

Ю.О. БУДАШ, Є.В. КУЧЕРЕНКО, В.П. ПЛАВАН, В.О. СОЗДАНА
Київський національний університет технологій та дизайну

ВПЛИВ ПРОЦЕСУ МЕХАНІЧНОЇ ПЕРЕРОБКИ ПРИРОДНИХ ВОЛОКОН НА ЇХ РОЗМІРНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ

В роботі визначався вплив кількості циклів прочісування на поперечні розміри та характер розподілу за цим показником природних волокон, що можуть бути використані у якості додаткового компонента під час виготовлення нетканих композиційних матеріалів з синтетичних волокнистих відходів. Показано, що збільшення числа циклів прочісування волокон льону та коноплі до 5 призводить до суттєвого зменшення їх поперечних розмірів волокон та стандартного відхилення розподілу. Методом кореляційного аналізу встановлено, що швидкість зміни середніх поперечних розмірів волокон коноплі в процесі багаторазового прочісування ~ в 2,5 разу більша ніж для волокон льону.

Ключові слова: волокнисті відходи, неткані матеріали, природні волокна, чесання, аналіз зображень.

YU. O. BUDASH, Y. V. KUCHERENKO, V. P. PLAVAN, V. O. SOZDANA
Kyiv National University of Technology and Design

INFLUENCE OF MECHANICAL PROCESSING OF NATURAL FIBERS ON THEIR DIMENSIONAL CHARACTERISTICS

The effect of the number of carding cycles on the transverse dimensions and the nature of the distribution of natural fibers that can be used as an additional component in the production of nonwoven composite materials from synthetic fibrous waste was determined. For research were used industrial designs of natural non-wood fibers of flax and hemp. For the processing of fibers used carding machine. After each combing cycle, fiber samples were taken from the receiving drum for further research. During the work, the structure of the fiber samples was studied by optical polarization microscopy. The results of microscopic studies were recorded by photographing samples with a special digital ocular nozzle. To determine the transverse dimensions of the fibers, the method of analyzing the obtained digital images in the ImageJ software package was used, followed by statistical processing and graphical analysis of the obtained data in the Statistica package. Correlation analysis of the obtained data was carried out in the CurveExpert program using the Levenberg-Marquardt algorithm (LM) to calculate nonlinear regression models. The obtained research results can be used to predict the properties of nonwoven composite materials based on synthetic fibrous waste containing a modifying component in the form of various types of natural fibers.

Keywords: fibrous waste, nonwoven materials, natural fibers, carding, image analysis.

Вступ

Розвиток сучасного виробництва волокнистих нетканих матеріалів характеризується декількома тенденціями [1–3]. Серед них можна відзначити, по-перше, широке використання природних волокон (в тому числі недеревного походження) для створення функціоналізованих волокнистих матеріалів. По-друге, використання оригінальних новітніх технологій утворення та скріплення шару волокнистого матеріалу (спанбонд, спанлейс, ейрлейд, струто та ін.). Незважаючи на це, класичний (механічний) спосіб отримання нетканих матеріалів з використанням чесальних машин як і раніше широко вживаний у промисловості. Загальний принцип цієї технології полягає в послідовному пропусканні вихідного волокнистого матеріалу через пари валків, обладнаних голкоподібною гарнітурою, в ході якого відбувається розподіл волокон по ширині робочої зони, їх змішування та певна паралелізація в напрямку розчісування [4, 5].

Використання природних волокон при виготовленні нетканих матеріалів додає складності в процес контролю їх розмірних характеристик. Це пов'язано з тим, що природні волокна мають виражену мультифібрилярну структуру з середнім поперечним розміром окремих фібрил в нанометровому діапазоні [6]. При цьому, макрофібрили, в процесі механічної взаємодії з голковою гарнітурою чесальної машини та перетворення в нетканий матеріал здатні руйнуватися в поздовжньому напрямку зі зменшенням їх розмірів. В результаті, підвищення площі контакту з іншими волокнистими компонентами впливає на такі властивості нетканого матеріалу, як сорбційна здатність, пористість, паро- та повітропроникність. Можна припустити, що характер і ступінь таких змін будуть суттєво залежати як від природи й початкових розмірних характеристик природних волокон, так і від технологічних параметрів процесу механічної переробки (тип чесальної машини, характеристика гарнітури, кількість, розводка, швидкість обертання окремих чесальних циліндрів, число циклів прочісування).

Отримані результати досліджень можуть бути використані для прогнозування фізико-механічних властивостей нетканих композиційних матеріалів на основі синтетичних волокнистих відходів [7, 8], що вміщують як модифікуючий компонент різні типи природних волокон.

Постановка завдання

Мета роботи – аналіз впливу кількості циклів прочісування на поперечні розміри та характер розподілу за цим показником природних волокон (льон, коноплі), які можуть бути використані у якості додаткового компонента під час виготовлення нетканих композиційних матеріалів з синтетичних волокнистих відходів.

Об'єкт та методи дослідження

Для досліджень були використані промислові зразки природних недеревних волокон льону та коноплі. Вихідні характеристики волокон, відповідали загальноприйнятим стандартам [9; 10].

Для переробки волокон використовували чесальну машину марки ЧБВ, обладнану трьома парами робочих та знімальних валків. Міжвалкові зазори чесальної машини для всіх зразків були незмінні та склали 0,3÷0,4 мм. Після кожного циклу прочісування, відбирали зразки волокон з приймального барабана для подальших досліджень.

Структуру зразків волокон вивчали методом оптичної поляризаційної мікроскопії (мікроскоп «Біолам С-11»). Результати мікроскопічних досліджень фіксували методом фотографування зразків спеціальною цифровою окулярною насадкою. Для визначення поперечних розмірів волокон використовували метод аналізу отриманих цифрових зображень в програмному пакеті ImageJ [11] з наступною статистичною обробкою та графічним аналізом отриманих даних в пакеті Statistica [12]. Кореляційний аналіз отриманих даних виконували в програмі «CurveExpert» з використанням алгоритму Левенберга-Марквардта (LM) [13] для розрахунку нелінійних регресійних моделей.

Результати дослідження

На рис. 1 наведені мікрофотографії в поляризованому світлі початкової структури волокон льону (рис. 1а) та її зміни при послідовних циклах механічної переробки на чесальній машині (рис. 1 б-ф). Візуальний аналіз свідчить, що в процесі прочісування відбувається поздовжнє руйнування окремих волокон зі зменшенням їх поперечних розмірів. Під час зростання кількості циклів операції цей процес стає більш вираженим.

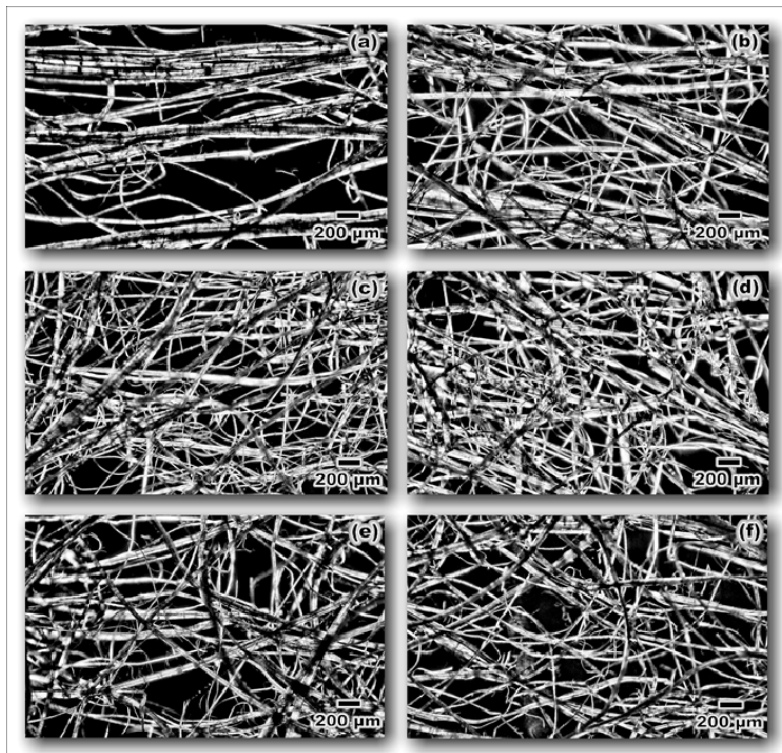


Рис. 1. Мікрофотографії в поляризованому світлі структури волокон льону при різній кількості циклів прочісування: а) вихідний зразок; б) 1; с) 2; д) 3; е) 4; ф) 5

Методом аналізу зображень було визначено кількісну зміну поперечних розмірів волокон льону в процесі багаторазового прочісування. Гістограма розподілу за поперечним розміром волокон льону при різній кількості циклів переробки наведена на рис. 2. Отримані результати свідчать, що до прочісування найбільша частка волокон (19%) має поперечні розміри від 30 до 40 мкм. При цьому їх основна частина (~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) у 2 рази вища і становить ~14%.

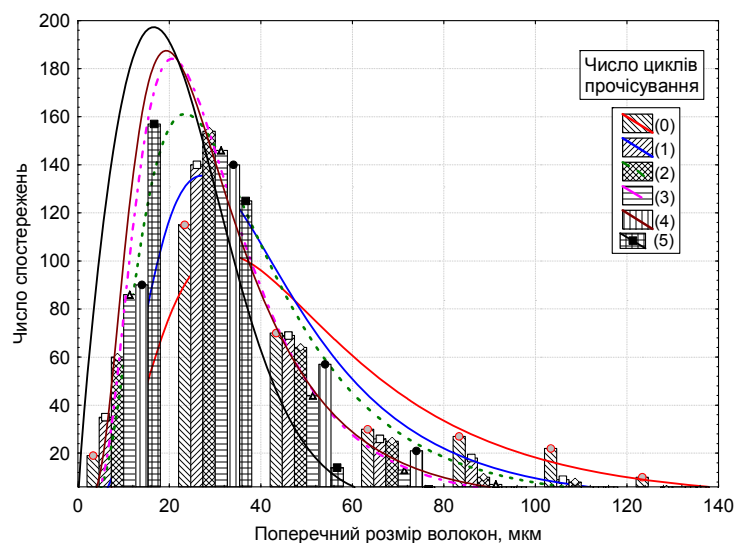


Рис. 2. Гістограми розподілу за поперечним розміром волокон льону при різній кількості циклів прочісування

Вже після 1-го циклу прочісування найбільша частка волокон (26%) відноситься до меншого діапазону розмірів (20÷30 мкм). Основна частина волокон також відноситься до інтервалу 20÷50 мкм, але її частка збільшується до 62%. Частка волокон з найменшими розмірами (< 20 мкм) зростає до 11%, в той же час частка волокон з найбільшими розмірами (> 100 мкм) приблизно у 2 рази зменшується і становить ~6%.

Збільшення циклів механічної переробки волокон льону до 5 обумовлює зсув інтервалу поперечних розмірів найбільшої (~42%) частки волокон у зразку в бік менших значень (10÷20 мкм). При цьому більше половини волокон (~52%) мають поперечні розміри < 20 мкм. Частка волокон з найменшими розмірами (< 10 мкм) становить ~10%, в той же час частка волокон з найбільшими розмірами (> 50 мкм) доволі незначна і становить ~3%.

Мікрофотографії зміни структури волокон коноплі при послідовних циклах механічної переробки на чесальній машині наведені на рис. 2. Добре видно, що як і для льону, ця операція призводить до поступового зменшення поперечних розмірів волокон за рахунок їх поздовжнього розщеплення.

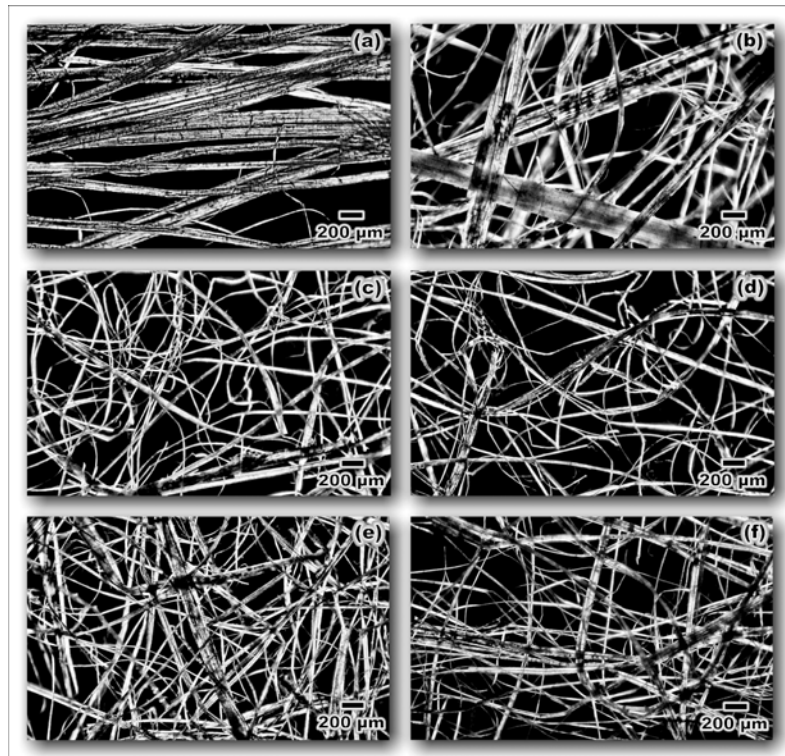


Рис. 3. Мікрофотографії в поляризованому світлі структури волокон коноплі при різній кількості циклів прочісування: а) вихідний зразок; б) 1; с) 2; д) 3; е) 4; ф) 5

Гістограми розподілу за поперечним розміром волокон коноплі при різній кількості циклів переробки наведена на рис. 3. Результати аналізу свідчать, що для початкового зразку, 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%.

Реалізація 1-го циклу прочісування волокон коноплі призводить до звуження діапазону (до 20÷30 мкм), що відповідає найбільшій (26%) частці волокон у зразку. При цьому основна маса волокон (~60%) відноситься до інтервалу 10÷40 мкм. В порівнянні з початковим зразком, різко (у 10 разів) збільшується частка волокон з найменшими (<20 мкм) розмірами (до 20%). В той же час частка волокон з найбільшими розмірами (>100 мкм) також суттєво (~ у 8 разів) зменшується (до ~5%).

Як можна бачити з гістограм, подальше збільшення циклів прочісування до 5-и, призводить до загального зсуву розподілу поперечних розмірів волокон коноплі в бік менших значень та звуження їх діапазону. Найбільша частка волокон (~37%) відноситься до інтервалу 10÷15 мкм (найменшому серед усіх досліджених зразків). При цьому більше половини волокон (~52%) відповідає інтервалу 5÷15 мкм. Частка волокон з найменшими розмірами (< 5 мкм) становить ~4%. В зразку практично відсутні (~1%) волокна з поперечними розмірами > 30 мкм.

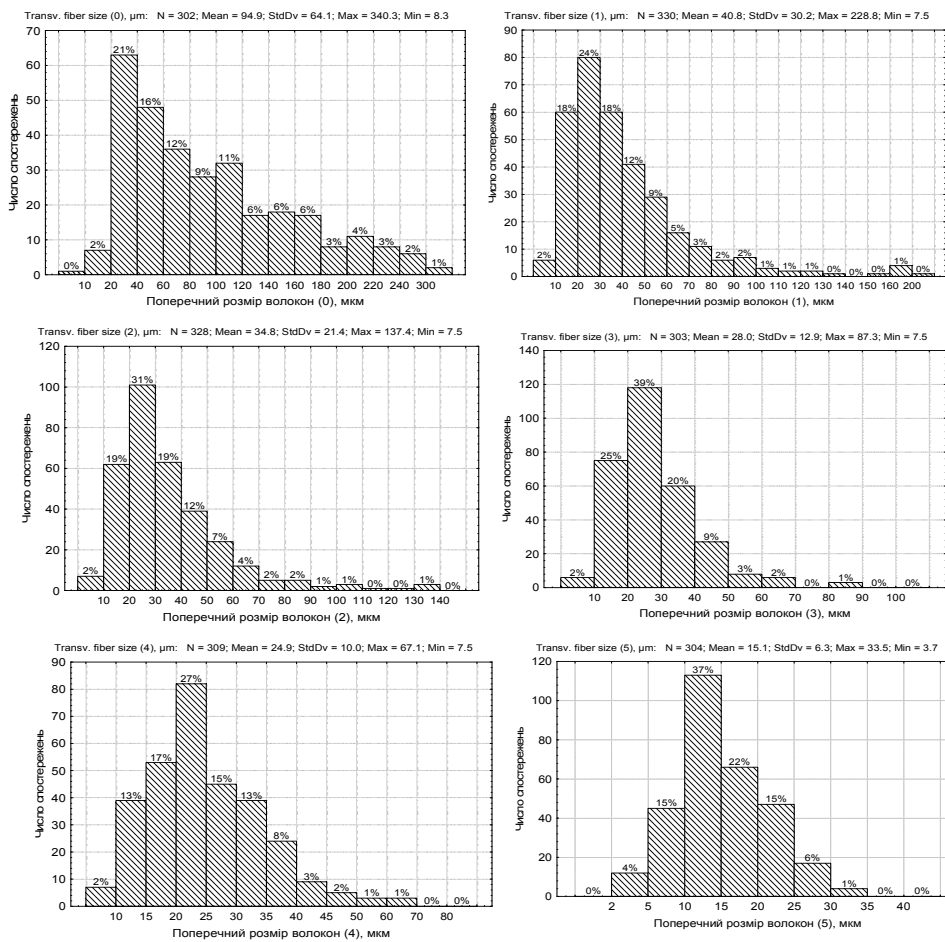


Рис. 4. Гістограми розподілу за поперечним розміром волокон коноплі при різній кількості циклів протісування: а) вихідний зразок; б) 1; с) 2; д) 3; е) 4; ф) 5

Статистичні показники результатів морфометричного аналізу поперечних розмірів волокон льону та коноплі при різній кількості циклів протісування наведені в табл. 1.

Таблиця 1

Показник	Поперечний розмір волокон (мкм) при кількості циклів протісування:											
	Льон						Коноплі					
	0	1	2	3	4	5	0	1	2	3	4	5
Число об'єктів	304	305	330	302	314	302	302	330	328	303	309	304
Середнє	56,1	44,2	39,6	32,7	31,9	22,1	94,9	40,8	34,8	28,0	24,9	15,1
Інт. -95%	52,0	40,8	36,6	30,1	29,8	20,7	87,6	37,5	32,5	26,5	23,8	14,4
Інт. +95%	60,2	47,6	42,6	35,2	34,1	23,6	102,1	44,1	37,1	29,5	26,0	15,8
Медіана	44,9	35,4	31,8	26,4	26,9	19,0	78,3	33,3	29,8	26,1	23,6	14,9
Мінімум	7,5	6,7	5,3	5,5	5,3	3,7	8,3	7,5	7,5	7,5	7,5	3,7
Максимум	230,5	218,0	210,3	198,7	137,0	105,9	340,3	228,8	137,4	87,3	67,1	33,5
Станд. відхилення	36,6	29,8	27,8	22,7	19,2	12,9	64,1	30,2	21,4	12,9	10,0	6,3
Станд. похибка	2,1	1,7	1,5	1,3	1,1	0,7	3,7	1,7	1,2	0,7	0,6	0,4

Статистичні показники даних морфометричного аналізу поперечних розмірів волокон льону та коноплі при різній кількості циклів протісування

Отримані результати свідчать, що для волокон льону, збільшення кількості циклів протісування до 5 призводить до зменшення їх середньостатистичних розмірів у 4,2 разу (з 56,2 до 22,1 мкм) при цьому стандартне відхилення зменшується ~ у 5 разів (з 56,6 до 12,9). Також відбувається звуження загального інтервалу розмірів волокон (Max/Min) з 230,5/7,5 до 137,5/3,3 мкм.

Для волокон коноплі збільшення кількості циклів протісування до 5 призводить до зменшення їх

середньостатистичних розмірів у 6,3 разу (з 94,9 до 15,1 мкм). На порядок зменшується стандартне відхилення розподілу (~ у 10,2 разу). Як і в попередньому випадку, відбувається звуження загального інтервалу розмірів волокон (Max/Min) з 340,3/8,3 до 33,5/3,7 мкм.

Результати кореляційного аналізу взаємозв'язку між середнім арифметичним значенням поперечних розмірів волокон льону та коноплі та числом циклів прочісування представлено на рис. 5.

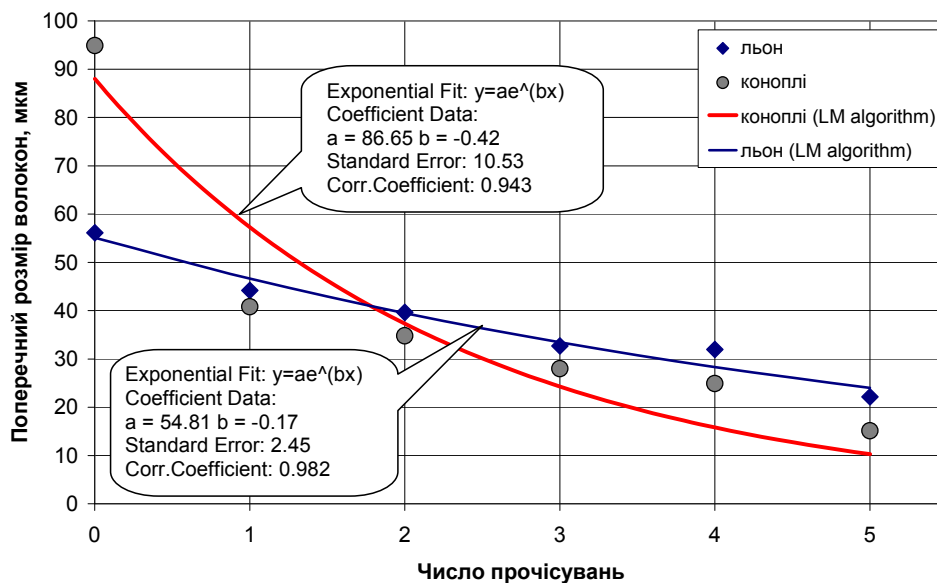


Рис. 5. Кореляційний взаємозв'язок між середнім арифметичним значенням поперечних розмірів волокон льону й коноплі та числом циклів прочісування

Можна бачити, що залежності між цими показниками носять нелінійний характер та можуть бути апроксимовані експоненціальним рівнянням виду $Y = a \cdot \exp(-bx)$ з відповідними емпіричними коефіцієнтами (наведені на рис. 5). Інтерпретуючи показник b в цьому рівнянні як константу швидкості процесу, можна стверджувати, що при збільшенні кількості прочісувань, швидкість зміни поперечних розмірів волокон коноплі ($b=0,42$) ~ в 2,5 разу більше ніж для волокон льону ($b=0,17$).

Зазвичай, початкові розмірні характеристики волокон є одним із технологічних факторів при виборі сировини для отримання нетканих матеріалів з певними властивостями. Особливістю целюлозних волокон, що пов'язана з їх фібрилярною структурною організацією, є здатність змінювати свої поздовжні та поперечні розміри в процесі переробки. Результати досліджень демонструють різну інтенсивність процесу зменшення поперечних розмірів волокон льону та коноплі при збільшенні числа циклів їх механічної переробки, що потребує врахування цього фактору при одержанні нетканих матеріалів з прогнозованими властивостями.

Висновки

1. Встановлені закономірності зміни середніх поперечних розмірів природних волокон (льон, конопля) та характеру їх розподілу залежно від числа циклів механічної переробки.
2. Показано, що збільшення числа циклів прочісування волокон льону та коноплі до 5-и призводить до зменшення поперечних розмірів волокон (у 4,2 та 6,3 разу) та стандартного відхилення розподілу (у 5 та 10,2 разу) відповідно.
3. Методом кореляційного аналізу показано, що швидкість зміни середніх поперечних розмірів волокон коноплі в процесі багаторазового прочісування ~ в 2,5 разу більша ніж для волокон льону.

Література

1. Bott R. Nonwovens for home and personal care / R. Bott. – Igarss, 2014. – P. 1–5.
2. Chapman R. A. Applications of nonwovens in technical textiles: Woodhead Publishing Series in Textiles / ed. by R. A. Chapman. – Woodhead Publishing Limited, 2010. – 226 p.
3. Резанова Н.М. Інноваційні технології хімічних волокон : навч. посіб. / Н.М. Резанова, Ю.О. Будащ, В.П. Плавач. – Київ : КНУТД, 2017. – 239 с.
4. Russell S. J. Handbook of nonwovens / S. J. Russell. – CRC Press, 2007. – 530 p.
5. Patel B.M. Nonwoven technology / B.M. Patel, D. Bhrambhatt // Textile Technology. – 2008. – P. 1–54.
6. Kozłowski R. Handbook of natural fibers: types, properties and factors affecting breeding and cultivation / R. Kozłowski / Textile Institute (Manchester, England). – Woodhead Pub, 2012. – 620 p.
7. Отримання полімерних композитів з теплозахисними властивостями на основі відходів волокнистих матеріалів. В кн: Перспективні полімерні матеріали та технології : монографія / [Кучеренко

Є.В., Будащ Ю.О., Плаван В.П., Супрун Н.П.] ; 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.

8. 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.

9. Льон тіпаний. Технічні умови. ДСТУ 4015-2001. – [Чинний від 2002-01-01]. – К. : Держспоживстандарт України, 2002. – 145, 17 с. – (Національний стандарт України).

10. Коноплі. Терміни та визначення понять. ДСТУ 4820:2007. – [Чинний від 2009-01-01]. – К. : Держспоживстандарт України, 2009. – 167, 38 с. – (Національний стандарт України).

11. Perez J. Image processing with ImageJ / Perez J., Pascau J. – Packt Publishing Ltd, 2013. – 140 p.

12. Hill T. Statistics: methods and applications: a comprehensive reference for science, industry, and data mining / Hill T., Lewicki P. – StatSoft Inc., 2006. – 832 p.

13. Moré J. J. The levenberg-marquardt algorithm: implementation and theory / J. J. Moré // Numerical Analysis. – Springer, Berlin, Heidelberg, 1978. – P. 105–116.

References

1. Bott R. Nonwovens for home and personal care / R. Bott. □ Igarss, 2014. □ R. 1–5.
2. Chapman R. A. Applications of nonwovens in technical textiles: Woodhead Publishing Series in Textiles / ed. by R. A. Chapman. – Woodhead Publishing Limited, 2010. – 226 p.
3. Rezanova N.M. Innovatsiini tekhnolohii khimichnykh volokon : navch. posib. / N.M. Rezanova, Yu.O. Budash, V.P. Plavan. – Kyiv : KNUТD, 2017. – 239 s.
4. Russell S. J. Handbook of nonwovens / S. J. Russell. □ CRC Press, 2007. □ 530 p.
5. Patel B.M. Nonwoven technology / B.M. Patel, D. Bhrambhatt // Textile Technology. □ 2008. □ P. 1–54.
6. Kozłowski R. Handbook of natural fibers: types, properties and factors affecting breeding and cultivation / R. Kozłowski / Textile Institute (Manchester, England). – Woodhead Pub, 2012. □ 620 p.
7. Otrymannia polimernykh kompozytiv z teplozakhysnymy vlastyviamy na osnovi vidkhodiv voloknystykh materialiv. V kn: Perspektyvni polimerni materialy ta tekhnolohii : monohrafiia / [Kucherenko Ye.V., Budash Yu.O., Plavan V.P., Suprun N.P.] ; ukladachi : Plavan V.P., Barsukov V.Z., Rezanova N.M., Baula O.P. ; za zah. red. V.P. Plavan. – Kyiv : KNUТD, 2015. – S. 208–211.
8. Kucherenko Ye. V. Oderzhannia ta vlastyviosti netkanykh materialiv iz voloknystykh vidkhodiv / Ye. V. Kucherenko, Yu. O. Budash, V. P. Plavan, O. I. Lytvynova // Visnyk Kyivskoho natsionalnoho universytetu tekhnolohii ta dyzainu. Tekhnichni nauky. □ 2016. □ № 4 (100). □ S. 99–106.
9. Lon tipanyi. Tekhnichni umovy. DSTU 4015-2001. □ □Chynnyi vid 2002-01-01□. □ K. : Derzhspozhyvstandart Ukrainy, 2002. □ 145, 17 s. □ (Natsionalnyi standart Ukrainy).
10. Konopli. Terminy ta vyznachennia poniat. DSTU 4820:2007. □ □Chynnyi vid 2009-01-01□. □ K. : Derzhspozhyvstandart Ukrainy, 2009. □ 167, 38 s. □ (Natsionalnyi standart Ukrainy).
11. Perez J. Image processing with ImageJ / Perez J., Pascau J. – Packt Publishing Ltd, 2013. – 140 p.
12. Hill T. Statistics: methods and applications: a comprehensive reference for science, industry, and data mining / Hill T., Lewicki P. – StatSoft Inc., 2006. – 832 p.
13. Moré J. J. The levenberg-marquardt algorithm: implementation and theory / J. J. Moré // Numerical Analysis. – Springer, Berlin, Heidelberg, 1978. – R. 105–116.

Рецензія/Peer review : 20.11.2018 р.

Надрукована/Printed : 18.12.2018 р.

Рецензент: д.т.н., проф. Слізков А.М.