

DOI: 10.58168/TBiEc2025_448-453

УДК 674.81

ЦИКЛИЧНАЯ ПЕРЕРАБОТКА ОТХОДОВ ДРЕВЕСИНЫ В ПРОИЗВОДСТВЕ БИОКОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

CYCLIC RECYCLING OF WOOD WASTE IN THE PRODUCTION OF BIOCOMPOSITE MATERIALS

Черных А.С., к.т.н., доцент ФГБОУ
«Воронежский государственный
лесотехнический университет имени
Г.Ф. Морозова», Воронеж, Россия.

Chernykh A.S., candidate of Technical
Sciences, associate professor of the Voronezh
State University of Forestry and
Technologies named after G.F. Morozov,
Voronezh, Russia.

Опара М.В., к.т.н., доцент ФГБОУ
«Воронежский государственный
лесотехнический университет имени
Г.Ф. Морозова», Воронеж, Россия.

Opara M.V., candidate of Technical
Sciences, associate professor Voronezh State
University of Forestry and Technologies
named after G.F. Morozov, Voronezh,
Russia.

Врагов С.А., преподаватель ФГБОУ ВО
«Воронежский государственный
лесотехнический университет имени
Г.Ф. Морозова», Воронеж, Россия.

Vragov S.A., lecturer at Voronezh State
University of Forestry and Technologies
named after G.F. Morozov, Voronezh,
Russia.

Рублев И.Ю., аспирант ФГБОУ ВО
«Воронежский государственный
лесотехнический университет имени
Г.Ф. Морозова», Воронеж, Россия.

Rublev I.U., postgraduate student, Voronezh
State University of Forestry and
Technologies named after G.F. Morozov,
Voronezh, Russia.

Аннотация: в статье рассматриваются современные подходы к цикличной переработке древесных отходов в производстве биокomпозиционных материалов. Представлены основные технологические решения, экономические и экологические преимущества внедрения замкнутых производственных циклов, а также направления для развития Лесопромышленного комплекса в Российской Федерации. Особое внимание уделяется вопросам внедрения инноваций, совершенствования нормативной базы и повышения осведомленности участников рынка. Дается оценка внедрения цикличной экономики для устойчивого развития в деревообрабатывающей и лесозаготовительной промышленности.

Abstract: the article discusses modern approaches to the cyclic recycling of wood waste for the production of biocomposite materials. The main technological solutions, as well as the economic and environmental advantages of implementing closed production cycles, are presented. Directions for the development of the sector in Russia are also outlined. Special attention is paid to the introduction of innovations, improvement of the regulatory framework, and raising market

participants' awareness. The relevance of transitioning to a circular economy for the sustainable development of the forest industry is emphasized.

Ключевые слова: древесные отходы, биокompозиты, переработка, цикличная экономика, технологии, устойчивое развитие

Keywords: wood waste, biocomposites, recycling, circular economy, technologies, sustainable development

В настоящее время вопросы бережного отношения к лесным ресурсам занимают одно из ключевых мест в Лесопромышленном комплексе РФ. Насколько нам известно, древесина является востребованным природным материалом и находит широкое применение в различных сферах производства, начиная с производства бумаги, упаковочного материала и заканчивая производством мебели и строительных элементов.

Анализируя литературные источники, можно отметить, что ежегодно, в процессе изготовления различных видов продукции образуется около 120 млн.м³ древесных отходов, на долю их вторичного использования приходится только 20%. [1,2] Поскольку, спрос на изделия из древесины возрастает, а природные ресурсы необходимо сохранять, то появляется потребность в производстве аналогичных материалов из растительного сырья, которые способны заменить традиционные аналоги из пластика и металла. К таким материалам можно отнести биокompозиционные материалы, полученные на основе древесных отходов, которые имеют привлекательные характеристики, так как они обладают достаточно высокой прочностью, легкостью, устойчивы к биологическому разрушению и в природных условиях разлагаются гораздо быстрее своих синтетических аналогов.

В качестве решения данного вопроса, можно предложить производство биокompозиционных материалов на основе отходов образующихся на производственных площадках предприятий, которые не нашли своего дальнейшего применения, но требуют дополнительной утилизации, что включает в себя не только денежные затраты, но касается вопросов, связанных с экологией.

При изучении циклических схем переработки древесного сырья, появляется много процессов, которые требуют детальной проработки, а именно, несформированность раздельного сбора и логистики, недостаточно развитая инфраструктура переработки, отсутствие единой системы стандартов качества вторичного сырья, а также низкая информированность потенциальных потребителей о свойствах и преимуществах данного вида материалов. Кроме того, экономическая целесообразность внедрения новых схем зачастую вызывает сомнение у производителей, которые не готовы брать на себя дополнительные издержки без гарантии возврата вложенных инвестиций.

В последнее время, в научной среде идёт бурное обсуждение новых подходов к сбору и переработке остатков древесины для получения биокompозиционных материалов. Появляется интерес к тем технологиям, которые позволяют минимизировать затраты энергии, снизить выбросы вредных веществ, повысить качество и конкурентоспособность

продукции. Актуальность темы усиливается на фоне ужесточения международных экологических требований и необходимости внедрения принципов замкнутой экономики. [3,4]

На сегодняшний день существует множество видов древесных отходов, таких как щепа, стружка, кора, обрезки, опилки, которые образуются в условиях лесозаготовительной и деревообрабатывающей промышленности, а также, подвергшиеся преждевременному разрушению в условиях эксплуатации. Каждый вид отходов требует индивидуального подхода к сбору, хранению и дальнейшей переработке. Одной из главных проблем, является разрозненность мест образования отходов. На крупных деревообрабатывающих предприятиях есть возможность организации централизованных систем сбора остатков, но, к сожалению, в малом и среднем бизнесе зачастую отсутствуют необходимое оборудование и использование финансовых затрат. Что касается логистики, то здесь тоже возникает ряд вопросов. Насколько нам известно, древесные остатки имеют низкую насыпную плотность, занимают значительный объём при транспортировке и хранении, что делает их вывоз экономически нецелесообразным. При отсутствии специализированных пунктов приёма и переработки, эти предприятия предпочитают утилизировать отходы на месте, путем сжигания, что наносит непоправимый вред окружающей среде, так как при сжигании, в атмосферу выделяются вредные вещества.

Поэтому решением данного вопроса является организация участков по производству биокomпозиционных материалов в условиях деревообрабатывающих предприятий. В свою очередь здесь появляется необходимость оценки качества и состава древесных отходов, которые имеют важное значение в изготовлении данных материалов, поскольку промышленные отходы бывают загрязнены химикатами (антисептиками, клеями и смолами), а также могут содержать примеси коры, гниль, мусор. Для создания конкурентоспособной продукции важно обеспечить однородность сырья и соответствие фракционного состава основным физико-механическим параметрам.

Одним из способов переработки древесных отходов является получение биокomпозитов методом прессования, экструзии и термомеханической модификации. Каждый из методов требует предварительной сортировки сырья, для горячего прессования подходят мелкофракционные опилки и стружка, для метода экструзии применяют фракционные частицы заданного размера, что касается химической модификации древесины, то здесь применяют древесину, которая не содержит сторонних включений.

Технология горячего прессования подразумевает смешивание измельчённых древесных частиц с различными связующими компонентами (природными или синтетическими). Полученная смесь формуется в панели или другие виды изделия с последующей термической обработкой. Этот подход позволяет использовать до $\frac{3}{4}$ отходов по их объёму, при этом эксплуатационные характеристики конечного материала (прочность, влагостойкость, устойчивость к биоповреждениям) могут соперничать с аналогичными параметрами традиционных плит OSB и MDF. Комбинированные экструзионные методы

позволяют получать изделия сложной формы: профили, рейки, настилы. Здесь древесные частицы смешиваются с различными полимерами (полиэтиленом или полипропиленом).

Химическая модификация отходов включает процесс предварительной обработки (ферментативное расщепления целлюлозы), что позволяет повышать адгезию между древесными частицами и полимерной матрицей. Для таких технологий требуются современные лаборатории и квалифицированные специалисты, а их внедрение возможно на крупных предприятиях. Однако этот подход обеспечивает более высокую прочность получаемых материалов и увеличивает срок эксплуатации изделий до 30 лет.

Одним из самых перспективных вариантов рециклинга древесных отходов являются биоразлагаемые композиты, в которых в качестве связующего используются полимеры растительного происхождения, такие как крахмал, молочная кислота, белки. Эксперименты, проведенные учеными показывают, что такие материалы сохраняют основные физико-механические свойства в течение всего срока службы изделия, после чего практически полностью разлагаются, не оказывая негативного влияния на окружающую среду.

Положительный опыт зарубежных стран, особенно Германии и Финляндии, показывает, что эффективная система сбора и переработки отходов возможна только при активном участии государства. В этих странах действует система экологического налога, регулируется торговля вторичным сырьём, развиваются кластеры малых и средних предприятий, объединённых в единую сеть утилизации. Значительную роль играет взаимодействие исследовательских институтов с промышленностью, что позволяет внедрять новейшие разработки и обеспечивать высокое качество продукции. [5]

Что касается нашей страны, то здесь решать проблемы можно несколькими способами. В первую очередь необходима поддержка малого бизнеса, т.е. предоставление субсидий на оборудование по сортировке и переработке, обучение персонала, информационное сопровождение. При решении логистических задач, необходимо создание региональных центров по приёму отходов, развитие кооперации между малыми предприятиями, для коллективной транспортировки и обработки сырья. Разработка и утверждение стандартов вторичного древесного сырья позволит упростить процесс передачи и приёмки, а также повысить доверие к качеству биокomпозиционного материала среди конечных потребителей. Также необходимо также внедрять механизмы экономического стимулирования, такие как налоговые льготы для предприятий, перерабатывающих вторичное сырьё или финансовые преференции при участии в государственных закупках.

Важным элементом цикличной системы переработки отходов становится повышение грамотности и информированности всех участников цепочки от производителей до конечных потребителей. Необходимо запускать образовательные программы, популяризирующие преимущества биокomпозитов. Практика многих европейских стран показывает, что вовлечение населения в отдельный сбор мусора и отходов приводит к осознанному потреблению продукции и способствуют накоплению качественного вторичного сырья и росту спроса на изделия нового поколения.

Особое внимание уделяется разработке новых технологий, способных сделать процесс переработки менее затратным и более экологичным. Среди перспективных решений выделяются методы биоконсолидации, то есть связывания древесных частиц путём жизнедеятельности особых штаммов микроорганизмов, что позволяет отказаться от синтетических клеев.

Большое внимание уделяется органолептическим свойствам новых материалов. Современные биокompозиты являются прочными, износостойкими, имеют привлекательную текстуру, а также легко поддаются окрашиванию, их можно обработать с помощью распила и шлифовки. В результате организации такого вида производства можно получить аналог дорогих сортов дерева, за меньшую стоимость и с высокими показателями долговечности.

Для устойчивого развития отрасли необходимо не только внедрение новых технических решений, но и постоянная интеграция системы контроля качества, отслеживания происхождения сырья и его сертификации. Примером может служить хартификация продукции, которая гарантирует потребителю экологическую безопасность биокompозита, подтверждённую независимым экологическим аудитом. Это особенно важно для выхода продукции на внешние рынки, где требования к биоразлагаемым и экологичным материалам гораздо выше.

Таким образом, с учётом современных тенденций, решения проблем ресурсосбережения и экологии, роста спроса на биокompозиционную продукцию и необходимости рационального использования природных ресурсов, цикличная переработка отходов древесины в производстве биокompозиционных материалов становится безальтернативной стратегией развития Лесопромышленного комплекса РФ. Это путь ведет не только к снижению нагрузки на окружающую среду, но также создает новые рабочие места, развивает технологический потенциал и формирует экспортное предложение на глобальном рынке биокompозиционных материалов.

Список литературы

1. Указ Президента РФ "О стратегии научно-технологического развития Российской Федерации": от 01.12.2016 № 642 // СПС "КонсультантПлюс". – URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_207967/491d0aad1a57443c712cfd119c49c7d5291eab8/.
2. Филичкина М.В. Отходы древесно-подготовительного цикла производства газетной бумаги, как сырьё для изготовления древесно-композиционных материалов / М.В. Филичкина, В.С. Копарев, С.Б. Васильев // Деревянное малоэтажное домостроение: экономика, архитектура и ресурсосберегающие технологии: сборник статей научно-практической конференции, 23-27 июня 2014 г. / Петрозаводский государственный университет. – Петрозаводск: Изд-во Петропресс, 2015 – Ч.2. – С.66-81.

3. Stael, G.C. Carbon-13 high resolution solid state NMR study of natural fibres obtained from sugar cane without treatment and their composites with EVA/ G.C Stael, J.R.M D'Almeida, S.M.C de Menezes, M.I.B Tavares //J. Polymer Test-ing. – 1998. – Vol. 17. – N. 3. – P. 147-152.

4. Formation of mechanisms for creating innovative national polygons / Tretyakova L.A., Azarova N.A., Opara M.V., Lavrikova N.I., Tsvyrko A.A. В сборнике: IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 3, Mining, Production, Transmission, Processing and Environmental Protection. Сер. "III International Scientific and Practical Conference "Actual Problems of the Energy Complex: Mining, Production, Transmission, Processing and Environmental Protection"" 2021. С. 012066.

5. Poskrobko, S. Biofuels. Part II. Thermogravimetric research of dry de-composition / S. 9 Poskrobko, D. Krol // J. Therm. Anal. Calorim. – 2012. – V. 109. № 2. – P. 629-638.

References

1. Decree of the President of the Russian Federation "On the strategy of scientific and technological development of the Russian Federation": dated December 1, 2016 No. 642 // SPS "ConsultantPlus". – URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_207967/491d0aad1a57443c712cfd119c49c7d5291eab8/.

2. Filichkina M.V. Waste from the wood preparatory cycle of newsprint production as a raw material for the production of wood-composite materials / M.V. Filichkina, V.S. Koparev, S.B. Vasiliev // Wooden low-rise building construction: economics, architecture and resource-saving technologies: collection of articles of the scientific and practical conference, June 23-27, 2014 / Petrozavodsk State University. – Petrozavodsk: Petropress Publishing House, 2015 – Part 2. – P.66-81.

3. Stael, G.C. Carbon-13 high resolution solid state NMR study of natural fibers obtained from sugar cane without treatment and their composites with EVA/ G.C Stael, J.R.M D'Almeida, S.M.C de Menezes, M.I.B Tavares //J. Polymer Testing. – 1998. – Vol. 17. – N. 3. – P. 147-152.

4. Formation of mechanisms for creating innovative national polygons Tretyakova L.A., Azarova N.A., Opara M.V., Lavrikova N.I., Tsvyrko A.A. In: IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 3, Mining, Production, Transmission, Processing and Environmental Protection. Ser. "III International Scientific and Practical Conference "Actual Problems of the Energy Complex: Mining, Production, Transmission, Processing and Environmental Protection"" 2021. P. 012066.

5. Poskrobko, S. Biofuels. Part II. Thermogravimetric research of dry de-composition / S. 9 Poskrobko, D. Krol // J. Therm. Anal. Calorim. – 2012. – V. 109. No. 2. – P. 629-638.