

<https://doi.org/10.30857/2786-5371.2023.3.4>

УДК 678.65.
98.41

БУЛГАКОВ Є. С., САВЧЕНКО Б. М., ІСКАНДАРОВ Р. Ш.,
СВІСТІЛЬНИК Р. Ф., ПУШКАРЬОВ Д. В.

Київський національний університет технологій та дизайну, Україна

ЗАСТОСУВАННЯ БІОРОЗКЛАДНИХ ПОЛІМЕРІВ ПРИ ВИГОТОВЛЕННІ НЕКТАНИХ ФІЛЬТРУВАЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ

Мета дослідження. Метою даної статті є дослідження можливості отримання нетканих матеріалів з полілактиду та дослідження їх властивостей.

Методи дослідження. Неткані полімерні матеріали з поліпропілену та полілактиду отримували методом аеродинамічного розпилення розплаву на приймальний барабан (melt-blown) на лабораторній установці для виготовлення волокнистих матеріалів. Розподіл розмірів елементарних волокон за уявним діаметром досліджували шляхом програмного аналізу зображень, одержаних оптичною мікроскопією. Зображення одержувались на мікроскопі МБС-10 з застосуванням збільшення 15х. Для аналізу зображень використовувалось програмне забезпечення ImageJ зі спеціальним плагіном DiameterJ. Затримуючу здатність нетканого матеріалу оцінювали у повітряному середовищі за допомогою випробувального стенда, оснащеного лічильником аерозольних часток Temtop PMD331 (сертифіковано за ISO-21501).

Результати. Дослідним шляхом підтверджено можливість виготовлення нетканого матеріалу з полілактиду на устаткуванні, придатному для переробки поліпропілену. Досліджені параметри структури волокон та їх затримуюча здатність. Нетканий матеріал з полілактиду має на 10% нижчий середній діаметр волокон порівняно з нетканим матеріалом з поліпропілену. Неткані полімерні матеріали, виготовлені з однаковою питомою вагою, володіють подібними значеннями затримуючої здатності. Нетканий матеріал з полілактиду характеризується покращеною затримуючою здатністю та меншим середнім діаметром волокон.

Наукова новизна. Методом програмного аналізу зображення досліджено параметри структури волокон нетканих матеріалів з поліпропілену та полілактиду. Досліджено вплив розподілу діаметру волокон на затримуючу здатність матеріалів.

Практична значимість. Встановлено можливість переробки полілактиду на технологічному устаткуванні, призначеному для поліпропілену, з можливістю регулювання параметрів структури нетканого матеріалу у широких межах.

Ключові слова: неткані полімерні матеріали; полілактид; поліпропілен; аеродинамічне розпилення розплаву; затримуюча здатність.

Вступ. Неткані матеріали – це клас матеріалів, які виготовляються без використання традиційного процесу ткацтва або в'язання. Вони складаються з волокон, які зв'язані між собою за допомогою хімічних, механічних або термічних методів. У традиційному процесі ткацтва або в'язання нитки переплітаються, утворюючи структуру матеріалу. У нетканих матеріалах волокна з'єднані разом, але без застосування процесу ткання чи в'язання. Це дозволяє створювати матеріали з різною структурою, які можуть мати високу міцність, проникність повітря та води, а також інші властивості, які підходять для різних застосувань.

Неткані матеріали мають низку переваг порівняно з традиційними тканинами. Вони можуть бути легшими, міцнішими та більш гнучкими, а також володіти високими показниками водонепроникності, повітропроникності та термостійкості. Крім того, неткані матеріали доступні у різних формах та розмірах, що дозволяє використовувати їх для виробництва широкого спектру продуктів в різних галузях. Наприклад, вони не мають тканинної структури, тому не потребують складних процесів ткання або в'язання ниток. Крім того, вони є досить доступними та виготовляються з різних матеріалів, таких як поліестер, поліпропілен, нейлон, віскоза або природні волокна, що дає можливість створювати продукти різної якості та цінової категорії. Також вони є дуже легкими та гнучкими, що забезпечує

більшу універсальність використання. Неткані матеріали також мають високу проникність повітря та води, що робить їх ідеальним варіантом для використання в медичних або гігієнічних продуктах, а також для захисту від небажаних факторів зовнішнього середовища [1].

Поліпропіленові (ПП) неткані матеріали допомагають забезпечити ефективний бар'єрний захист та фільтрацію в різних медичних застосуваннях, завдяки чому стали необхідними для медичної промисловості. З їх низькою вартістю та високою ефективністю, полімерні неткані матеріали використовуються в багатьох медичних продуктах, включаючи маски для обличчя, хірургічні халати, пов'язки для ран та фільтри для медичних пристроїв [2].

Полімерні неткані матеріали є популярним вибором для виробництва хірургічних халатів завдяки їх властивостям запобігати передачі мікроорганізмів між хірургічним персоналом та пацієнтами. У науковому дослідженні, проведеному Liu et al. (2020), були порівняні бар'єрні властивості різних полімерних нетканних матеріалів, що використовуються для хірургічних халатів. Встановлено, що матеріали, які мають структуру спанбонд-мелтблаун-спанбонд (SMS), мають найвищі бар'єрні властивості та є найбільш придатними для використання у хірургічних халатах [3].

Пандемія COVID-19 зумовила широке використання масок для обличчя, а полімерні неткані матеріали знайшли застосування у їх виробництві завдяки їх високій ефективності фільтрації та повітропроникності. Дослідження, проведене Zhou et al. (2020), навіть підтвердило ефективність фільтрації поліакрилонітрилових електроволокон (PAN) на рівні понад 95%, що робить їх придатними для використання в масках для обличчя [4].

Полімерні неткані матеріали є важливою складовою у виробництві пов'язок для ран завдяки їх високій поглинальній здатності та проникності. Існують дослідження властивостей композитного нетканого матеріалу, який містив полівініловий спирт (ПВС) та хітозан, який може бути використаний як ранова пов'язка. Такий композитний матеріал має відмінні механічні властивості, може поглинати воду та навіть має антибактеріальну активність, що робить його ідеальним для використання в якості ранової пов'язки [5].

Нездатність полімерних нетканних матеріалів до біологічного розкладання призводить до проблем з накопиченням цих матеріалів на звалищах та в природному середовищі, що може мати довготривалі негативні наслідки для навколишнього середовища та екосистем. Наприклад, одне з досліджень, опубліковане у Journal of Hazardous Materials, підкреслює, що забруднення фталатами, які вимиваються з поліпропіленових нетканних мішків, може становити загрозу для здоров'я людини та довкілля. Інше дослідження, яке з'явилося в Environmental Science and Pollution Research, вказує на те, що використання поліпропіленових нетканних матеріалів у сільськогосподарських галузях може сприяти викиду мікропластику в природне середовище, що може мати негативний вплив на екосистеми та здоров'я людини [6, 7].

За останніми даними, поліпропіленові неткані матеріали є одними з найбільш поширених видів нетканних матеріалів на ринку. Згідно зі звітом, опублікованим у 2020 році, ринок поліпропіленових нетканних матеріалів в 2019 році оцінювався в 28,8 млрд доларів США і очікувалося, що він зросте до 42,6 млрд доларів США до 2025 року [8].

У цій оцінці враховувалися різні застосування поліпропіленових нетканних матеріалів, включаючи виробництво медичних та гігієнічних засобів, матеріалів для автомобільної промисловості, будівельних матеріалів та інших виробів. Хоча точна частка поліпропіленових нетканних матеріалів на ринку нетканних матеріалів залежить від багатьох факторів, вони залишаються одними з найбільш поширених та важливих компонентів на цьому ринку.

Незважаючи на свою поширеність та чисельні переваги, поліпропіленові неткані матеріали також мають свої власні глобальні проблеми, зокрема, забруднення довкілля - велика частина поліпропіленових нетканних матеріалів стає відходами після використання, і їх

недостатня утилізація може сприяти забрудненню довкілля. Якщо ці матеріали неправильно утилізуються або закопуються на сміттєзвалищах, вони можуть потрапляти до ґрунту та водних ресурсів, спричиняючи негативні наслідки для природи та морських екосистем.

Багато поліпропіленових нетканих матеріалів не можуть бути легко перероблені або рецикльовані через їх складну структуру та хімічні властивості. Це призводить до накопичення відходів і збільшення навантаження на сміттєпереробні заводи та сміттєзвалища. Недостатня інфраструктура та регулювання щодо переробки поліпропіленових нетканих матеріалів також можуть ускладнювати проблему відходів.

Виробництво поліпропіленових нетканих матеріалів потребує значних кількостей невідновлюваних ресурсів, зокрема нафти та газу. Це приводить до енергозалежності і збільшення викидів парникових газів та інших негативних ефектів на довкілля, пов'язаних з видобуванням та переробкою цих ресурсів.

Багато поліпропіленових нетканих матеріалів є недеградабельними, тобто, вони не розкладаються у природніх чи компостних умовах.

В якості біорозкладаної альтернативи поліпропіленовим нетканим матеріалам може стати полілактид (ПЛ). ПЛ – це біорозкладаний полімер, який отримують з відновлюваних джерел, таких як кукурудза, цукрова тростина, цукровий буряк та інші рослинні біомаси. Він є одним з найпоширеніших біополімерів і використовується у багатьох галузях, включаючи упаковку, текстиль, медицину та 3D-друк [9].

Однією з найважливіших переваг ПЛ є його здатність до біологічного розкладання. Під впливом вологості та мікроорганізмів в ґрунті або комерційних компостувальниках, ПЛ розкладається на природні речовини, такі як вода та вуглекислий газ. Це допомагає зменшити накопичення пластикових відходів і впливати на зниження негативного впливу на довкілля.

ПЛ виготовляється з відновлюваних ресурсів, таких як рослинна біомаса. Це зменшує залежність від неоновлюваних вуглеводневих джерел, таких як нафта, і сприяє зменшенню енергетичного відбитку та викидів парникових газів, пов'язаних з виробництвом пластику.

ПЛ має деякі властивості, схожі на традиційні пластикові матеріали. Він має високу прозорість, добру міцність і жорсткість, а також непогану бар'єрну властивість щодо газів і пари. Однак, порівняно з деякими іншими полімерами, він може бути менш стійким до високих температур та розчинників.

ПЛ використовується для упаковки харчових продуктів, виготовлення одноразових столових приборів та медичних імплантантів. Його біорозкладаність робить його більш екологічною альтернативою традиційному пластику, виготовленому з невідновлюваних ресурсів. Однак важливо зазначити, що ПЛ необхідно належним чином утилізувати на комерційному компостному підприємстві, оскільки він може не розкладатися належним чином у домашній системі компостування [10–12].

Таким чином, для зменшення екологічного впливу поліпропіленових нетканих матеріалів, можливі три шляхи: застосування біорозкладаних матеріалів замість синтетичних полімерів; використання наповнювачів на мінеральній основі для традиційних полімерів задля зменшення масової частки синтетичних нерозкладаних полімерів. Такі композиції, за достатнього вмісту наповнювача, також можуть тонути у океані замість утворення плавучих плям відходів; використання мінеральних наповнювачів для біорозкладаних полімерів задля зменшення енергетичних витрат та вартості біорозкладаних композицій.

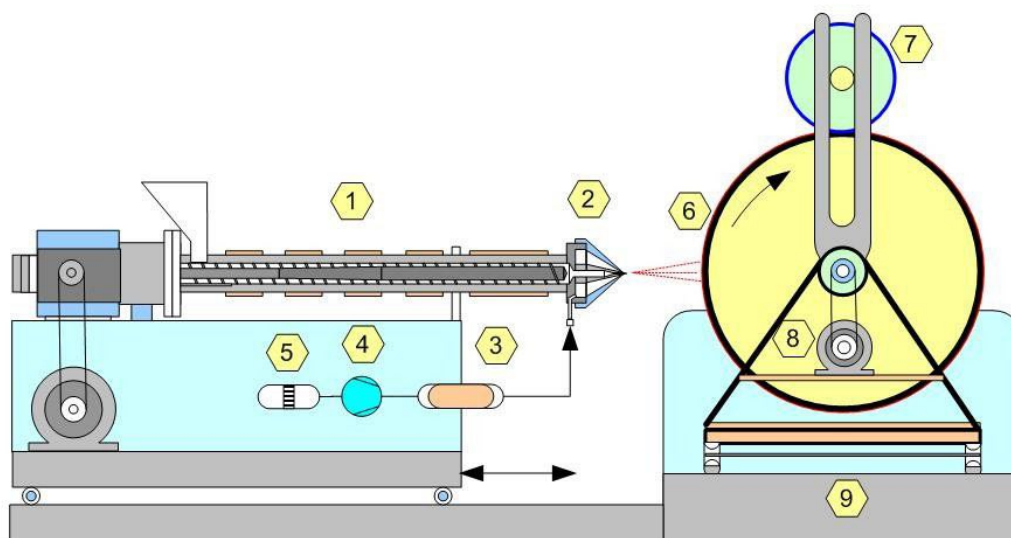
Постановка завдання. Метою даної статті є дослідження можливості отримання нетканих матеріалів з полілактиду на традиційному устаткуванні для переробки поліпропілену та визначення їх властивостей.

Вихідні матеріали та методи. В даній роботі для отримання дослідних зразків було використано поліпропілен марки PP Sabic 519A та полілактид марки Luminy PLA L130 (ТОВ «Телко Україна»).

Дослідні зразки обох нетканих матеріалів виготовлялися за методом аеродинамічного розпилення розплаву на приймальний барабан (melt-blown) на лабораторній установці для виготовлення волокнистих матеріалів (рис. 1). Установка складається з одношнекового екструдера з електронною системою керування нагрівання та приводом екструдера (1). Розплав, утворений в екструдері надходить у голівку 2, де відбувається розпилення розплаву шляхом підведення нагрітого стисненого повітря. Для розпилення використовується атмосферне повітря, котре проходить через фільтр 5 та повітродувку 4 і нагрівається у калорифері 3 до температури процесу. Струмінг розплаву полімеру, підхоплений потоком гарячого повітря, спрямовується на приймальний барабан 6, який обертається навколо своєї осі та переміщується циклічно-поступально у горизонтальній площині. Обертання та поперечне переміщення приймального барабану забезпечується приводом 8 і траверсою 9 та дозволяють рівномірно заповнити поверхню барабану напиленим полімерним матеріалом. Приймальний барабан оснащений розгладжуючим ролик 7, який ущільнює отримуваний нетканий матеріал.

Перед здійсненням переробки матеріали підлягали сушінню у сушарній шафі при температурі 60°C протягом 12 годин.

На початковій стадії досліджень було досліджено зразки фільтрувального матеріалу з одноразових захисних масок, що дозволило обрати типову питому вагу матеріалу 70 г на квадратний метр. На дослідній установці виготовлено нетканий матеріал з ПП з типовими властивостями за питомою густиною та розподілом розміру елементарних волокон. Приведена вага одиниці площі матеріалу з поліпропілену була відтворена за допомогою зміни параметрів переробки на полілактиді.



Позначки: 1 – екструдер; 2 – голова екструдера; 3 – калорифер; 4 – повітродувка; 5 – фільтр повітря; 6 – прийомний барабан; 7 – розгладжуючий барабан; 8 – привід обертання барабану; 9 – траверсний механізм для поперечного переміщення барабану

Рис. 1. Схема лабораторної установки для виготовлення волокнистих матеріалів методом розпилення розплаву

Волокноутворення в процесі аеродинамічного формування вимагає певних значень реологічних характеристик матеріалів, котрі досягаються шляхом вибору температурних параметрів переробки. Для ПП та ПЛ визначали ПТР для вихідного матеріалу та у вигляді нетканого матеріалу (табл. 1).

Таблиця 1

Властивості ПП та ПЛ

Полімерний матеріал	ПТР, г/10хв		Густина, кг/м ³
	гранула	нетканий матеріал	
ПП (230 °C; 2,16 кг)	34	86	906
ПЛ (210 °C; 2,16 кг)	21	36	1243

В процесі переробки ПП зазнає термічної та окисної деструкції, що призводить до зростання ПТР. Значення в'язкості розплаву, необхідне для формування нетканого матеріалу, досягається як вибором сировини з певним початковим значенням в'язкості розплаву, так і параметрами переробки.

Температурні режими отримання нетканих матеріалів з ПП та ПЛ наведені в таблиці 2.

Таблиця 2

Температурні режими формування нетканого матеріалу

Полімерний матеріал	Температура, °C				
	Зона 1	Зона 2	Зона 3	Зона 4 (головка екструдера)	Зона 5 (повітря)
ПП	240	290	300	280	390
ПЛ	150	190	190	230	270

Параметри переробки поліпропілену та полілактиду відрізняються температурою переробки: поліпропілен потребує вищої температури переробки (приблизно 250–300°C), порівняно з полілактидом (приблизно 190–220°C). Ця відмінність пояснюється тим, що матеріали мають різні початкові реологічні властивості.

Усі інші параметри (продуктивність, швидкість прийому на барабан, відстань від голівки екструдера до барабану, витрата повітря, тощо) були однаковими для обох матеріалів (табл. 3).

Таблиця 3

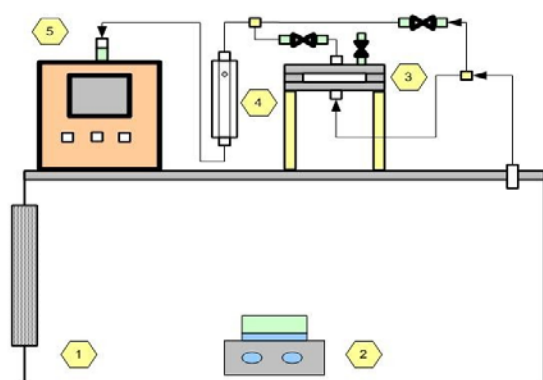
Технологічні параметри переробки

Технологічні параметри	Значення	
	ПП	ПЛ
Питома вага нетканого матеріалу, г/м ²	70	70
Швидкість обертання шнеку, Гц	5	5
Продуктивність, г/год	81	98
Витрата повітря, м ³ /с	3,3	3,3
Відстань до прийомного барабану, см	10	10
Швидкість прийому на барабан, м/с	0,264	0,264
Умовна товщина зразку, мкм	380	311

Отримані неткані матеріали аналізували щодо розподілу розмірів елементарних волокон за уявним діаметром шляхом програмного аналізу зображень, одержаних оптичною мікроскопією. Зображення одержувались на мікроскопі МБС-10 з застосуванням збільшення 15х. Мікроскоп оснащувався електронною камерою, що вмонтовано замість окуляра, для отримання цифрового зображення. Чорно-білі зображення, отримані таким чином, зберігалися у форматі 8-бітного зображення формату .tif. Для аналізу зображень використовувалось програмне забезпечення ImageJ [13], що вільно розповсюджується та широко використовується. Програмне забезпечення використовує спеціальний плагін DiameterJ, котрий перетворює та ідентифікує видиму проекцію волокна на зображенні як значення

умовного діаметра волокна, вважаючи, що воно є умовно циліндричним. Для коректного перетворення масштабу зображення у розмірні характеристики волокна здійснювали калібрування оптичної системи за допомогою об'єктного мікрометра. Значення шкали мікрометра перераховували у масштаб пікселів зображення через вбудовану функцію програмного забезпечення.

Затримуюча здатність нетканого матеріалу оцінювалась у повітряному середовищі за допомогою випробувального стенда (рис. 2), який складався з лічильника аерозольних часток Temtop PMD331 (сертифіковано за ISO-21501), повітряного ротаметра РМ-0,4 ГУЗ та випробувальної комірки Millipore YY3009000 Filter Holder.



а



б

Позначки: а – загальна схема: 1 – камера з модельним середовищем; 2 – джерело аерозольних частинок, ультразвуковий атомізатор та розчин хлориду натрію; 3 – комірка-тримач досліджуваного зразка; 4 – ротаметр; 5 – лічильник частинок; б – фото, вимірювальна частина стенду.

Рис. 2. Випробувальний стенд для вимірювання затримуючої здатності у повітрі

Лічильник часток оснащений вбудованим повітряним компресором з витратою повітря 2,83 л/хв. В потоці повітря встановлено ротаметр, що вимірює витрату повітря при встановленні фільтру у комірку, з метою врахування гідравлічного опору фільтраційного елемента. Повітря до лічильника часток може проходити через комірку з зразком фільтрувального матеріалу або через обхідний канал з камери з модельним середовищем. Здійснювалось вимірювання вмісту аерозольних часток модельного середовища на установці спочатку без фільтраційного елемента в комірці, а потім з фільтраційним елементом з дослідного нетканого матеріалу. Модельне середовище створювалось шляхом розпилення ультразвуковим атомізатором 2% розчину хлориду натрію у дистильованій воді. Лічильник аерозольних частинок має 7 каналів вимірювання розміру частинок (0,3–0,5–0,7–1,0–2,5–5,0–10,0 мкм) і вимірює кількість частинок в 1 л робочого середовища в кожному діапазоні. Затримуюча здатність визначається для кожного діапазону розміру частинок у % відносно вихідного повітря. Проводилось 5 паралельних вимірювань та визначалось середнє арифметичне отриманих значень.

Результати дослідження. Неткані матеріали, одержані розпиленням розплаву на приймальний барабан, з однаковою питомою вагою одиниці площі, були досліджені за допомогою оптичної мікроскопії з подальшим програмним аналізом зображення (рис. 3).

Параметри структури матеріалу включають розподіл видимого перерізу волокна (діаметр), кількість перехрещень волокон на одиницю площі та параметри виявлених порожнин – середня площа порожнин та відсоток площі порожнин у одиниці площі поверхні (табл. 3).

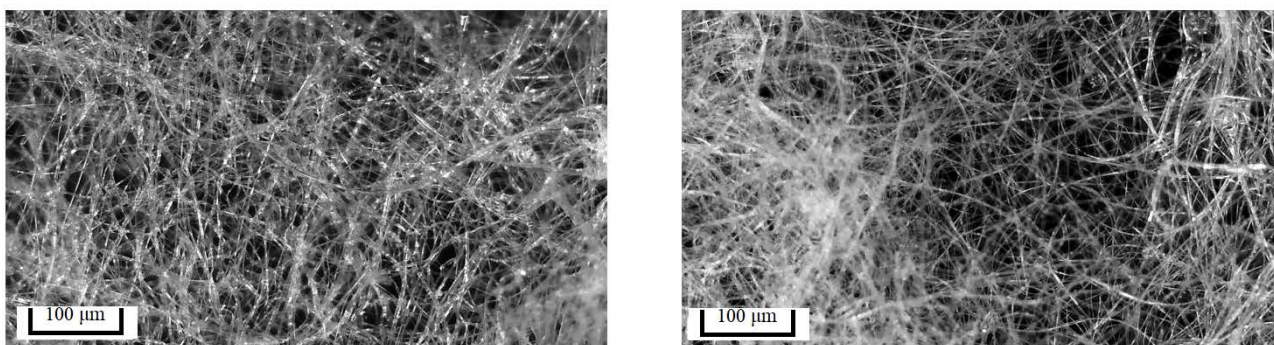


Рис. 3. Зображення нетканого матеріалу з поліпропілену (ліворуч) та полілактиду (праворуч) отримані на мікроскопі МБС-10 з кратністю 15х

Таблиця 3

Параметри структури нетканого матеріалу

Матеріал	Властивості				
	Середній діаметр волокна, мкм	Медіанний діаметр волокна, мкм	Середня площа порожнин, мкм ²	Питома площа порожнин, %	Кількість перехресть волокон, шт/мм ²
ПП	6,28	7,88	51	0,09	3340
ПЛ	5,56	7,67	50	0,11	3990

Одержані результати вказують, що за приблизно однакового медіанного діаметру волокон, нетканий матеріал з ПЛ має менший середній діаметр волокон, в той час як кількість перехрещень волокон зростає майже на 20%, що зумовлює дещо меншу середню площу пор та вищу ефективність при фільтрації дрібних частинок. Слід зазначити, що густина вихідного поліпропілену (0,915 г/см³) значно менша за полілактид (1,240 г/см³), що може бути причиною меншого діаметру волокон для полілактиду при однаковій питомій вазі нетканих матеріалів.

Неткані матеріали з полілактиду також відрізняються вищою затримуючою здатністю порівняно з поліпропіленом при подібному діаметрі волокна (табл. 4).

Таблиця 4

Затримуюча здатність досліджуваних нетканих матеріалів

Матеріал	Затримуюча здатність, % (для діапазону вимірювання)						
	0,3 мкм	0,5 мкм	0,7 мкм	1,0 мкм	2,5 мкм	5,0 мкм	10,0 мкм
ПП	46,84	53,30	73,06	88,05	95,96	98,91	100,00
ПЛ	55,33	63,43	80,47	90,94	98,00	100,00	100,00

Можна зробити припущення, що умовний діаметр волокна досліджених нетканих матеріалів є ключовим фактором, що визначає ефективність їх затримуючої здатності.

Параметри розподілу умовного діаметру відрізняються для поліпропіленових та полілактидних нетканих матеріалів (рис. 4).

Поліпропіленові волокна мають більш однорідний розмір та вузький розподіл діаметрів волокон, тоді як волокна з полілактиду мають більше перетинів на одиницю площі, що зменшує площу пор. Параметри аеродинамічного формування спричиняють вплив на форму та розмір волокон, що має значення для параметрів ефективності фільтрації та інших властивостей нетканих матеріалів.

Якість затримання частинок нетканими матеріалами суттєво залежить від параметрів процесу виробництва, і використання різних параметрів, таких як температура і тиск повітря, можуть суттєво вплинути на властивості матеріалу. В реальних виробничих умовах необхідне постійне тестування параметрів затримуючої здатності та знаходження їх кореляції від певних

режимів виробництва. Зразки нетканих матеріалів, одержані в даній роботі, виготовлені в максимально подібних умовах виробництва, але з суттєво різних полімерних матеріалів, особливо за реологічними властивостями.

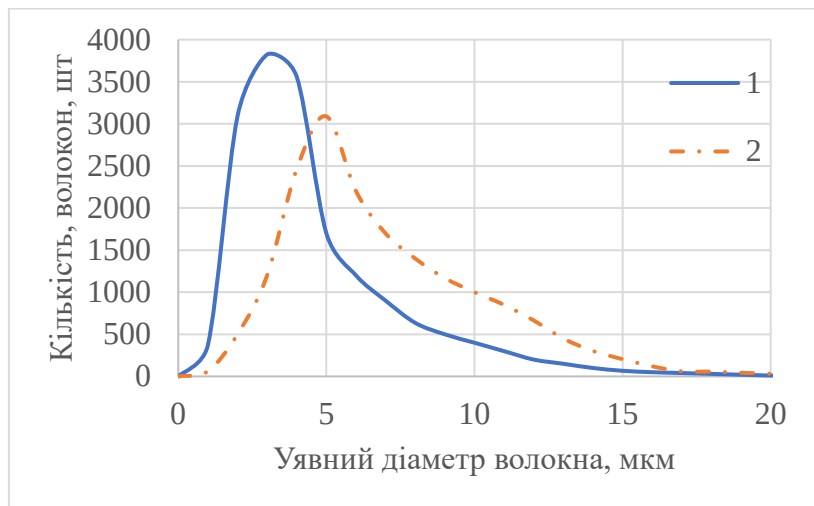


Рис. 4. Крива розподілу умовного діаметру волокон в отриманому нетканому матеріалі:
1 – полілактид; 2 – поліпропілен

Висновки. Встановлено, що на технологічному обладнанні, призначеному для переробки поліпропілену, можлива успішна переробка полілактиду та одержання нетканого матеріалу з аналогічними параметрами ваги одиниці площі.

Досліджено параметри розподілу умовного діаметру волокон поліпропілену та полілактиду, одержаних в подібних технологічних параметрах формування.

Досліджено параметри затримуючої здатності у повітряному середовищі, які вказують на можливість застосування полілактидних нетканих матеріалів у сферах застосування, притаманних поліпропіленовим матеріалам.

Затримуюча здатність нетканого матеріалу з поліпропілену становить 46% а для полілактиду 55% для діапазону часток 0,3 мкр.

Нетканий матеріал, виготовлений з полілактиду, що володіє однаковою з поліпропіленовим матеріалом питомою вагою, володіє аналогічною затримуючою здатністю та меншим значенням умовного діаметру волокон. При цьому густина вихідного полімеру у полілактиду значно вища. Даний висновок важливий з точки зору вартості сировини.

Полілактид відноситься до біорозкладаних та ком постованих полімерів, що зумовлює екологічність нетканих матеріалів на його основі. Дослідження біологічного розкладу одержаних матеріалів буде здійснене у наступних дослідженнях. В ході подальших досліджень планується дослідити властивості нетканих матеріалів з композитів на основі поліпропілену та полілактиду.

References

1. Russell, S. J., Chick, W. L., Ward, A. B. (2007). Handbook of Nonwovens. Woodhead Publishing Limited, January 1, 2007. ISBN: 978-1-84569-014-1.
2. Beloshenko, V. A., Chishko, V. V., Plavan, V. P., Rezanova, N. M., Savchenko, B. M., Sova, N. V., Vozniak, I. (2021). Production of filter material from polypropylene/copolyamide blend by fused deposition modeling: role of production conditions and ZrO₂ nanoparticles. *3D Printing and Additive*

Література

1. Russell S. J., Chick W. L., and Ward A. B. Handbook of Nonwovens. Woodhead Publishing Limited, January 1, 2007. ISBN: 978-1-84569-014-1.
2. Beloshenko V. A., Chishko V. V., Plavan V. P., Rezanova N. M., Savchenko B. M., Sova N. V., Vozniak I. Production of filter material from polypropylene/copolyamide blend by fused deposition modeling: role of production conditions and ZrO₂ nanoparticles. *3D Printing and Additive*

- Manufacturing, 8(4), P. 253–262. DOI: 10.1089/3dp.2020.0073.
3. Liu, Y., Liu, L., Mao, Z., Zhang, L., Yang, J. (2020). Barrier performance of non-woven and composite surgical gown materials. *Journal of Materials Science: Materials in Medicine*, 31(8), 70. DOI: 10.1007/s10856-020-06403-7.
4. Zhou, H., Fan, H., Li, J., Huang, A., Yan, J., Chen, Y. (2020). A review on nanofibers in electrospinning and their applications in biomedical engineering. *Journal of Materials Chemistry B*, 8(40), 9075–9104. DOI: 10.1039/D0TB01929F.
5. Liu, X., Zhou, Z., Lu, Q., Zhang, L., Shi, Y., Wang, J. (2020). Development and characterization of composite nonwoven materials made of polyvinyl alcohol and chitosan for wound dressing. *Journal of Applied Polymer Science*, 136(27), 47660. DOI: 10.1002/app.47660.
6. Santana-Viera, S., Santana-Rodríguez, J. J., Vega-Moreno, D. (2020). Leaching of phthalates from polypropylene nonwoven bags: A potential risk to human health and the environment. *Journal of hazardous materials*, 368, 819–826. DOI: 10.1016/j.jhazmat.2019.01.049.
7. Nizzetto, L., Futter, M., Langaas, S. (2019). Are agricultural soils dumps for microplastics of urban origin? *Environmental Science and Pollution Research*, 26(16), 16190–16194. DOI: 10.1007/s11356-019-04860-x.
8. Polypropylene Nonwoven Fabric Market Size, Share & Trends Analysis Report By Application (Hygiene, Industrial, Medical, Construction), By Region (APAC, North America, Europe), And Segment Forecasts, 2020. 20(27).
9. Smith, J., Johnson, A., Anderson, B. (2021). Investigation of Mechanical Properties and Degradation Behavior of Polylactic Acid Composites. *Journal of Materials Science*, 45(2), 123–135. DOI: 10.1008/s11357-018-05861-x.
10. Bulhakov, Y., Savchenko, B., Slieptsov, A., Sova, N. (2022). Nonwoven filtering materials from degradable and filled polymers. *Advanced polymer materials and technologies: recent trends and current priorities: multi-authored monograph*. Edited by V. Levytskyi, V. Plavan, V. Skorokhoda, V. Khomenko. Lviv: Lviv Polytechnic National University. P. 142–146.
11. Savchenko, B. M., Slepsov, O. O., Bulhakov, Y. S. (2023). Stvorennia kompozytsiinykh netkanykh polimernykh materialiv [Creating composite nonwoven polymer materials]. *Kompozytsiini materialy: monohrafiia za materialamy XII Mizhnarodnoi naukovo-praktychnoi WEB-konferentsii = Composite Materials: Monograph*
- Manufacturing. 2021. 8(4). P. 253–262. DOI: 10.1089/3dp.2020.0073.
3. Liu Y., Liu L., Mao Z., Zhang L., Yang J. Barrier performance of non-woven and composite surgical gown materials. *Journal of Materials Science: Materials in Medicine*. 2020. 31(8). 70. DOI: 10.1007/s10856-020-06403-7.
4. Zhou H., Fan H., Li J., Huang A., Yan J., Chen Y. A review on nanofibers in electrospinning and their applications in biomedical engineering. *Journal of Materials Chemistry B*. 2020. 8(40). 9075–9104. DOI: 10.1039/D0TB01929F.
5. Liu X., Zhou Z., Lu Q., Zhang L., Shi Y., Wang J. Development and characterization of composite nonwoven materials made of polyvinyl alcohol and chitosan for wound dressing. *Journal of Applied Polymer Science*. 2020. 136(27). 47660. DOI: 10.1002/app.47660.
6. Santana-Viera S., Santana-Rodríguez J. J., Vega-Moreno D. Leaching of phthalates from polypropylene nonwoven bags: A potential risk to human health and the environment. *Journal of hazardous materials*. 2020. 368. 819–826. DOI: 10.1016/j.jhazmat.2019.01.049.
7. Nizzetto L., Futter M., Langaas S. Are agricultural soils dumps for microplastics of urban origin? *Environmental Science and Pollution Research*. 2019. 26(16). 16190–16194. DOI: 10.1007/s11356-019-04860-x.
8. Polypropylene Nonwoven Fabric Market Size, Share & Trends Analysis Report By Application (Hygiene, Industrial, Medical, Construction), By Region (APAC, North America, Europe), And Segment Forecasts, 2020. 20(27).
9. Smith J., Johnson A., Anderson B. Investigation of Mechanical Properties and Degradation Behavior of Polylactic Acid Composites. *Journal of Materials Science*ю 2021. 45(2). 123–135. DOI: 10.1008/s11357-018-05861-x.
10. Bulhakov Y., Savchenko B., Slieptsov A., Sova N. Nonwoven filtering materials from degradable and filled polymers. *Advanced polymer materials and technologies: recent trends and current priorities: multi-authored monograph*. Edited by V. Levytskyi, V. Plavan, V. Skorokhoda, V. Khomenko. Lviv: Lviv Polytechnic National University, 2022. P. 142–146.
11. Савченко Б. М., Слепцов О. О., Булгаков Є. С. Створення композиційних нетканих полімерних матеріалів. *Композиційні матеріали: монографія за матеріалами XII Міжнародної науково-практичної WEB-конференції*. Львів; Торунь: Liha-Pres, 2023. С. 77–79.

based on the materials of the 12th International Scientific-Practical WEB Conference. Lviv; Torun: Liha-Pres. P. 77–79 [in Ukrainian].

12. Savchenko, B. M., Slepsov, O. O., Bulhakov, Ye. S., Pedchenko, R. R. (2023). Stvorennia netkanykh materialiv na osnovi polimernykh kompozytiv [Creation of nonwoven materials based on polymer composites]. *Kompleksne zabezpechennia yakosti tekhnolohichnykh protsesiv ta system (KZIaTPS–2023): materialy tez dopovidei XIII Mizhnarodnoi naukovo-praktychnoi konferentsii = Complex Quality Assurance of Technological Processes and Systems (CQATPS-2023): Abstracts of the 13th International Scientific-Practical Conference*. Chernihiv: Chernihiv Polytechnic National University. Vol. 1. P. 340 [in Ukrainian].

13. ImageJ. URL: <https://imagej.nih.gov>.

12. Савченко Б. М., Слєпцов О. О., Булгаков Є. С., Педченко Р. Р. Створення нетканих матеріалів на основі полімерних композитів. *Комплексне забезпечення якості технологічних процесів та систем (КЗЯТПС–2023): матеріали тез доповідей XIII Міжнародної науково-практичної конференції*. Чернігів: НУ «Чернігівська політехніка», 2023. Т. 1. С. 340.

13. ImageJ. URL: <https://imagej.nih.gov>.

BULHAKOV YEVHENII

postgraduate student

Department of Chemical Technologies and Resource Saving of the Kyiv National University of Technologies and Design, Ukraine

E-mail: Yevhenii.bulhakov97@gmail.com

SAVCHENKO BOHDAN

Doctor of Technical Sciences, Professor

Department of Chemical Technologies and Resource Saving of the Kyiv National University of Technologies and Design, Ukraine

<https://orcid.org/0000-0002-8636-5734>

Scopus Author ID: 56685269800

E-mail: 1079@ukr.net

ISKANDAROV RUSLAN

Researcher

Department of Chemical Technologies and Resource Saving of the Kyiv National University of Technologies and Design, Ukraine

Scopus Author ID: 57211611052

E-mail: iskandarov.r.sh@gmail.com

SVISTILNIK ROMAN

postgraduate student

Department of Chemical Technologies and Resource Saving of the Kyiv National University of Technologies and Design, Ukraine

<https://orcid.org/0009-0002-2701-0092>

E-mail: romchigo@gmail.com

PUSHKAROV DENYS

postgraduate student

Department of Chemical Technologies and Resource Saving of the Kyiv National University of Technologies and Design, Ukraine

<https://orcid.org/0009-0006-0855-7403>

E-mail: global23412@gmail.com

BULHAKOV Ye. S., SAVCHENKO B. M., ISKANDAROV R. Sh.,

SVISTILNIK R. F., PUSHKAROV D. V.

Kyiv National University of Technologies and Design, Ukraine

APPLICATION OF BIODEGRADABLE POLYMERS IN THE MANUFACTURE OF NONWOVEN FILTER MATERIALS

Purpose. The purpose of this article is to investigate the possibility of obtaining nonwoven materials from polylactic acid and to examine their properties.

Methodology. Nonwoven polymer materials from polypropylene and polylactic acid was produced on a laboratory setup using the melt-blown method, which involves aerodynamic spraying of the melt onto a receiving drum. The size distribution of the elementary fibers based on their apparent diameter was analyzed through software analysis of images captured by optical microscopy. The images were obtained using a optical

microscope with a digital camera attached. ImageJ software with the specialized DiameterJ plugin was used for image analysis. The filtration efficiency of the nonwoven material was evaluated in an air environment using a testing stand equipped with a Temtop PMD331 aerosol particle counter (certified according to ISO-21501).

Findings. The possibility of manufacturing nonwoven material from polylactic acid on equipment suitable for polypropylene processing has been experimentally confirmed. The parameters of fiber structure and their filtration efficiency were investigated. The nonwoven material with same square weight from polylactic acid has a 10% lower average fiber diameter compared to the nonwoven material from polypropylene. Nonwoven polymer materials manufactured with the same square weight exhibit similar filtration efficiency values. The nonwoven material from polylactic acid is characterized by improved filtration efficiency and a smaller average fiber diameter. Nonwoven material produced from polylactic acid can be used as potential biodegradable replacement of polypropylene based on material structure and filtration performance.

Originality. The parameters of fiber structure in nonwoven materials made from polypropylene and polylactic acid were investigated using image analysis software. The influence of fiber diameter distribution on the filtration efficiency of the materials was studied.

Practical value. The feasibility of processing polylactic acid on equipment designed for polypropylene, with the ability to adjust the parameters of the nonwoven material structure within wide ranges, has been established. Equipment designed for polypropylene polymer is well suitable for processing polylactic acid with different temperature settings

Keywords: nonwoven polymer materials; polylactic acid; polypropylene; melt-blown; filtration efficiency.