

БИОКОМПОЗИТНЫЕ МАТЕРИАЛЫ НА ОСНОВЕ НАТУРАЛЬНЫХ ВОЛОКОН КАК ПЕРСПЕКТИВНОЕ НАПРАВЛЕНИЕ УСТОЙЧИВОГО СТРОИТЕЛЬСТВА

В.В. Седайкина, Е. А. Чабина

Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

victoriasedaikina@yandex.ru, katyushka-bond@mail.ru

Строительная отрасль является одним из крупнейших источников выбросов CO₂, что определяет необходимость перехода к низкоуглеродным технологиям и внедрению экологичных строительных материалов. Одним из наиболее перспективных направлений для снижения углеродного следа от строительной индустрии является применение биокомпозитных материалов на основе натуральных волокон (льна, конопли, джути) и биополимерных либо переработанных полимерных матриц. В статье представлен обзор современных зарубежных и российских исследований в области строительных биокомпозитов, рассмотрены свойства натуральных волокон и полимерных матриц, а также методологические подходы к проектированию и оценке долговечности биооснованных композитов. Проанализированы эксплуатационные характеристики и факторы, определяющие перспективы широкого внедрения биокомпозитных материалов в строительную сферу.

Ключевые слова: биокомпозиты, натуральные волокна, устойчивое строительство, выбросы, полимерные матрицы, теплоизоляция, жизненный цикл.

Введение.

Строительная отрасль является одной из наиболее ресурсо- и энергоёмких сфер экономики, формируя 39,4% от суммарных эмиссий CO₂. Из которых 20,4% - выбросы CO₂ при эксплуатации зданий и сооружений 18,7% -

при производстве строительных материалов и конструкций и 0,3% на строительство зданий и сооружений [1]. В условиях ужесточения

экологических требований и перехода к модели устойчивого развития особое внимание уделяется снижению углеродного следа строительных материалов. Одним из ключевых направлений является разработка биокомпозитов — композитных материалов, содержащих биополимерное связующее и армированные натуральные растительные волокна [2,3]. Современные исследования сосредоточены на создании материалов, обладающих не только высокими техническими характеристиками, но и способностью к биоразложению, что позволяет минимизировать воздействие на окружающую среду на протяжении всего жизненного цикла (производство, эксплуатация, утилизация) [4,5].

Натуральные волокна, такие как лён, конопля и джут, обладают благоприятной экологической характеристикой, высокой доступностью и механической прочностью. Благодаря этим свойствам они рассматриваются как альтернатива традиционным армирующим материалам, включая стекловолокно. Комбинирование натуральных волокон с биоразлагаемыми или вторичными полимерными матрицами открывает новые возможности в производстве теплоизоляционных, акустических и конструкционных материалов для устойчивого строительства.

Зарубежные исследования. В европейской научной практике значительное внимание уделяется разработке теплоизоляционных материалов на основе конопляного волокна и полилактида (Polylactic Acid (PLA)). Исследования показали, что композиты плотностью около 40 кг/м³, изготовленные методом чесания и термообработки, обеспечивают низкую теплопроводность, высокое звукоглощение и удовлетворительную механическую прочность [6]. Оптимизация состава с использованием гидрофобизаторов и антиприенов позволила существенно повысить водоотталкивание и огнестойкость материалов, что расширяет их применение в строительстве.

Интересным примером практической реализации является опыт французской компании HempHouse, применяющей конопляный бетон с улучшенными теплоизоляционными характеристиками и высокой паропроницаемостью. Такие композиты обладают устойчивостью к плесени, биоповреждениям и способствуют созданию здорового микроклимата в помещениях. Конопля как растение обеспечивает высокую экологическую эффективность — поглощение до 15 т СО₂/га, отсутствие потребности в интенсивном орошении и химических обработках.

В США сформирована научная база исследований механических свойств композитов на основе конопляных волокон. Установлено, что обработка поверхности волокон усиливает межфазное взаимодействие и повышает прочность композитов, в ряде случаев превосходя показатели материалов с армированием стекловолокном [7]. На основе конопляных волокон активно развиваются биопанели, способные снижать углеродный след производства до 76% [8].

Китай активно внедряет бамбуковые композиты, что связано с высокой скоростью роста бамбука, его возобновляемостью и низким углеродным следом по сравнению с традиционными строительными материалами [9].

Российские исследования. В России активное развитие биокомпозитных технологий связано с наличием обширной сырьевой базы натуральных волокон. Исследования отечественных научных центров (МГСУ, НИИЖБ им. А.А. Гвоздева, Костромской государственный университет) демонстрируют возможность создания конструкционных и теплоизоляционных материалов, сопоставимых с зарубежными аналогами.

В МГСУ разработаны панели на основе льняного волокна и переработанного полиэтилентерефталата (ПЭТ) (Recycled Polyethylene Terephthalate (rPET), обеспечивающие высокую механическую прочность при снижении стоимости производства. Щелочная обработка волокон улучшает адгезию к полимерной матрице на 20–25% [10].

НИИЖБ им. А.А. Гвоздева разработал морозостойкие композиты на основе конопляного волокна и биоэпоксидных смол. Материалы сохраняют прочность после 100 циклов замораживания и оттаивания, что делает их перспективными для суровых климатических условий [11].

В ряде регионов (Костромская область, Татарстан) реализуются пилотные проекты строительства модульных домов с применением биокомпозитных панелей, демонстрирующие высокую энергоэффективность и сокращение сроков возведения зданий.

Характеристики биокомпозитных материалов.

Натуральные волокна и их свойства. Ключевыми армирующими компонентами строительных биокомпозитов являются льняные, конопляные и джутовые волокна. Лён обладает высокой прочностью (до 1100 МПа) и низкой теплопроводностью, однако требует гидрофобизации. Конопляные волокна демонстрируют лучшие акустические свойства и устойчивость к биоповреждениям. Джут характеризуется наименьшей стоимостью при высоком коэффициенте звукопоглощения, но требует антисептической обработки.

Полимерные матрицы. Наиболее экологически перспективны биополимеры, такие как PLA, однако их высокая стоимость ограничивает распространение. На практике чаще применяются переработанные термопласти (rPET, rPP), которые обеспечивают достаточную механическую прочность при снижении себестоимости и решении задач утилизации пластиковых отходов [10].

Методы, подходы и концепции устойчивого проектирования.

Оценка экологической и эксплуатационной эффективности биокомпозитов невозможна без современных методологических подходов.

Применение анализа жизненного цикла (АЖЦ) показывает, что использование натуральных волокон позволяет снизить энергозатраты на производство материалов на 30–45%. Компьютерное моделирование, позволяет оптимизировать содержание волокон, достигая оптимального армирования при соотношении 60:40. Биомиметические решения, основанные

на природных структурах, приводят к увеличению ударной вязкости многослойных панелей в 1,5–2 раза.

Результаты лабораторных исследований, где в соответствии с международными стандартами (ISO 9142, ISO 4892-3) моделируется ускоренное старение материалов подтверждают сохранение 80–85% прочности биокомпозитов после 50 климатических циклов, что соответствует долговечности 25–30 лет эксплуатации. Развитие нормативной базы, включая внедрение ISO 22157, обеспечивает условия для стандартизации и сертификации материалов.

Заключение.

Биокомпозитные материалы на основе натуральных волокон представляют собой перспективное направление развития устойчивого строительства благодаря сочетанию экологичности, доступности и достаточных эксплуатационных свойств. Современные исследования подтверждают возможности их применения в теплоизоляционных, акустических, ограждающих и конструкционных системах зданий. Для расширения сфер применения необходимо дальнейшее совершенствование огнестойкости, влагостойкости и нормативной документации. В условиях глобального перехода к низкоуглеродной экономике биокомпозиты обладают значительным потенциалом для формирования экологичной инфраструктуры и могут занять значимую долю в сегменте малоэтажного и модульного домостроения.

Библиографический список

1. Building Green Sustainable Construction in Emerging Markets. International Finance Corporation. URL: <https://www.ifc.org/content/dam/ifc/doc/2023/building-green-sustainable-construction-in-emerging-markets.pdf> (дата обращения 13.10.2025).
2. Al-Oqla F. M., Sapuan M. S. Material selection of natural fiber composites // Materials Selection for Natural Fiber Composites. — 2017. — DOI: 10.1016/B978-0-08-100958-1.00005-0.
3. Sameni J., Ahmad S., Zakaria S. Effect of MAPE on the mechanical properties of rubber wood fiber/thermoplastic natural rubber composites // Adv. Polym. Techn. — 2004. — Vol. 23, No. 1. — P. 18–23.
4. Stokke D. D. Introduction to Wood and Natural Fiber Composites. — John Wiley & Sons. — 2013.
5. Севастьянов Д. В., Сутубалов И. В., Дасковский М. И., Шеин Е. А. Полимерные биокомпозиты на основе биоразлагаемых связующих, армированных натуральными волокнами (обзор) // Авиационные материалы и технологии. — 2017. — № 4(49). — С. 42–50. — DOI: 10.18577/2071-9140-2017-0-4-42-50.
6. Stapulionienė R., Tupčiauskas R., Vaitkus S., Vėjelis S. Development and investigation of thermal insulation from hemp-polylactide fibres // Engineering Structures and Technologies. — 2016. — Vol. 8, No. 1. — P. 23–30.

7. Shahzad A. Hemp fiber and its composites – a review // Journal of Composite Materials. — 2012. — Vol. 46, No. 8. — P. 973–986.
8. Парсанов А. С., Антонова М. В., Красина И. В. Применение конопли в производстве композитных материалов // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. — 2021. — № 6(396). — С. 292–297. — DOI: 10.47367/0021-3497_2021_6_292.
9. Chen Z., Ma R., Du Y., Wang X. State-of-the-art review on research and application of original bamboo-based composite components in structural engineering. — 2022. — Vol. 35, No. 9. — P. 1010–1029. — DOI: 10.1016/j.istruc.2021.11.059.
10. Донецкий К. И., Хрульков А. В., Городилова Н. А., Мельников Д. А. Перспективы применения полимерных композиционных материалов на основе льняных волокон // Труды ВИАМ. — 2023. — № 10(128). — С. 82–95. — DOI: 10.18577/2307-6046-2023-0-10-82-95.
11. Кудяков К. Л., Бучкин А. В., Юрин Е. Ю., Хлебников С. К., Пентюхова В. А. Влияние параметров предварительного напряжения арматуры композитной полимерной на жесткость и трещиностойкость изгибаемых бетонных элементов. Подготовка и проведение экспериментальных исследований // Вестник НИЦ «Строительство». — 2023. — Т. 39, № 4. — С. 68–81. — DOI: 10.37538/2224-9494-2023-4(39)-68-81.