

УДК 686.1.032

DOI: 10.20535/2077-7264.1(83).2024.298276

© О. М. Савченко, канд. техн. наук, доц.,  
УАД, м. Львів, Україна

## ДОСЛІДЖЕННЯ ЩІЛЬНОСТІ ФЛОКОВАНОГО ПОКРИТТЯ ПРИ ВИГОТОВЛЕННІ ПАКУВАЛЬНОЇ ПРОДУКЦІЇ

Проаналізовано актуальні дослідження в галузі електрофлокування, які торкаються різних сфер використання. Досліджено ринок флокованої пакувальної продукції і виділено її актуальні типи і види.

Виявлено чинники впливу на максимальну щільність волокон в процесі електрофлокування (кінетична енергія поступального руху волокон, їх орієнтація, в'язкість клею, час флокування). Описано залежності щільності флокованого покриття від часу флокування та орієнтації флок. На підставі аналізу результатів виявлено особливості поведінки волокон в процесі електрофлокування, доцільність додаткового контактного зарядження флок та наявність високої концентрації орієнтованих волокон.

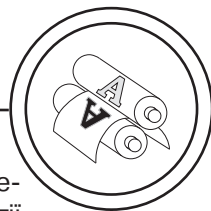
**Ключові слова:** електрофлокування; спеціальний метод друку; пакування; флок; щільність ворсового покриття.

### Постановка проблеми

Процес флокування залишається на сьогодні тільки частково мистецтвом і використовується в повсякденному вжитку, починаючи від роздрібного споживача товарів до продуктів з високотехнологічним інженерним застосуванням, що значною мірою дозволяє автоматизувати обладнання для флокування. Флокування, незалежно від форми виробу, дозволяє створювати текстильну поверхню на нетекстильних виробах і має унікальну перевагу поєднання візуально привабливих декоративних якостей з їх економічною ефективністю, забезпечуючи відмінну ціну для споживача.

Флокування надає продукції насичені кольори, пастельні відтінки, високий блиск, матове покриття з низьким чи високим коефіцієнтом тертя та інші спеціальні ефекти. Як фінішна обробка, флокування сумісне з такими способами оздоблення: тиснення, трафаретний, термотрансферний, ЗД друк тощо, для доповнення вишуканих і особливих ефектів при виготовленні пакувань. Останні досягнення в області флокування роблять його економічно доцільним в отриманні естетичних та інженерних переваг флокування без помітного збільшення кінцевої вартості продукту. І хоча існує ще багато незрозумілих аспектів

© Автор(и) 2024. Видавець КПІ ім. Ігоря Сікорського.  
CC BY 4.0 (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).



флокування, тривають подальші технологічні розробки, які збільшують обсяги і різноманітність ринку та якість флокованої продукції.

### **Аналіз попередніх досліджень**

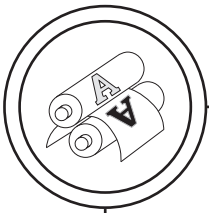
Найширша тематика досліджень технології електрофлокування спостерігається в текстильній та автомобільній промисловості. Для отримання волокнистих покриттів на шкірі авторами [1] проведено експерименти, спрямовані на покращення характеристик поверхні, з різними композиціями флоку і різними типами зв'язуючого. Результати дослідження показали, що поліуретанові клеї мають добрі зв'язувальні характеристики при виготовленні сумок, взуття, одягу та аксесуарів. У цій роботі [2] вивчалася механічна характеристика (міцність на розтягнення, розрив, відносне видовження) флокованої тканини для автомобільних сидінь за допомогою розробленої регресійної моделі, яка пояснює взаємозв'язок між формами тканини та її міцністю на розтяг і розрив.

Представлені вченими дослідження [3] оцінювання впливу модифікації поверхні бавовняних та поліефірних тканин з використанням чотирьох технологій (флокування, трафаретного, термотрансферного та 3Д друку) на їхні структурні, механічні, біофізичні та сенсорні властивості дозволили зробити висновок, що флокування суттєво зменшує повітропроникність і підвищує стійкість до водяної пари, тоді як трафаретний друк найбільше підвищує термостійкість.

Відомі доробки, які присвячені використанню даної технології в промислових цілях. У роботі [4] авторами розроблено 3D-структурований екологічно чистий парогенератор на сонячній батареї з використанням суперчорних нейлонових флокованих матеріалів. Флокована плита, виготовлена електростатичним флокуванням, демонструє надзвичайно високе сонячне поглинання (99,6%) та високу швидкість випаровування.

На сьогодні неабияке застосування дана технологія знаходить у медицині. У науковій праці [5] синтезовано автономні флоковані каркаси NFY та MF для росту клітин. Крім того, виготовлено PDMS диск, зміцнений флоком, який потенційно може використовуватися для лікування дегенеративного захворювання поперекового відділу диска. Над покращенням біохімічних та біомеханічних властивостей каркасів, створених за допомогою флок-технології для інженерії хрящової тканини працювали науковці [6]. Дослідники [7] розробили переносну вимірювальну систему електрокардіограми (ЕКГ), в якій електроди виготовили за допомогою технології електростатичного флокування на тканині.

У роботі [8] автор створив нову теорію формування ворсового покриття, а саме, сформулював траєкторію руху коротких синтетичних заряджених волокон в неоднорідному електричному полі. Використання рекомендацій цієї теорії дозволило розробити метод отримання покриттів, поверхнева щільність ворсу якого на порядок перевищує максимальні значення, які можна досягти на звичайному обладнанні.



## Мета роботи

Переважна більшість наукових досліджень з отримання флокованої продукції способом електрофлокування здійснювалась на пластиках та полімерних матеріалах різних типів, тканинах (як синтетичних, так і натуральних), а також шкірі. Актуальними є дослідження щільності флокованого покриття при виготовленні пакувальної продукції. Тому мета роботи — на основі аналізу результатів дослідження виявити особливості поведінки волокон, визначити залежність щільності ворсового покриття від часу флокування та орієнтації флоку, яка є основною характеристикою якості та споживчих властивостей флокованого пакування.

## Результати проведених досліджень

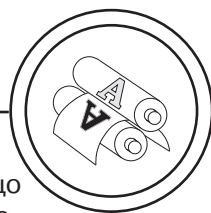
Флокування — спеціальний метод друку, який полягає у вертикальній фіксації волокнистого матеріалу (коротких волокон, отриманих шляхом подрібнення або розрізування здебільшого відпрацьованих синтетичних волокон, довжиною від 0,3 до 0,8 мм) на виробі чи основі (таких як пластик, дерево, гума, шкіра, картон, тканина тощо), покритій адгезивом. Флоковане пакування є популярним на ринку пакуваль-

ної продукції, оскільки робить його більш розкішним та висококласним, надаючи приємного оксамитового ефекту. Характеристиками таких флокованих коробок є: тривимірне відчуття, яскраві кольори, чудове і тепле реалістичне зображення, нетоксичність, термостабільність, вологостійкість, стійкість до стирання та розчинників. Аналізуючи ринок флокованої пакувальної продукції, можна виділити такі напрями: жорсткі коробки (Rigid Box), картонні і паперові подарункові коробки, паперові пакети, косметичні і парфумерні пакувальні коробки, шкатулки для коштовностей, коробки для солодоців і напоїв, коробки для ювелірних виробів (Watch Box), рекламні коробки, коробки у виді картонних тубусів, ящики для зберігання, різноманітні лотки (рис. 1). Найбільшими компаніями, що обслуговують незліченну кількість клієнтів і працюють на ринку флокованого пакування є Eastpkg (Китай), InDeco Serigrafia (Італія), УФТ (Українські Флок Технології, м. Київ) — виробник флокованих футлярів, ложементів тощо, флоку та клею для флокування [9].

Висока щільність флокованого покриття, а саме кількість волокон на одиницю поверхні матеріалу, є основною характеристикою якості та споживчих



Рис. 1. Типи флокованого пакування



властивостей ворсового матеріалу, оскільки покращує зовнішній вид, стійкість до стирання і довговічність покриття. Традиційно збільшення щільності ворсового покриття намагаються досягти шляхом підвищення якості попередньої обробки флоку, експериментальним підбором відповідного значення технологічних параметрів нанесення, а також збільшенням тривалості розташування клейової основи в зоні флокування. На жаль, усі ці спроби не призводять до суттєвого підвищення величини щільності ворсу, яка завжди набагато менша за граничні розрахункові теоретичні значення, отримані у припущенні ідеальної паралелізації волокон у напрямі, перпендикулярному до ворсової поверхні матеріалу (рис. 2, а).

Мікроскопічне дослідження (рис. 2, б) поверхні флокуваного матеріалу показує, що граничні значення обговорюваної щільності обмежуються видом фактичного кутового випадкового неупорядкованого відхилення волокон, що проникають в клейову основу, відносно поверхні покриття. У цьому розподілі завжди присутні волокна, що мають більші кути відхилення (рис. 2, в), які не

дають можливості волокнам, що підлітають, закріпитися в клейовій основі, і тим самим збільшувати щільність покриття. На максимальну щільність волокон в процесі електрофлокування впливають чинники:

- кінетична енергія поступального руху волокон;
- орієнтація волокон, яку вони набувають в електричному полі;
- в'язкість клею;
- час флокування.

Щільність флокуваного покриття в деякій мірі залежить від часу, протягом якого здійснюється флокування. На рис. 3, а можна прослідкувати спочатку швидке зростання щільності протягом перших трьох секунд (1), потім при тривалості флокування 3–5 секунд спостерігається зростання щільності покриття до максимального значення (2), а при часі флокування понад 6 секунд практично щільність залишається незмінною. Це пояснюється тим, що флок попадає на закріплені волокна в клейовому шарі і бере участь у неодноразовому перезарядженні [10].

Відомо, що розподіл ворсинок за кутом нахилу згідно закону Гауса є наближеним, оскільки нормальний розподіл передбачає

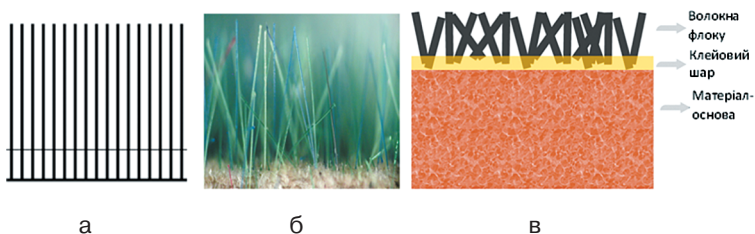
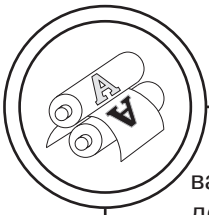


Рис. 2. Приклади орієнтації флокуваного покриття: а — ідеальна орієнтація; б — реальна орієнтація; в — мікрофотографія орієнтації капрового флоку довжиною 5 мм



варіювання по осі абсцис від  $-\infty$  до  $+\infty$ , у той час як кут нахилу ворсинок може змінюватися від  $-\pi/2$  до  $+\pi/2$  або від  $-90^\circ$  до  $+90^\circ$ , проте експериментальні дослідження підтверджують, що частка ворсинок з кутом відхилення більше  $\pi/4$  не перевищує 3–5 % (рис. 3, б). Чим менший кут нахилу волокна, тим вища щільність флокованого покриття.

Можна припустити, що зростання щільності ворсового покриття прямо пропорційне швидкості подавання волокон до поверхні матеріалу і ймовірності їх закріплення у клейовому шарі. Важливим моментом є забезпечення максимально перпендикулярної орієнтації волокон до поверхні матеріалу в початковий момент флокування.

Подавання флоку з дозатора повинно бути відрегульоване відповідно до процесу зарядження ворсинок. Надмірне подавання погіршує процес зарядження внаслідок електричної та механічної дії між волокнами і призводить до появи значної кількості неприклеєного флоку, що перешкоджає

проникненню інших ворсинок у клей. В'язкість клею впливає на товщину клейової плівки на поверхні матеріалу, глибину проникнення і кут нахилу волокон у клеї.

На підставі аналізу результатів виявлено особливості поведінки волокон:

1. Час попадання волокон на електрод залежить від провідності та в'язкості клею, а також від провідності волокон. Чим менша в'язкість і більша провідність ворсу, тим менший цей час. При досить рідкому клеї та малій швидкості подачі волокон у зону флокування всі волокна лягати-муть у клей.

2. У поведінці волокон характерний статистичний розкид. При більшій в'язкості та недостатній подачі волокон деякі з них лягають у клей. Інші, відхилившись у напрямі до клейової основи на деякий кут, залишаються в такому положенні. Треті, перезарядившись, випрямляються. Що саме відбудеться з кожним волокном конкретно, залежить від відхилень у геометрії волокон і близькості сусідніх волокон, що закріпилися.

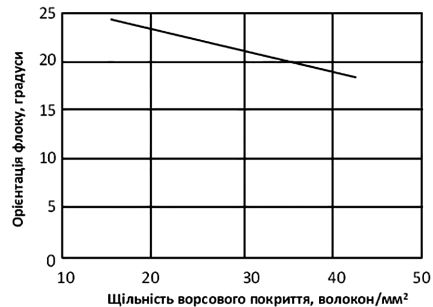
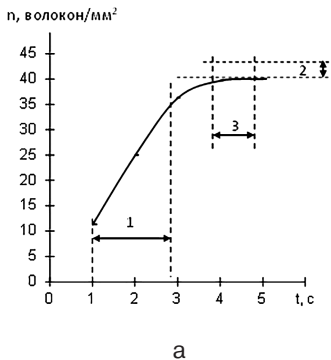
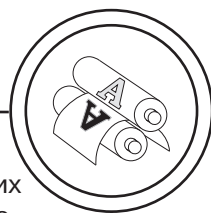


Рис. 3. Зміна щільності ворсового покриття: а — залежність щільності флокованого покриття від часу флокування; б — залежність щільності ворсового покриття від орієнтації флоку



3. Створення високої концентрації зарядженого ворсу безпосередньо у зоні флокування найважливіше у початковий момент нанесення ворсового покриття для надання волокнам кута нахилу  $90^\circ$ .

4. Доцільно забезпечити додаткове контактне зарядження флоку, наприклад, при способі «зверху вниз» на верхньому електроді, що значно збільшує надлишковий заряд на волокнах та дозволяє їм на більшу глибину проникнути у клейову основу. Під час контактного зарядження флоку волокна отримують на порядок більший і рівномірніший надлишок заряду, що позитивно впливає на щільність покриття. Механізм підзарядження закріплених волокон діє таким чином, що на волокно впливає момент сили, який повертає його в перпендикулярне положення. Середній час перезарядження волокон залежить від електропровідності волокон і клею.

5. При високій концентрації орієнтованих волокон, які направляються до клейової основи в початковий момент електрофлокування, волокна мають менші кути відхилення за час  $\tau$ , а відповідно, не є на заваді сусіднім волокнам, що одночасно заряджаються тим самим значенням заряду. Після закінчення цього часу закріплені волокна розпрямляються і формуються вільні місця

для закріплення новоприбулих волокон. Тому правомірно зробити висновок, що чим більша концентрація заряджених волокон безпосередньо в основі клею на початку електрофлокування, тим вищою має бути щільність і орієнтація волокон в кінцевому покритті.

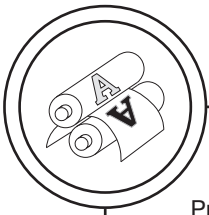
Також необхідно враховувати той момент, що на шляху до клейової основи на рухомі волокна діє взаємне кулонівське відштовхування сил, яке пропорційне концентрації заряджених волокон, що зменшує концентрацію зарядженого ворсу безпосередньо на клейовій основі.

#### Висновки

Пакувальна продукція з нанесеним флокованим покриттям має унікальний зовнішній вид, стиль і різноманітне застосування, а також високу ефективність виробництва при низьких виробничих витратах. Останні досягнення в області електрофлокування роблять його економічно доцільним в отриманні естетичних та інженерних переваг флокування без помітного збільшення кінцевої вартості продукту. В процесі проведення експериментальних досліджень виявлені найсуттєвіші чинники впливу на щільність ворсового покриття, що є основною характеристикою якості та споживчих властивостей флокованого пакування.

#### Список використаної літератури

1. Basaran B. A novel approach in leather finishing: Surface modification with flock fibers / B. Basaran, A. Yorgancioglu, E. Onem // *Textile Research Journal*. 2012. Volume 82. Issue 15. pp. 1509–1516. <http://doi.org/10.1177/0040517512449048>.
2. Bilisik K. Mechanical characterization of flocked fabric for automobile seat cover / K. Bilisik, O. Demiryurek, Y. Turhan // *Fibers and Polymers*. 2011. Volume 12. pp. 111–120. DOI:10.1007/S12221-011-0111-7.



3. Skrzetuska E. Assessment of the Impact of the Surface Modification Processes of Cotton and Polyester Fabrics with Various Techniques on Their Structural, Biophysical, Sensory, and Mechanical Properties / E. Skrzetuska, A. K. Puszkarz, J. Nosal // *Polymers*. 2022. 14(4). pp. 796–823. <http://doi.org/10.3390/polym14040796>.

4. Ce Tu. A 3D-structured Sustainable Solar-Driven Steam Generator Using Super-Black Nylon Flocking Materials / Ce Tu, Wenfu Cai, Xue Chen, Xiaolong Ouyang, Hui Zhang, Zhong Zhang // *Small*. 2019. 15(37):1902070. DOI: 10.1002/smll.201902070.

5. McCarthy Alec. Electrostatic flocking of salt-treated microfibers and nanofiber yarns for regenerative engineering / Alec McCarthy, Kossi Loic M. Avegnon, Phil A. Holubeck, Demi Brown, Anik Karan, Navatha Shree Sharma, Johnson V. John, Shelbie Weihs, Jazmin Ley, Jingwei Xie // *Materials Today Bio*. 2021. Volume 12. 100166. 16p. DOI: 10.1016/j.mtbio.2021.100166.

6. Steck E. Enhanced biochemical and biomechanical properties of scaffolds generated by flock technology for cartilage tissue engineering / E. Steck, H. Bertram, W. Richter // *Tissue Engineering. Part A: Biology, Engineering, Materials Science, Medicine*. 2010. Vol. 16. No. 12. DOI: 10.1089/ten.TEA.2009.0817.

7. Takeshita T. Relationship between Contact Pressure and Motion Artifacts in ECG Measurement with Electrostatic Flocked Electrodes Fabricated on Textile / T. Takeshita, M. Yoshida, Y. Takei and oth. // *Scientific Reports*. 2019. 9(1):5897. DOI: 10.1038/s41598-019-42027-x.

8. Shlyakhtenko P. G. Innovative Developments in Electro-Flocking Technology: An Advanced Study / P. G. Shlyakhtenko // *Current Approaches in Science and Technology Research*. 12 July 2021. Vol. 10. pp. 129–143. <http://doi.org/10.9734/bpi/castr/v10/10525D>.

9. Trümper W. Flocking. [Електронний ресурс]. Режим доступу: [https://tu-dresden.de/ing/maschinenwesen/itm/forschung/forschungsfelder/textile-prozesse/technologien-fuer-2d-und-3d-textilkonstruktionen/beflocken?set\\_language=en](https://tu-dresden.de/ing/maschinenwesen/itm/forschung/forschungsfelder/textile-prozesse/technologien-fuer-2d-und-3d-textilkonstruktionen/beflocken?set_language=en).

10. Гавенко С. Ф. Флок-технології для оздоблення друкованої продукції і паківань: монографія / [С. Гавенко, Е. Кібіркштіс, О. Савченко, Р. Рибка]. Львів-Каунас: УАД, 2009. 162 с.

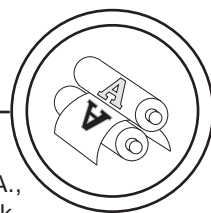
### References

1. Basaran, B., Yorgancioglu, A., & Onem, E. (2012). A novel approach in leather finishing: Surface modification with flock fibers. *Textile Research Journal*, Vol. 82, Issue 15, 1509–1516. <http://doi.org/10.1177/0040517512449048> [in English].

2. Bilisik, K., Demiryurek, O., & Turhan, Y. (2011). Mechanical characterization of flocked fabric for automobile seat cover. *Fibers and Polymers*, Vol. 12, 111–120. DOI: 10.1007/S12221-011-0111-7 [in English].

3. Skrzetuska, E., Puszkarz, A. K., & Nosal, J. (2022). Assessment of the Impact of the Surface Modification Processes of Cotton and Polyester Fabrics with Various Techniques on Their Structural, Biophysical, Sensory, and Mechanical Properties. *Polymers*, 14(4), 796–823. <http://doi.org/10.3390/polym14040796> [in English].

4. Tu, C., Cai, W., Chen, X., Ouyang, X., Zhang, & Zhong Zhang, H. (2019). A 3D-structured Sustainable Solar-Driven Steam Generator Using Super-Black Nylon Flocking Materials. *Small*, 15(37):1902070. DOI:10.1002/smll.201902070 [in English].



5. McCarthy, A., Avegnon, K. L. M., Holubeck, P. A., Brown, D., Karan, A., Sharma, N. S., John, J. V., Weihs, S., Ley, J., & Xie, J. (2021). Electrostatic flocking of salt-treated microfibers and nanofiber yarns for regenerative engineering. *Materials Today Bio*, Vol. 12, 100166, 16. DOI: 10.1016/j.mtbio.2021.100166. [in English].

6. Steck, E., Bertram, H., & Richter, W. (2010). Enhanced biochemical and biomechanical properties of scaffolds generated by flock technology for cartilage tissue engineering. *Tissue Engineering. Part A: Biology, Engineering, Materials Science, Medicine*, Vol. 16, No. 12. DOI: 10.1089/ten.TEA.2009.0817 [in English].

7. Takeshita, T., Yoshida, M., Takei, Y. and oth. (2019). Relationship between Contact Pressure and Motion Artifacts in ECG Measurement with Electrostatic Flocked Electrodes Fabricated on Textile. *Scientific Reports*, 9(1):5897. DOI: 10.1038/s41598-019-42027-x [in English].

8. Shlyakhtenko, P. G. (12 July 2021). Innovative Developments in Electro-Flocking Technology: An Advanced Study. *Current Approaches in Science and Technology Research*, Vol. 10, 129–143. <http://doi.org/10.9734/bpi/castr/v10/10525D> [in English].

9. Trümper, W. *Flocking*. Retrieved from [https://tu-dresden.de/ing/maschinenwesen/itm/forschung/forschungsfelder/textile-prozesse/technologien-fuer-2d-und-3d-textilkonstruktionen/beflocken?set\\_language=en](https://tu-dresden.de/ing/maschinenwesen/itm/forschung/forschungsfelder/textile-prozesse/technologien-fuer-2d-und-3d-textilkonstruktionen/beflocken?set_language=en) [in English].

10. Havenko, S. F., Kibirkshtis, E., Savchenko, O., & Rybka, R. (2009). *Flok-tekhnolohiyi dlya ozdoblennya drukovanoi produktsiyi i pakuvannya* [Flock technologies for decoration of printed products and packages]. Lviv-Kaunas: UAD, 162 p. [in Ukrainian].

**Current research in the field of electroflocking, which affects various fields of use, is analyzed. The market of flocked packaging products was studied and its current types and types were identified. Factors influencing the maximum density of fibers in the process of electroflocking (kinetic energy of translational movement of fibers, their orientation, viscosity of glue, time of flocking) were identified. The dependence of the density of the flocked coating on the time of flocking and the orientation of the flock is described. Based on the analysis of the results, the peculiarities of the behavior of fibers in the process of electroflocking were revealed. The feasibility of additional contact charging of the flock and the presence of a high concentration of oriented fibers were investigated.**

**Keywords: electroflocking; special method of printing; packaging; flock; pile density.**

Надійшла до редакції 09.02.24