

# **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  $\text{CO}_2$ , 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 биокomпозитных материалов на основе натуральных волокон (льна, конопли, джута) и биополимерных либо переработанных полимерных матриц. В статье представлен обзор современных зарубежных и российских исследований в области строительных биокomпозитов, 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 биокomпозитных материалов в строительную сферу.

Ключевые слова: биокomпозиты, 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  $\text{CO}_2$ . Из которых 20,4% - вбросы  $\text{CO}_2$  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 биокompозитов — 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/м<sup>3</sup>, изготовленные методом чесания и термообработки, обеспечивают низкую теплопроводность, высокое звукопоглощение и удовлетворительную механическую прочность [6]. Оптимизация состава с использованием гидрофобизаторов и антипиренов 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 CO<sub>2</sub>/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 биокompозитных технологий связано с наличием обширной сырьевой базы натуральных волокон. Исследования отечественных научных центров (МГСУ, НИИЖБ им. А.А. Гвоздева, Костромской государственной 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 биокompозитных панелей, демонстрирующие высокую энергоэффективность и сокращение сроков возведения зданий.

### **Характеристики биокompозитных материалов.**

*Натуральные волокна и их свойства.* Ключевыми армирующими компонентами строительных биокompозитов являются льняные, конопляные и джутовые волокна. Лен 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 термопласты (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 биокompозитов 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 биокompозитов 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.**

Биокompозитные 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 биокompозиты 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 биокompозиты 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-poly lactide 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.