24	1,25	4,26	0,07	110,42
3 Вариант. Наружные стеновые панели несущие						
5	125,3	4,2	1,72	18,24	0,24	149,70
6	108,2	4,2	1,14	6,8	0,12	120,46

Все инновационные стены имеют меньшие показатели по выбросам СО₂ относительно традиционных стен благодаря использованию более долговечных материалов, уменьшению потерь тепловой энергии при эксплуатации, снижению трудозатрат при разборке или сносе зданий.

ВЫВОДЫ

1. Для снижения выбросов углекислого газа на стадии проектирования зданий необходимо рассматривать различные конструктивные решения наружных стен и используемые материалы с учетом их жизненного цикла и особенностей региона.

2. Разработанная методика и программа для ее реализации позволили оценить выбросы углерода с учетом всех стадий жизненного цикла традиционных и инновационных наружных стен.

3. Применение инновационных конструктивных решений стен и фасадов, а также строительных материалов позволяют уменьшить выбросы углерода на 15–30 % за весь период жизненного цикла наружных стен. Особенно для этих целей актуальны наружные ограждающие конструкции с автоматизированным

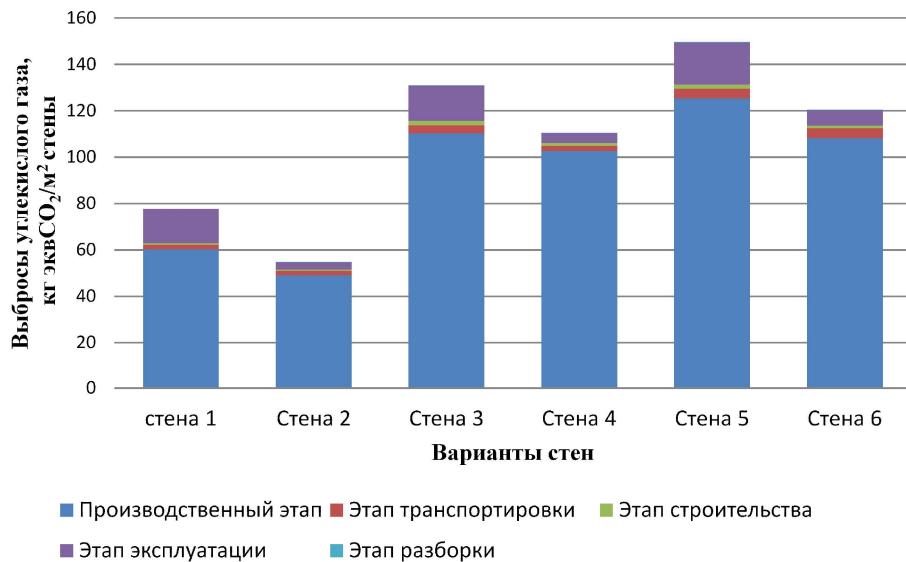


Рисунок 6 – Суммарные выбросы углекислого газа традиционными и инновационными наружными стенами, кгэквCO₂/м² за весь период жизненного цикла.

управлением их теплозащитными свойствами, а также участвующие в возврате части теплопотерь при обеспечении нормативного воздухообмена в помещениях. Особый эффект по снижению выбросов углерода может быть обеспечен благодаря инновационным решениям ограждающих конструкций, предусматривающим отказ от энергозатратных и материалоемких традиционных эффективных утеплителей типа минеральной ваты и обеспечение сопротивления теплопередаче стен на уровне 6–10 м²·°С/Вт за счет новых технических решений.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Analysis of Carbon Emissions and Influencing Factors of Near-Zero Energy Buildings / G. Feng [et al.]. // Climate Change Research. 2022. Vol. 18, issue 2. P. 205-214.
2. Basińska M. The Use of Multi-Criteria Optimization to Choose Solutions for Energy-Efficient Buildings // Bulletin of the Polish Academy of Sciences. Technical Sciences. 2017. Vol. 65, N. 6. P. 815-826. DOI 10.1515/bpasts-2017-0084.
3. Плотников В. В., Плотникова С. В. Строительные материалы, изделия и конструкции для энергоэффективных зданий: учеб. пособие. Брянск: Изд-во Брянского инженерно-технологического университета, 2021. 243 с.
4. Плотникова С. В. Влияние ограждающих конструкций на обеспечение энергоэффективности и экологической безопасности панельных домов // Вестник Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. 2017. Вып. 2017-4(126) Научно-технические достижения студентов строительно-архитектурной отрасли. С. 132-135. URL: [https://donnasa.ru/publish_house/journals/vestnik/2017/2017-4\(126\)/st_29_plotnikova.pdf](https://donnasa.ru/publish_house/journals/vestnik/2017/2017-4(126)/st_29_plotnikova.pdf) (дата обращения: 13.03.2025). ISSN 2519-2817.
5. Миронова В. В., Марциковская С. К., Сергеева Н. Д. К вопросу внедрения инноваций в энергокомплекс Брянского региона // Вестник Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. 2021. Вып. 2021-3(149) Здания и сооружения с применением новых материалов и технологий. С. 40-45. URL: [https://donnasa.ru/publish_house/journals/vestnik/2021/2021-3\(149\)/st_07_mironova_marzikovskaya_sergeeva.pdf](https://donnasa.ru/publish_house/journals/vestnik/2021/2021-3(149)/st_07_mironova_marzikovskaya_sergeeva.pdf) (дата обращения: 13.03.2025). ISSN 2519-2817.
6. Шейх А. А. Эколого-экономическое обоснование эффективности и целесообразности переработки отходов в границах строительной площадки // Вестник Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. 2020. Вып. 2020-5(145) Инженерные системы и техногенная безопасность. С. 42-47. URL: [https://donnasa.ru/publish_house/journals/vestnik/2020/2020-5\(145\)/st_06_scheyh.pdf](https://donnasa.ru/publish_house/journals/vestnik/2020/2020-5(145)/st_06_scheyh.pdf) (дата обращения: 13.03.2025). ISSN 2519-2817.
7. Плотников В. В., Скантцева А. С. Изменение внешнего облика жилых много квартирных домов из-за некачественной теплозащиты // Вестник Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. Вып. 2017-4(126) Научно-технические достижения студентов строительно-архитектурной отрасли. С. 136-139. URL: [https://donnasa.ru/publish_house/journals/vestnik/2017/2017-4\(126\)/st_30_plotnikov_skantseva.pdf](https://donnasa.ru/publish_house/journals/vestnik/2017/2017-4(126)/st_30_plotnikov_skantseva.pdf) (дата обращения: 13.03.2025). ISSN 2519-2817.
8. Удовиченко З. В., Савич Д. В., Михайская О. В. Оценка и определение комфорта микроклимата жилых и общественных зданий // Вестник Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. Вып. 2019-5(139) Инженерные системы и техногенная безопасность. С. 40-46. URL: [https://donnasa.ru/publish_house/journals/vestnik/2019/2019-5\(139\)/st_06_udovichenko_savich_mihayskaya.pdf](https://donnasa.ru/publish_house/journals/vestnik/2019/2019-5(139)/st_06_udovichenko_savich_mihayskaya.pdf) (дата обращения: 13.03.2025). ISSN 2519-2817.

9. Данилевский Л. Н. Теплоизоляция с управляемыми свойствами для зданий с низким уровнем теплопотерь // Сборник трудов ГП "Институт НИПТИС им. Атаева С. С.". 1998. Минск. С. 13-27.
10. Данилевский Л. Н. Теплоизоляционная система с управляемыми свойствами для пассивного дома // Архитектура и строительство. 1998. N 3. С. 30-31.
11. Плотников В. В., Плотникова С. В. Инновационные фасады и ограждающие конструкции для повышения энергоэффективности и экологической безопасности зданий: монография; Брянский инженерно-технологический университет. Брянск: Изд-во Брянского инженерно-технологического университета, 2021. 243 с.
12. Теплоизоляционная конструкция наружной стены: пат. на изобретение 2607561 Рос. Федерации. N 2015131657 / А. Н. Макаров [и др.]; заявл. 29.07.2015; опубл. 10.01.2017, Бюл. N 1. 5 с. EDN ALBXVG.
13. Солнечный фасад с вакуумированным стеклопакетом: пат. на изобретение 2382164 Рос. Федерации. N 2008148711/03 / Д. С. Стребков, И. В. Митина; заявл. 11.12.2008; опубл. 20.02.2010, Бюл. N 15. 5 с.
14. Многослойная стена с регулируемыми теплозащитными свойствами: полезная модель 118989 Рос. Федерации. N 2012111776/03 / А. В. Кузнецов, В. Б. Мартиров; заявл. 27.03.2012; опубл. 08.10.2012, Бюл. N 22. 12 с.
15. Многослойная стена с регулируемыми теплозащитными свойствами: полезная модель 118655 Рос. Федерации. N 2012111772/03 / А. В. Кузнецов, В. Б. Мартиров; заявл. 27.03.2012; опубл. 27.07.2012, Бюл. N 21. 12 с.
16. Теплоизоляционное устройство: пат. на изобретение 2614841 Рос. Федерации. N 2014151758 / Т. Дюфорестель, П.-А. Миллевильем; заявл. 11.06.2013; опубл. 29.03.2017, Бюл. N 22. 10 с.
17. Строительный блок с терморегулируемым пневматическим фасадом: пат. на изобретение 2303684 Рос. Федерации. N 2005139176/03 / Е. А. Король, М. Ю. Слесарев, В. И. Теличенко; заявл. 15.12.2005; опубл. 27.07.2007, Бюл. N 21. 5 с.
18. Плотникова С. В. Оценка выбросов CO₂ традиционными и инновационными ограждающими стеновыми конструкциями в течение их жизненного цикла // Биосферная совместимость: человек, регион, технологии. 2024. N 1(45) (январь – март). С. 83-97. DOI 10.21869/2311-1518-2024-45-1-83-97.
19. Конструкция самонесущей энергосберегающей стены: пат. на полезную модель N 184030 Рос. Федерации. N 2015131657 2018122918 / С. В. Плотникова; заявл. 22.06.2018; опубл. 12.10.2018 Бюл. N 29. 10 с. EDN PHCFVS.
20. Динамический энергосберегающий фасад с изменяемыми свойствами: пат. на изобретение N 2710157 Рос. Федерации. N 2019111584 / С. В. Плотникова; заявл. 16.04.2019; опубл. 24.12.2019 Бюл. N 36. 16 с.
21. Энергосберегающая стена с регулируемыми теплозащитными свойствами: пат. на изобретение 2732555 Рос. Федерации. N 2020101625 / С. В. Плотникова; В. В. Плотников; заявл. 16.01.2020; опубл. 21.09.2020. Бюл. N 27. 18 с. EDN QVQOEY.
22. Стыковое самофиксирующееся соединение железобетонных панелей в сборно-разборных крупнопанельных энергоэффективных зданиях: пат. на изобретение N 2824866 Рос. Федерации. N 2023129962 / С. В. Плотникова; заявл. 19.11.2023; опубл. 15.08.2024. Бюл. N 23. 16 с. EDN GBCQIK.

REFERENCES

1. Feng, G., Cui, H., Chang, S. Huang, K. and Wang, X. (2022), "Analysis of Carbon Emissions and Influencing Factors of Near-Zero Energy Buildings", *Climate Change Research*, vol. 18, issue 2, pp. 205-214.
2. Basińska, M. (2017), "The Use of Multi-Criteria Optimization to Choose Solutions for Energy-Efficient Buildings", *Bulletin of the Polish Academy of Sciences. Technical Sciences*. 2017. Vol. 65, no. 6, pp. 815-826. DOI: 10.1515/bpasts-2017-0084.
3. Plotnikov, V.V. and Plotnikova, S.V. (2021), *Stroitel'nye materialy', izdeliya i konstrukcii dlya e'nergoeffektivnyx zdanij* [Building materials, products and structures for energy-efficient buildings]: a textbook, Publishing House of the Bryansk Engineering and Technological University, Bryansk, Russia.
4. Plotnikova, S.V. (2017), "Influence of Fencing Structures on Ensure of Environmental Safety of Buildings", *Proceeding of the Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture*, issue 2017-4(126) Scientific and technical achievements of students of the construction and architectural industry, pp. 132-135, available at: [https://donnasa.ru/publish_house/journals/vestnik/2017/2017-4\(126\)/st_29_plotnikova.pdf](https://donnasa.ru/publish_house/journals/vestnik/2017/2017-4(126)/st_29_plotnikova.pdf) (Accessed 13 March 2025). ISSN 2519-2817.
5. Mironova, V.V., Marcikovskaya, S.K. and Sergeeva, N.D. (2021), "On the Issue of Innovation Implementation in the Energy Complex of the Bryansk Region", *Proceeding of the Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture*, issue 2021-3(149) Buildings and structures using new materials and technologies, pp. 40-45, available at: [https://donnasa.ru/publish_house/journals/vestnik/2021/2021-3\(149\)/st_07_mironova_marzikovskaya_sergeeva.pdf](https://donnasa.ru/publish_house/journals/vestnik/2021/2021-3(149)/st_07_mironova_marzikovskaya_sergeeva.pdf) (Accessed 13 March 2025). ISSN 2519-2817.
6. Sheikh, A.A. (2020), "Ecological and Economic Justification of the Efficiency and Expediency of Waste Processing Within the Boundaries of the Construction Site", *Proceeding of the Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture*, issue 2020-5(145) Engineering systems and technogenic safety, pp. 42-47, available at: [https://donnasa.ru/publish_house/journals/vestnik/2020/2020-5\(145\)/st_06_scheyh.pdf](https://donnasa.ru/publish_house/journals/vestnik/2020/2020-5(145)/st_06_scheyh.pdf) (Accessed 13 March 2025). ISSN 2519-2817.
7. Plotnikov, V.V. and Skanzeva, A.S. (2017), "Change in the External Appearance of Residential Apartment Buildings Due to Poor-Quality Thermal Protection", *Proceeding of the Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture*, issue 2017-4(126) Scientific and technical achievements of students of the construction and architectural industry, pp. 136-139, available at: [https://donnasa.ru/publish_house/journals/vestnik/2017/2017-4\(126\)/st_30_plotnikov_skanzeva.pdf](https://donnasa.ru/publish_house/journals/vestnik/2017/2017-4(126)/st_30_plotnikov_skanzeva.pdf) (Accessed 13 March 2025). ISSN 2519-2817.

8. Udovichenko, Z.V., Savich, D.V. and Mihailskaya, O.V. (2019), "Assessment and Determination of the Microclimate Comfort of Residential and Public Buildings", *Proceeding of the Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture*, issue 2019-5(139) Engineering systems and technogenic safety, pp. 40-46, available at: [https://donnasa.ru/publish_house/journals/vestnik/2019/2019-5\(139\)/st_06_udovichenko_savich_mihayskaya.pdf](https://donnasa.ru/publish_house/journals/vestnik/2019/2019-5(139)/st_06_udovichenko_savich_mihayskaya.pdf) (Accessed 13 March 2025). ISSN 2519-2817.
9. Danilevsky, L.N. (1998), "Thermal Insulation with Controlled Properties for Low-Heat-Loss Buildings", *Sbornik trudov GP "Institut NIPTIS im. Ataeva S. S."*, Minsk, pp. 13-27.
10. Danilevsky, L.N. (1998), "Thermal Insulation System with Controlled Properties for a Passive House", *Architecture and Construction*, no. 3, pp. 30-31.
11. Plotnikov, V.V. and Plotnikova, S.V. (2021), *Innovacionnye fasady i ogranazhdayushchie konstrukcii dlya povysheniya e'nergoeffektivnosti i e'kologicheskoy bezopasnosti zdaniy* [Innovative facades and enclosing structures for improving energy efficiency and environmental safety of buildings]: monograph, Publishing House of the Bryansk Engineering and Technological University, Bryansk, Russia.
12. Makarov, A.N., Muravyev, P.N., Kupriyanov, V.N., Kotlov, V.G., Makarov, R.A. and Gilyazova, O.S., Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Professional Education "Volga State Technological University" (2017), *Teploizolyacionnaya konstrukciya naruzhnoj steny* [Thermal insulation construction of the outer wall], Federal Service for Intellectual Property, Joshkar-Ola, RU, Pat. 2607561.
13. Strebkov, D.S. and Mitina I.V., Russian Academy of Agricultural Sciences State Scientific Institution All-Russian Scientific Research Institute of Agricultural Electrification (2010), *Solnechnyj fasad s vakuumirovannym steklopaketom* [Solar facade with evacuated double-glazed windows], Federal Service for Intellectual Property, Patents and Trademarks, Moscow, RU, Pat. 2382164.
14. Kuznetsov, A.V. and Martirov, V.B., Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Professional Education "St. Petersburg State University of Railway Communications" (2012), *Mnogoslojnaya stena s reguliruemyimi teplozashhitnymi svoystvami* [Multilayer wall with adjustable thermal protection properties], Federal Service for Intellectual Property, St. Petersburg, RU, Pat. 118989.
15. Kuznetsov, A.V. and Martirov, V.B., Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Professional Education "St. Petersburg State University of Railway Communications" (2012), *Mnogoslojnaya stena s reguliruemyimi teplozashhitnymi svoystvami* [Multilayer wall with adjustable thermal protection properties], Federal Service for Intellectual Property, St. Petersburg, RU, Pat. 118655.
16. Duforestel, T. and Milleville, P.-A., Electricite de France (2017), *Teploizolyacionnoe ustroystvo* [Thermal insulation device], Federal Service for Intellectual Property, Saint Petersburg, RU, Pat. 2614841.
17. Korol, E.A., Slesarev, M.Yu. and Telichenko, V.I., State educational institution of higher professional education Moscow State University of Civil Engineering (2007), *Stroitel'nyj blok s termoreguliruemyim pnevmaticheskim fasadom* [Building block with thermoregulated pneumatic facade], Federal Service for Intellectual Property, Patents and Trademarks, Moscow, RU, Pat. 2303684.
18. Plotnikova, S.V. (2024), "Assessment of CO₂ Emissions from Traditional and Innovative Enclosing Wall Structures During their Life Cycle", *Biosfernaya Sovmestimost': Chelovek, Region, Texnologii*, no. 1 (44) (January – March), pp. 40-52. DOI 10.21869/2311-1518-2023-44-4-40-52.
19. Plotnikova, S.V., Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Bryansk State University of Engineering and Technology" (2018), *Konstrukciya samonesushhej e'nergosberegayushhej steny* [Construction of a self-supporting energy-saving wall], Federal Service for Intellectual Property, Bryansk, RU, Pat. 184030.
20. Plotnikova, S.V., Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Bryansk State University of Engineering and Technology" (2019), *Dinamicheskij e'nergosberegayushhij fasad s izmenyaemyimi svoystvami* [Dynamic energy-saving facade with variable properties], Federal Service for Intellectual Property, Bryansk, RU, Pat. 2710157.
21. Plotnikova, S.V., Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Bryansk State University of Engineering and Technology" (2020), *E'nergosberegayushhaya stena s reguliruemyimi teplozashhitnymi svoystvami* [Energy-saving wall with adjustable thermal protection properties], Federal Service for Intellectual Property, Bryansk, RU, Pat. 273255.
22. Plotnikova, S.V., Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Bryansk State University of Engineering and Technology" (2024), *Sty'kovoe samofiksiruyushheesya soedinenie zhelezobetonnyx panelej v sborno-razbornyx krupnopanel'nyx e'nergoeffektivnyx zdaniyax* [Butt-locking joint of reinforced concrete panels in collapsible large-panel energy-efficient buildings], Federal Service for Intellectual Property, Bryansk, RU, Pat. 2824866.

Информация об авторах

Плотникова Светлана Валерьевна – инженер-архитектор; преподаватель кафедры строительного производства Брянского государственного инженерно-технологического университета, г. Брянск, Россия. Научные интересы: повышение энергоэффективности и экологической безопасности зданий. Финалист и победитель конкурса «УМНИК» в номинации «Ресурсосберегающая энергетика». Лауреат конкурса НИИ строительной физики академии архитектуры и строительных наук (специальный приз журнала «Изобретатель и рационализатор»).

Information about the authors

Plotnikova Svetlana V. – an architectural engineer; lecturer at the Department of Construction Production, Bryansk State University of Engineering and Technology, Bryansk, Russia. Scientific interests: improving energy efficiency and environmental safety of buildings. Finalist and winner of the «SMART GUY» contest in the nomination «Resource-saving energy». Winner of the competition of the Research Institute of Building Physics of the Academy of Architecture and Building Sciences (special prize of the magazine «Inventor and Innovator»).

Статья поступила в редакцию 27.03.2025; одобрена после рецензирования 18.04.2025; принята к публикации 25.04.2025.

The article was submitted 27.03.2025; approved after reviewing 18.04.2025; accepted for publication 25.04.2025.