

строительства вертикального дренажа / В.В. Пчёлкин, В.И. Сметанин; Заявитель. ФГБОУ ВПО «Московский государственный университет природообустройства» (МГУП). Заявка № 2009144896/21; Заявл. 04.12.2009; Опубл. 10.04.2011.

9. Никулин И.Л., Рофер Ю.И. Разработка волоконно-оптической системы для мониторинга геотехнических сооружений" Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики, 2024, том 24, № 5.

© Федорова Н.Е., Пузанова Д.Р.,
Корешкова А.Ю., Иванова М.А., 2025

УДК 677.11.08

**АНАЛИЗ ОТХОДОВ ЛЬНОПРОИЗВОДСТВА ДЛЯ ОЦЕНКИ
ПОТЕНЦИАЛА ИХ ПРИМЕНЕНИЯ В КАЧЕСТВЕ
АРМИРУЮЩЕГО НАПОЛНИТЕЛЯ В БИОКОМПОЗИТАХ
ANALYSIS OF FLAX PRODUCTION WASTE TO ASSESS THE
POTENTIAL OF ITS USE AS A REINFORCING FILLER IN
BIOCOMPOSITES**

**Иванова Валерия Викторовна, Скобова Наталья Викторовна,
Ясинская Наталья Николаевна
Ivanova Valeriya Viktorovna, Skobova Natalia Viktorovna,
Yasinskaya Natalia Nikolaevna**

*Витебский государственный технологический университет, Витебск, Беларусь
Vitebsk State Technological University, Vitebsk, Belarus
(e-mail: fomchenko31v@mail.ru, skobova-nv@mail.ru, yasinskaynn@rambler.ru)*

Аннотация: в работе представлен анализ фракционного и морфологического состава мало используемых льняных отходов (вытрясок), полученных на пригготовительных линиях льнозаводов. Определено процентное соотношение компонентов в отходах: волокна и костры. Проведен частотный анализ распределения волокон по длине и по диаметру. Определен закон распределения. Полученные результаты позволяют подобрать методы подготовки волокна к их использованию в качестве армирующего слоя при производстве биокomпозитов.

Abstract: this paper presents an analysis of the fractional and morphological composition of rarely used flax waste (shakings) obtained from flax mill preparation lines. The percentage ratio of the waste components (fiber and shives) was determined. A frequency analysis of the fiber distribution by length and diameter was conducted, and a distribution law was determined. The obtained results allow for the selection of fiber preparation methods for their use as a reinforcing layer in the production of biocomposites.

Ключевые слова: отходы льнопрядильного производства, костра, армирующие материалы, морфология и фракционный состав.

Keywords: flax spinning waste, firewood, reinforcing materials, morphology and fractional composition.

Льняное волокно, как возобновляемый и биоразлагаемый материал, активно используется в различных отраслях промышленности, включая текстильную, строительную, автомобильную и др. [1]. Однако процесс его получения сопровождается образованием значительных объемов отходов, в частности, вытрясок – коротких и тонких волокон, отделяющихся от основной массы при очистке и трепании. Утилизация этих отходов представляет собой экологическую проблему [2]. Одним из перспективных направлений их использования является применение в качестве армирующего наполнителя в композиционных материалах. Для успешной реализации этого подхода необходимо детальное изучение физико-механических свойств отходов, в первую очередь их размерного состава, в частности, диаметра волокон [3]. Диаметр напрямую влияет на площадь межфазной поверхности, адгезию с матрицей и, следовательно, на прочность и жесткость конечного материала.

В качестве объекта исследований выбраны образцы отходов льнопроизводства РУПП «Оршанский льнокомбинат»: вытряска №6, №7а и №7б. Проанализирован фракционный состав отходов, в результате которого установлено, что вытряска №6 состоит в основном из элементарного короткого волокна – 77,8%, процент технического волокна составляет 9,7%, содержание костры минимально – 12,5%. Вытряска №7а характеризуется практически равным процентным соотношением компонентов: 48,3% волокна и 46,8% костры. Вытряска №7б содержит 64,2% сорных примесей и 35,8% волокнистой фракции, техническое волокно встречалось в незначительном количестве (единично).

Одним из ключевых факторов, определяющих свойства биокomпозитов является длина используемых волокон [4]. Она напрямую влияет на механические свойства композита, в частности, на прочность, жесткость, адгезию с матрицей и равномерность распределения наполнителя. Проведен сравнительный анализ распределения длины отсортированных волокон вытряски №6, №7а и №7б (рисунок 1).

Гистограмма длины отсортированных волокон вытряски №6 демонстрирует широкий диапазон значений (от 5,2 до 29 см). Наибольшая доля волокон соответствует длине 11,0-14,3 см. Волокна с длиной свыше 20 см встречаются с небольшой частотой. Общий характер распределения волокон по длине приближен к нормальному закону распределения.

Вытряска №7а характеризуется выраженной левосторонней асимметрией с преобладанием более коротких волокон. Диапазон варьирования значений составляет от 1,9 до 20 см. Волокна длиной свыше 12 см встречаются единично. Основная часть волокон сосредоточена в диапазоне 2-5 см. Общий характер распределения волокон по длине приближен к экспоненциальному закону.

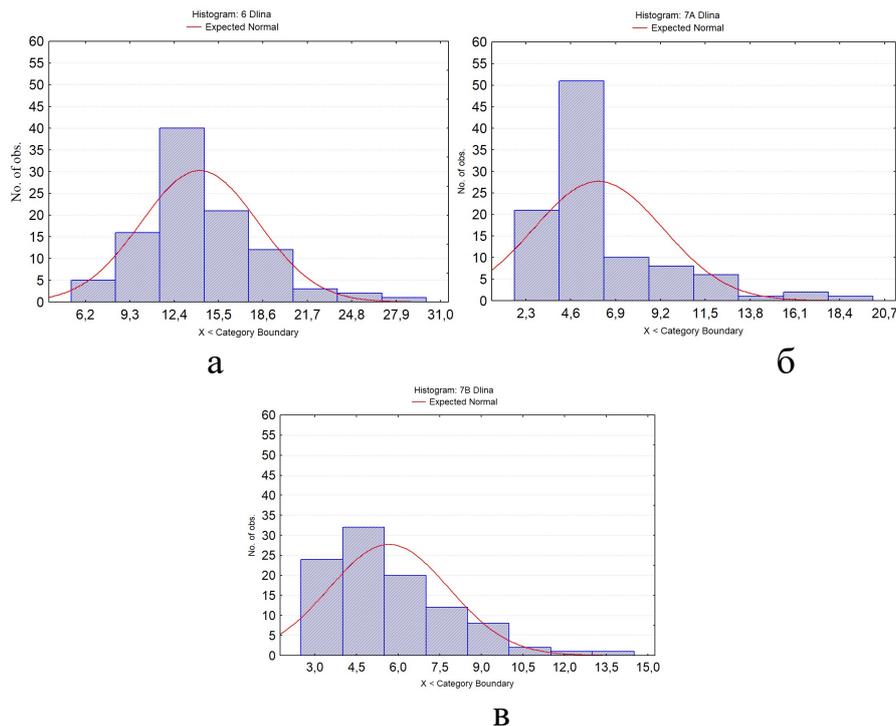


Рисунок 1 – Частотный анализ распределения волокон по длине:
а – вытряска №6, б – вытряска №7а, в – вытряска №7б

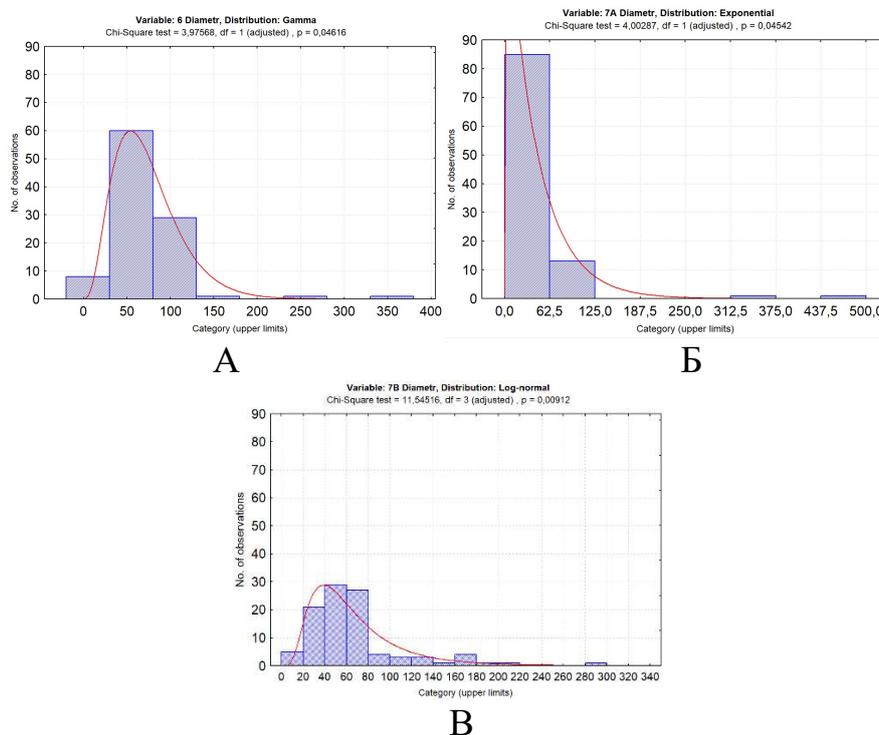


Рисунок 2 – Частотный анализ распределения волокон по диаметру:
А – вытряска №6, Б – вытряска №7а, В – вытряска №7б

Вытряска №7б демонстрирует также асимметричный характер. Диапазон варьирования значений составляет от 2,5 до 14,5 см. Наибольшее количество волокон имеет длину в интервале 4,5-6 см.

Используя электронный микроскоп Альтами с увеличением 50х также проведены измерения диаметра волокон вытряски. Рассчитав усредненное значение по всем пробам построена гистограмма частотного распределения волокон по диаметру (рисунок 2).

Гистограмма распределения волокон по диаметру вытряски №6 демонстрирует диапазон варьирования значений от 14 до 331 мкм, при этом основная часть наблюдений сосредоточена в интервале 40-70 мкм. Волокна с диаметром менее 30 мкм встречаются редко, а значения свыше 100 мкм наблюдаются единично. Распределение имеет форму, близкую к гамма-распределению, что подтверждается статистическими показателями ($\chi^2 = 3,98$; $p = 0,046$).

Гистограмма распределения волокон по диаметру вытряски №7а характеризуется резко выраженным левосторонним пиком. Большинство волокон имеют диаметр в диапазоне до 56,6 мкм. Менее многочисленная группа представлена волокнами диаметром 58-113 мкм. Волокна с диаметром свыше 113,2 мкм встречаются единично. Закон распределения диаметра волокон вытряски близкий к экспоненциальному, что подтверждается статистическими показателями ($\chi^2 = 4,00$; $p = 0,045$).

Гистограмма распределения диаметра волокон вытряски №7б имеет левостороннюю асимметричную форму с протяженной правой ветвью, что характерно для логнормального распределения. Диапазон варьирования значений составляет от 16 до 296 мкм, при этом наибольшее количество наблюдений приходится на интервал 36,4-72,8 мкм. Волокна с диаметром менее 20 мкм и более 80 мкм встречаются значительно небольшими включениями, а отдельные значения свыше 200 мкм можно отнести к единичным.

Проведенный анализ фракционного и морфологического состава мало используемых отходов, позволяет подобрать дальнейшие методы подготовки волокон к формированию армирующего слоя в биокompозитах, заключающихся в традиционных и экологически безопасных способах обработки, обеспечивающих эффективное разволокнение комплексов волокон и повышение однородности состава.

Список литературы

1. С.В. Алеева, О.В. Лепилова, С.А. Кокшаров. Метод получения высокопротеиновых фитокомпозитов с использованием вторичных продуктов льнопереработки. Материалы и технологии, №1, 2020 г., с. 19-25.
2. Arzumanova Nushaba B., Kakhramanov Najaf T. POLYMER BIOCOMPOSITES BASED ON AGRO WASTE: PART I. SOURCE, CLASSIFICATION, CHEMICAL COMPOSITION AND TREATMENT METHODS OF LIGNOCELLULOSIC NATURAL FIBERS // Известия ВУЗов. Химия и химическая технология, №4, 2020. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/polymer-biocomposites-based-on-agro->

waste-part-i-source-classification-chemical-composition-and-treatment-methods-of (дата обращения: 17.10.2025).

3. Х. Праджапати, А. Тевати, А. Диксит. Достижения в композитах, армированных натуральными волокнами: тематический обзор. Механика композитных материалов Т.58, №3, 2021 г., с. 455-504.
4. М.А. Козлова, А.Н. Буркин, А.Н. Радюк. Влияние длины волокон на свойства композиционных материалов из вторичного сырья. Материалы и технологии, №2, 2021 г., с. 14-23.

© Иванова В.В., Скобова Н.В., Ясинская Н.Н., 2025