

УДК 677.494

**БУДАШ Ю.О., КУЧЕРЕНКО Є.В., ПЛАВАН В.П.,  
ФЕЩЕНКО Я. В., ВЕРЕЙКО О.І.**

Київський національний університет технологій та дизайну  
**ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ РОЗМІРНИХ ХАРАКТЕРИСТИК  
НЕДЕРЕВНИХ ВОЛОКОН РІЗНОЇ ПРИРОДИ**

**Мета.** Порівняння розмірних характеристик різних недревних волокон (льон, коноплі, бамбук, бавовна), які можуть бути використані як додатковий компонент при виготовленні нетканних композиційних матеріалів із синтетичних волокнистих відходів.

**Методика.** Структуру волокон вивчали методом оптичної поляризаційної мікроскопії. Розмірні характеристики волокон визначали методом аналізу цифрових зображень з наступною статистичною обробкою та графічним аналізом отриманих даних.

**Результати.** Виконано кількісний порівняльний аналіз поперечних розмірів і розподіл за цим показником для недревних волокон різного природного походження: льону, коноплі, бамбуку, бавовни. Встановлено, що середні поперечні розміри вихідних волокон льону та коноплі вище, чим для волокон бамбуку та бавовни при більшій варіативності цього показника та вираженій асиметричності розподілу в бік значень, більших за середні.

**Наукова новизна.** На основі детального статистичного аналізу мікроскопічних зображень, встановлені відмінності поперечних розмірів недревних волокон різного природного походження.

**Практична значимість.** Отримані результати можуть бути використані при одержанні нетканних композиційних матеріалів з прогнозованими властивостями.

**Ключові слова:** мікроскопія, аналіз зображень, недревні волокна, розподіл, поперечний розмір, неткані матеріали.

**Вступ.** Останнім часом, суміші природних та синтетичних полімерних волокон використовуються для одержання функціоналізованих волокнистих матеріалів з широким спектром властивостей [1-4]. Виробництво, використання та утилізація традиційних текстильних матеріалів зараз розглядаються більш критично через посилення вимог екологічного законодавства. Целюлозні волокна (в тому числі недревного походження) можуть бути використані для отримання текстильних матеріалів різного призначення. Льон, коноплі, джут, рамі, сізаль, кропива, бамбук та багато інших рослин є потенційними, різноплановими волокнистими компонентами для заміни традиційної бавовни [5]. Їх використання при одержанні будівельних ізолюючих матеріалів [6], як ефективних сорбентів [7], та підсилюючих наповнювачів композиційних матеріалів [8] є предметом інтенсивних досліджень.

При виготовленні нетканних матеріалів з синтетичних волокнистих відходів [9,10], використання природних волокон як додаткового компоненту зумовлено наступним. По-перше, використання відновлювальних природних ресурсів є сучасним, прогресивним напрямком у полімерній індустрії. Це зменшує навантаження на навколишнє середовище за рахунок використання волокнистих матеріалів, що виробляються природою щорічно. По-друге, це зміна властивостей нетканних матеріалів, стосовно їх фізико-механічних показників та експлуатаційних характеристик. Крім того, додавання природних волокон у неткані матеріали є ефективним шляхом одержання виробів, що мають здатність до часткової біодеградації в процесі їх остаточної утилізації.

При отриманні різних видів нетканних матеріалів важливим питанням є початкова якісна ідентифікація та кількісне визначення розмірних показників волокон, що використовуються в процесі. Якщо для синтетичних волокон ці характеристики чітко

визначаються умовами формування, то для натуральних волокон їх розмірні характеристики (довжина та поперечний розмір) суттєво залежать від біологічної природи, властивостей вихідної сировини, умов виділення волокон з природно-рослинних компонентів.

Незважаючи на те, що основна увага при переробці приділяється контролю довжини природних волокон, їх поперечні розміри мають не менше значення і визначають ряд специфічних властивостей нетканих матеріалів, наприклад, однорідність, пористість, сорбційну здатність, паро- та повітропроникність.

Використання методу аналізу зображень в поєднанні з детальним статистичним аналізом отриманих результатів, дозволяє отримати прямі кількісні значення поперечних розмірів волокон та виконати порівняння зразків за кількома статистичними показниками. Вказане вище зумовлює актуальність досліджень у цьому напрямку.

**Постановка завдання.** *Мета роботи* – порівняльний статистичний аналіз поперечних розмірів та характеру розподілу за цим показником недеревних волокон різного природного походження, що потенційно можуть бути використані у якості додаткового компоненту при виготовленні нетканих композиційних матеріалів з синтетичних волокнистих відходів.

**Об'єкт та методи дослідження.** У якості об'єктів дослідження були використані промислові зразки природних недеревних волокон різної природи, отриманих з таких рослин як льон, коноплі, бамбук. Для порівняння, використані традиційні волокна бавовни. Вихідні характеристики волокон, відповідали загальноприйнятим стандартам, згідно [11-14].

Дослідження структури зразків волокон виконували методом оптичної поляризаційної мікроскопії (мікроскоп «Біолам С-11»). Результати мікроскопічних досліджень фіксували методом фотографування зразків волокон спеціальною цифровою окулярною насадкою. Для визначення поперечних розмірів волокон використовували метод аналізу отриманих цифрових зображень в програмному пакеті ImageJ [15] з наступною статистичною обробкою та графічним аналізом отриманих даних в пакеті Statistica [16]. Поряд із дескриптивними статистичними показниками (середнє, довірчі інтервали, стандартна похибка та відхилення, медіана, мода, мінімум, максимум, асиметричність та ексцес) для оцінки характеру розподілу використовували:

Коефіцієнт варіації ( $K_n$ ), як відносну міру середнього розкиду значень у статистичній сукупності (%):

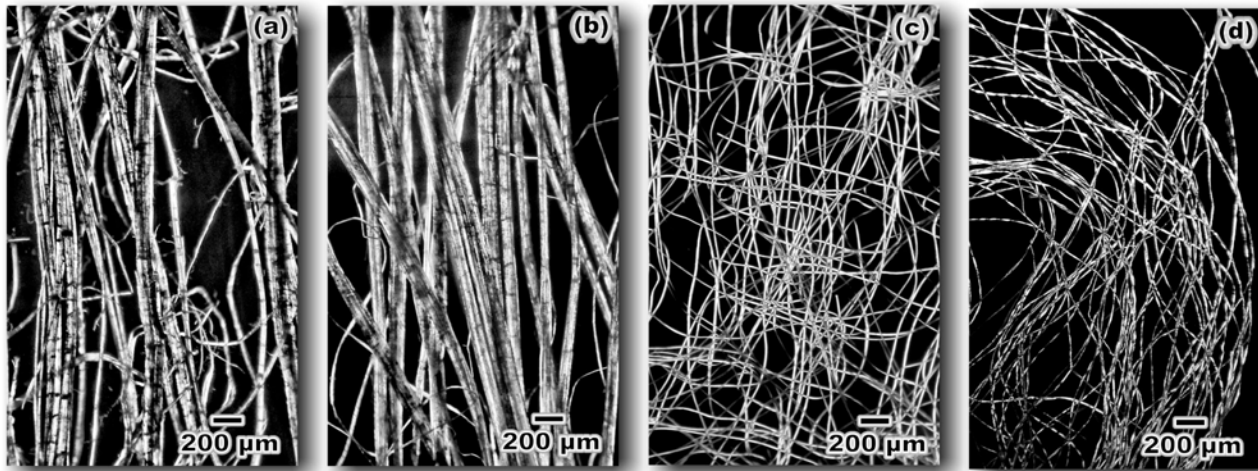
$$K_n = S/P_{cp} \cdot 100\% \quad (1)$$

Коефіцієнт осциляції ( $K_v$ ), як відносну міру абсолютного розкиду значень у статистичній сукупності:

$$K_v = (P_{max} - P_{min})/P_{cp}, \quad (2)$$

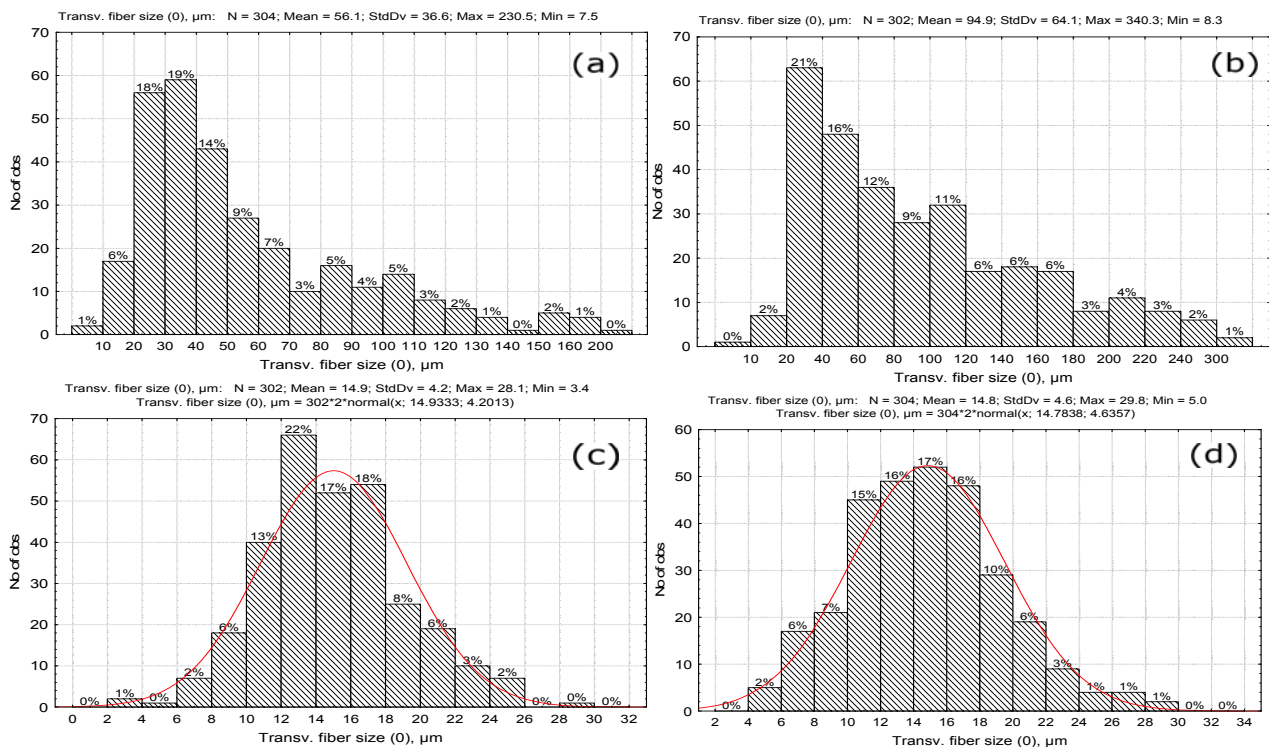
де  $P_{max}$ ,  $P_{min}$  □ максимальне та мінімальне значення поперечного розміру волокон в зразку;  $P_{cp}$  □ середнє значення поперечного розміру волокон;  $S$  - стандартне відхилення від середнього значення.

**Результати дослідження.** На рис. 1. наведені мікрофотографії в поляризованому світлі вихідних зразків целюлозних волокон з різних видів недеревної сировини.



**Рис. 1.** Мікрофотографії в поляризованому світлі целюлозних волокон з різних видів недеревної сировини: а) льон; б) коноплі; с) бамбук; д) бавовна

Якісний аналіз зображень свідчить, що волокна льону та коноплі мають схожу структуру та розмірні характеристики (рис. 1а,б). В той же час для волокон бамбука та бавовни (рис. 1с,д), є характерним суттєво менший поперечний розмір окремих фібрил, що помітно відрізняє їх від двох попередніх зразків.



**Рис. 2** Гістограми розподілу за поперечним розміром зразків волокон: а) льон; б) коноплі; с) бамбук; д) бавовна

Результати статистичного аналізу кількісного визначення поперечних розмірів волокон досліджених зразків методом аналізу зображень наведені на рис. 2.

Можна бачити, що для волокон льону (рис. 2a) найбільша частка волокон (19%) має поперечні розміри від 30 до 40 мкм. При цьому основна маса волокон (~51%) відноситься до інтервалу 20÷50 мкм. Частка волокон з найменшими розмірами (< 20 мкм) становить близько 7%, в той же час частка волокон з найбільшими розмірами (> 100 мкм) приблизно у 2 вища і становить ~14%.

Характер розподілу за поперечним розміром для волокон коноплі (рис. 2b) якісно схожий з попереднім випадком, але відрізняється від нього кількісними показниками. Найбільша частка волокон (~19%) має поперечні розміри від 20 до 40 мкм. При цьому близько половини волокон (~49%) відноситься до інтервалу 20÷80 мкм. Частка волокон з найменшими розмірами (< 20 мкм) доволі незначна і становить близько 2%. В той же час частка волокон з найбільшими розмірами (> 100 мкм) суттєва і становить ~42%.

Як для волокон коноплі так і для льону, гістограми розподілу за поперечним розміром мають несиметричну форму з довгим правим «хвостом», що свідчить про наявність в зразках помітної частки волокон з великими (відносно середнього значення) поперечними розмірами. Однак, в останньому випадку (коноплі), верхній кордон спостережень поперечних розмірів волокон (до 300 мкм) помітно більший, чим для льону (до 200 мкм).

Гістограма розподілу за поперечним розміром для волокон бамбуку якісно і кількісно відрізняється від двох попередніх зразків (рис. 2c). Ця гістограма має симетричну форму, розподіл суттєво вужчий, а його форма близька до нормального. Найбільша частка волокон (~22%) має поперечні розміри від 12 до 14 мкм. При цьому основна маса волокон (~57%) відноситься до інтервалу 12÷18 мкм. Частка волокон з найменшими розмірами (< 10 мкм) становить близько 9%, і приблизно відповідає частці волокон з найбільшими розмірами (> 20 мкм), яка становить ~11%.

Треба зазначити, що волокна бамбуку можуть бути отримані у двох принципово різних процесах. По перше, це пряма екстракція або декортикація волокон з первинної рослини (або комбінація цих прийомів), по друге - віскозна технологія з розчиненням целюлозного компоненту і формуванням штучного волокна [17]. Ймовірно, аналізований зразок волокон бамбуку відноситься саме до другої технології отримання.

Як і для волокон бамбуку, розподіл за поперечним розміром для бавовняних волокон має симетричну форму, та близький до нормального відносно середнього значення (рис. 2d). Найбільша частка волокон не є вираженою (~17%) та має поперечні розміри від 14 до 16 мкм. Водночас, сусідні діапазони як з більшої (16÷18 мкм) так і з меншої (10÷14 мкм) сторони мають подібну величину (~15÷16%). Основна маса волокон (~64%) відноситься до інтервалу 10÷18 мкм. Частка волокон з найменшими розмірами (< 10 мкм) становить ~15%, а з найбільшими розмірами (> 20 мкм), становить ~12%.

В табл. наведені основні статистичні показники досліджених волокон. Як видно з наведених даних, найбільше середнє значення (94,9 мкм) а також варіативні складові розподілу спостерігаються для волокон коноплі. Для волокон бамбуку і бавовни статистичні показники доволі близькі, що підтверджується значеннями коефіцієнтів варіації (28,1%, 31,4%) та осциляції (1,6, 1,7), відповідно. Звертає на себе увагу, що для волокон льону та коноплі ці характеристики приблизно у 2 рази перевищують аналогічні показники волокон бамбуку і бавовни.

Статистичні показники поперечних розмірів волокон

Показник	Поперечний розмір волокон, мкм			
	льон	коноплі	бамбук	бавовна
Середнє значення	56,1	94,9	14,9	14,8
Інтервал -95%	52,0	87,6	14,5	14,3
Інтервал +95%	60,2	102,1	15,4	15,3
Медіана	44,9	78,3	14,7	14,5
Мін. значення	7,5	8,3	3,4	5,0
Макс. значення	230,5	340,3	28,1	29,8
Станд. відхилення	36,6	64,1	4,2	4,6
Станд. похибка	2,1	3,7	0,2	0,3
Асиметричність	1,4	1,0	0,2	0,4
Експес	2,1	0,6	0,0	0,2
Коеф. варіації, %	65,2	67,5	28,1	31,4
Коеф. осциляції	4,0	3,5	1,6	1,7

Таким чином, дослідження демонструють відмінність абсолютних значень розмірних характеристик недеревних волокон різного природного походження та характеру їх розподілу, що потребує врахування цього фактору при одержанні композиційних нетканих матеріалів з прогнозованими властивостями. Подальша робота в цьому напрямку може бути направлена на дослідження впливу процесів механічної переробки таких волокон на їх розмірні характеристики.

**Висновки.** Визначені середні характеристики поперечних розмірів і розподіл за цим показником недеревних волокон різного природного походження (коноплі, льон, бамбук, бавовна), що можуть бути використані у якості додаткового компоненту при виготовленні нетканих композиційних матеріалів з синтетичних волокнистих відходів. Встановлено, що середні поперечні розміри вихідних волокон льону ~ у 3,8, а коноплі ~ у 6,4 рази вище, чим для волокон бамбуку та бавовни. При цьому, спостерігається також більша варіативність цього показника (~ у 2,3 рази) та виражена асиметричність розподілу в бік значень, більших за середні. Показано, що для досліджених зразків волокон бамбуку та бавовни, їх середні поперечні розміри, характер розподілу, та його варіативні показники близькі, що підтверджується значеннями коефіцієнтів варіації (28,1%, 31,4%) та осциляції (1,6, 1,7) відповідно.

Отримані результати досліджень можуть бути використані при одержанні нетканих композиційних матеріалів з прогнозованими властивостями.

**Подяка.** Автори статті дякують керівництву ТОВ «К. Текс» (м. Ірпінь) за матеріально-технічну підтримку у виконанні досліджень.

Література

1. Russell S. J. Handbook of nonwovens / S. J. Russell. CRC Press, 2007. P. 530.
2. Bott R. Nonwovens for home and personal care / R. Bott // Igarss 2014. № 1. P. 1-5.
3. Patel B. M. Nonwoven technology / B. M. Patel, D. Bhrambhatt // Textile Technology. 2008. P. 1-54.
4. Applications of nonwovens in technical textiles: Woodhead Publishing Series in Textiles: Number 102 / Ed. By R. A. Chapman. – Woodhead Publishing Limited, 2010. – P. 226.
5. Kozłowski R. Handbook of natural fibers. types, properties and factors affecting breeding and cultivation / R. Kozłowski. — Textile Institute (Manchester, England): Woodhead Pub, 2012. P. 620.
6. Cellulose fibers: bio- and nano-polymer composites / ed. S. Kalia, ed. B. S. Kaith, ed. I. Kaur. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2011.
7. Renouard N. Exploring two innovative recycling ways for poly-(propylene)-flax non wovens wastes / N. Renouard, J. Mérotte, A. Kervoëlen[et al.] // Polymer Degradation and Stability. 2017. V. 142. P. 89-101.
8. Renuka S. Studies on needle-punched natural and polypropylene fiber nonwovens as oil sorbents / S. Renuka, R. Rengasamy, D. Das // Journal of Industrial Textiles. 2016. V. 46, № 4. P. 1121-1143.
9. Кучеренко Є.В., Будащ Ю.О., Плаван В.П., Супрун Н.П. Отримання полімерних композитів з теплозахисними властивостями на основі відходів волокнистих матеріалів. В кн: Перспективні полімерні матеріали та технології: монографія / Укладачі: Плаван В.П., Барсуков В.З., Резанова Н.М., Баула О.П.; за заг. ред. В.П. Плаван. – Київ: КНУТД. 2015. С. 208-211.
10. Кучеренко Є. В. Одержання та властивості нетканних матеріалів із волокнистих відходів / Є. В. Кучеренко, Ю. О. Будащ, В. П. Плаван, О. І. Литвинова // Вісник Київського національного університету технологій та дизайну. Технічні науки. 2016. № 4 (100). С. 99-106.
11. ДСТУ 4015-2001. Льон тіпаний.

References

1. Russell, S. (2007). *Handbook of nonwovens* [CRC Press].
2. Bott, R. (2014). *Nonwovens for home and personal care* [Igarss].
3. Patel, B. M., & Bhrambhatt, D. (2008). *Nonwoven technology* [Textile Technology].
4. Chapman, R. (2010). *Applications of nonwovens in technical textiles* [Woodhead Publishing Series in Textiles].
5. Kozłowski, R. (2012). *Handbook of natural fibers* [Textile Institute]. Manchester [England].
6. Kalia, S., Kaith, B., & Kaur, I. (2011). *Cellulose fibers: bio- and nano-polymer composites* [Green Chemistry and Technology]. Berlin [Germany].
7. Renouard, N., Mérotte, J., Kervoëlen, A. (2017). Exploring two innovative recycling ways for poly-(propylene)-flax non wovens wastes. – *Polymer Degradation and Stability*, 142, 89-101.
8. Renuka, S., Rengasamy, R., Das, D. (2016). Studies on needle-punched natural and polypropylene fiber nonwovens as oil sorbents. – *Journal of Industrial Textiles*, 46, 4, 1121-1143.
9. Kucherenko, E.V., Budash Yu.O., Plavan, V.P., Suprun, N.P. (2015). Otrymannya polimernykh kompozytiv z teplo zakhysnymy vlastyvostyamy na osnovi vidkhodiv voloknystykh materialiv [Obtaining polymeric composites with heat-protective properties on the basis of waste of fibrous materials]. In the book: *Perspective Polymer Materials and Technologies: Monograph / Contributors: Plavan V.P, Barsukov V.Z, Rezanova N. M., Baula O.P.; per community V. P. Plavan*, 208-211[in Ukraine].
10. Kucherenko, E.V., Budash Yu.O., Plavan, V.P., Lytvynova O.I. (2016). Oderzhannia ta vlastyvoli netkanykh materialiv iz voloknystykh vidkhodiv [Receipt and properties of nonwoven materials from fibrous waste]. *Visnyk Kyivskoho natsionalnoho universytetu tekhnolohii ta dyzainu. Tekhnichni nauky – Bulletin of the Kiev National University of Technology and Design. Technical sciences*, 2,100, 99-106 [in Ukraine].
11. DSTU 4015–2001. L<sup>o</sup>n tipanyy. Tekhnichni umovy [State Standard 4015–2001. The linen is bleached. Specifications]. Ukraine,

Технічні умови. Україна. Дата введення 2002-01-01.  
12. ГОСТ 10379-76. Пенька трепаная. Технические условия. Москва. Дата введения 1977-06-30.  
13. ISO 22157-1:2004. Bamboo — Determination of physical and mechanical properties. USA.  
14. ДСТУ ISO 2403:2015 (ISO 2403:2014, IDT). Текстиль. Бавовняне волокно. Україна. Дата введення 2015-01-01.  
15. Perez, J., Pascau, J. Image processing with ImageJ, Packt Publishing Ltd. 2013. P. 140.  
16. Hill, T., Lewicki, P. Statistics: methods and applications□: a comprehensive reference for science, industry, and data mining, StatSoft Inc. 2006. P. 832.  
17. Nayak L. Prospect of bamboo as a renewable textile fiber, historical overview, labeling, controversies and regulation / L. Nayak, S. P. Mishra // Fashion and Textiles.2016. V. 3, № 1. P. 2.

Standartinform Publ., 2002.  
12. GOST 10379–76. Pen'ka trepanaya. Tekhnicheskiye usloviya [ State Standard 10379–76. Hemp shivering. Technical conditions]. Moscow, Standartinform Publ., 1977.  
13. ISO 22157-1:2004. Bamboo – Determination of physical and mechanical properties. USA, Standartinform Publ., 2004.  
14. DSTU 2403:2015 (ISO 2403:2014). Tekstyl□. Bavovnyane volokno [State Standard 2403:2015. Textile. Cotton fiber]. Ukraine, Standartinform Publ., 2015.  
15. Perez, J., & Pascau, J. (2013). *Image processing with ImageJ* [Packt Publishing Ltd].  
16. Hill, T., & Lewicki, P. (2006). *Statistics: methods and applications: a comprehensive reference for science, industry, and data mining* [StatSoft Inc].  
17. Nayak, L., Mishra, S. (2016). Prospect of bamboo as a renewable textile fiber, historical overview, labeling, controversies and regulation – *Fashion and Textiles, Vol. 3, 1, 2*

**BUDASH YURI**

Scopus Author ID: 9134072100;  
ORCID:<https://orcid.org/0000-0001-8718-1577>;  
Researcher ID H-6012-2018; [budash@ua.fm](mailto:budash@ua.fm);  
Department of Applied Ecology, Technology of Polymers and Chemical Fibers of the Kiev National University of Technology and Design

**PLAVAN VIKTORIIA**

Scopus Author ID: 6603130130;  
ORCID:<http://orcid.org/0000-0001-9559-8962>;  
Researcher ID: I-5852-2015; [plavan.vp@knutd.edu.ua](mailto:plavan.vp@knutd.edu.ua);  
Department of Applied Ecology, Technology of Polymers and Chemical Fiber, Kiev National University of Technology and Design

**KUCHERENKO YELYZAVETA**

[Ku4erenko\\_Elizaveta@i.ua](mailto:Ku4erenko_Elizaveta@i.ua);  
Researcher ID H-7625-2018;  
ORCID:<https://orcid.org/0000-0001-5352-3292>;  
Department of Applied Ecology, Technology of Polymers and Chemical Fiber, Kiev National University of Technology and Design

**FESHCHENKO YANA**

[yana-cat@i.ua](mailto:yana-cat@i.ua)  
Kyiv National University of Technology and Design,  
Department of Applied Ecology, Technology of Polymers and Chemical Fibers

**VEREIKO OLGA**

[vereiko.rivne@gmail.com](mailto:vereiko.rivne@gmail.com)  
Kyiv National University of Technology and Design,  
Department of Applied Ecology, Technology of Polymers and Chemical Fiber

**СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ РАЗМЕРНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК НЕ ДРЕВЕСНЫХ ВОЛОКОН РАЗЛИЧНОЙ ПРИРОДЫ**

**БУДАШ Ю. А., КУЧЕРЕНКО Е. В., ПЛАВАН В. П., ФЕЩЕНКО Я. В., ВЕРЕЙКО О. И.**

*Киевский национальный университет технологий и дизайна*

**Цель.** Сравнение размерных характеристик различных недревесных волокон (лен, конопля, бамбук, хлопок), которые могут быть использованы как дополнительный компонент при изготовлении нетканых композиционных материалов из синтетических волокнистых отходов.

**Методика.** Структуру волокон изучали методом оптической поляризационной микроскопии. Размерные характеристики волокон определяли методом анализа цифровых изображений с последующей статистической обработкой и графическим анализом полученных данных.

**Результаты.** Выполнен количественный сравнительный анализ поперечных размеров и распределение по этому показателю для недревесных волокон различного природного происхождения: льна, конопли, бамбука, хлопка. Установлено, что средние поперечные размеры исходных волокон льна и конопли выше, чем для волокон бамбука и хлопка при большей вариативности этого показателя и выраженной асимметрии распределения в сторону значений, больших среднего.

**Научная новизна.** На основании детального статистического анализа микроскопических изображений, установлены различия поперечных размеров недревесных волокон различного природного происхождения.

**Практическая значимость.** Полученные результаты могут быть использованы для получения нетканых композиционных материалов с прогнозируемыми свойствами.

**Ключевые слова:** микроскопия, анализ изображений, недревесные волокна, распределение, поперечный размер, нетканые материалы.

## COMPARATIVE ANALYSIS OF DIMENSIONAL CHARACTERISTICS OF NON-WOOD FIBERS OF DIFFERENT NATURE

BUDASH Y. O., KUCHERENKO E. V., PAVAN V. P., FESHCHENKO Y. V., VEREIKO O. I.

Kyiv National University of Technologies and Design

**Purpose.** Comparison of dimensional characteristics of various non-wood fibers (flax, hemp, bamboo, cotton), which can be used as an additional component in the production of non-woven composite materials from synthetic fibrous waste.

**Method.** The structure of the fibers was studied by optical polarization microscopy. The dimensional characteristics of the fibers were determined by the method of analyzing digital images, followed by statistical processing and graphical analysis of the obtained data.

**Results.** A quantitative comparative analysis of the transverse dimensions and distribution for this indicator for non-wood fibers of various natural origin: flax, hemp, bamboo, cotton. It has been established that the average transverse dimensions of the initial fibers of flax and hemp are higher than for bamboo and cotton fibers with greater variability of this index and a pronounced asymmetry of the distribution towards values greater than the average.

**Scientific novation.** Based on a detailed statistical analysis of microscopic images, differences in the transverse dimensions of non-wood fibers of different natural origin are established.

**Practical value.** The results obtained can be used to produce nonwoven composite materials with predictable properties.

**Key words:** microscopy, image analysis, non-wood fibers, distribution, transverse dimension, non-woven materials