

УДК 677.014.5/6

ГЕЙЧУК О.В., ШЕВЧУК М.В., ПОЛОСУХІНА А.І.,  
САВЧЕНКО Б.М.

Київський національний університет технологій та дизайну

### ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ МІНЕРАЛЬНИХ НАПОВНЮВАЧІВ НА НЕТКАНИЙ МАТЕРІАЛ

**Мета.** Розробка методу одержання нетканих виробів методом "Meltblown" на основі поліпропілену (ПП) із різною концентрацією мінерального наповнювача.

**Методика.** Зразки нетканого матеріалу з композитних сумішей було отримано методом "Meltblown". Властивості одержаних зразків були досліджені на визначення реологічних характеристик - показника текучості розплаву (ПТР), механічних показників та морфологію, методом растрової електронної мікроскопії.

**Результати.** Показано можливість створення нетканих матеріалів на основі ПП з різними концентраціями мінерального наповнювача. Встановлено, що при введенні мінерального наповнювача межах від 5% до 10%, видовження при розриві зменшується межах від 30% до 18%. З введенням мінерального наповнювача середній діаметр волокон збільшується від 14,29 мкм до 22,72 мкм. Отримані результати можуть бути використані для подальшого дослідження фільтрувальних властивостей нетканого матеріалу.

**Наукова новизна.** Досліджено спосіб модифікації нетканих матеріалів, шляхом заміни органічної складової мінеральним наповнювачем, що сприяє покращенню екологічних властивостей кінцевого виробу і не змінює характеристик нетканого матеріалу.

**Практична значимість.** Отримані неткані матеріали з мінеральними наповнювачами можуть бути використані як фільтруючий матеріал для очистки води або повітря зі спеціальним ступенем чистоти.

**Ключові слова:** метод аеродинамічного формування, неткані матеріали, мінеральні наповнювачі, кальцит.

**Вступ.** Неткані матеріали – це матеріали з сітчасто – волокнистою полімерною структурою, волокна з'єднані між собою під дією різних фізико-механічних чи фізико-хімічних процесів. Розуміння терміну "нетканый матеріал" виникло більш ніж півстоліття тому, коли неткані вироби розпочали використовувати в якості більш дешевої заміни традиційним текстильним матеріалам. В теперішній час неткані матеріали є найбільш важливою складовою текстильної промисловості, внаслідок значної функціональності, специфічних властивостей і легкості виробництва. Найбільшу популярність у промисловості займають неткані метріали виготовленні з поліолефінів.

Поліолефіни – це високомолекулярні сполуки, що утворюються під час полімеризації ненасичених вуглеводів. Найчастіше неткані матеріали виробляють з поліпропілену (ПП). Неткані вироби з поліпропілену є міцні, екологічно чисті і антиалергенними матеріалам. Пропускна здатність нетканих матеріалів, стійкість до корозії, міцність тонкого матеріалу, а також хімічна нейтральність, сприяє широкому використанню його у якості фільтрувальних матеріалів. Неткані ПП фільтрувальні вироби широко використовуються як у промислових цілях (очищення стоків підприємства і фільтрація викидів у атмосферу), так і в господарстві (очищення водопровідної води).

Існує безліч різних методів переробки пластмас в неткані вироби. Основною відзнакою всіх методів полягає у постобробці волокон, в залежності від потрібних

властивостей кінцевого матеріалу. Серед багатьох різновидів виробництва виділяють два найбільш поширених методи - “Spunbond” і “Meltblown”.

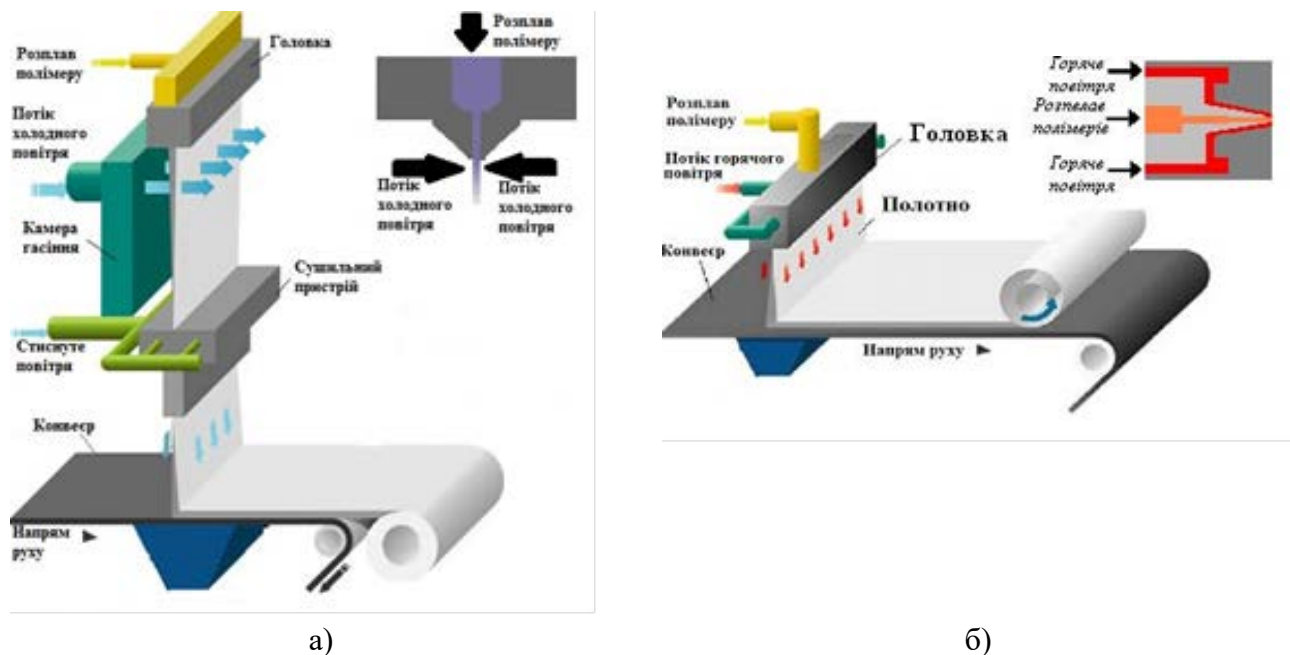


Рис. 1. Метод “Spunbond” (а) та метод “Meltblown” (б)

Метод “Spunbond” – це технологія виробництва нетканого матеріалу з розплаву полімеру фільтрним способом (рис. 1, а). Під час виробництва нетканих матеріалів розплав полімеру виділяється через фільтри у вигляді тонких безперервних волокон, які потім витягуються в повітряному потоці, вкладаючись на рухомий транспортер, утворюють полотно. Після формування волокна піддаються додатковій обробці – термосклеюванню.

Метод “Meltblown” – цей метод передбачає формування волокнистих полотен шляхом екструзії розплаву полімеру через отвір формуючої фільтри за допомогою потоку горячого повітря (як правило, температура повітря і температура розплаву однакові), безпосередньо на транспортерну стрічку або на іншу прийомну поверхню (рис. 1, б). Метод “Meltblown” є одним з найсучасніших методів формування нетканих полотен. Цей процес є надзвичайно технологічним, і може бути використаний для майже всіх різновидів полімерів. Відмінністю технології “Meltblown” від “Spunbond” є те, що волокна при фільтрно-роздувному способі отримання нетканих матеріалів, після осадження на приймально-транспортувальну поверхню волокна самосклеюються за рахунок липкості горячого полімеру, що виключає необхідність в додатковому скріпленні. Технологія “Meltblown” дозволяє отримувати неткані матеріали з найбільш тонкими волокнами і їх рівномірним розташуванням в полотні. Ці характеристики надають матеріалу високі фільтраційні і абсорбційні характеристики.

**Методика.** Динамічний розвиток нетканих матеріалів зумовлений широкою гаммою різновидів полімерів і їх модифікацій. Використання композитних сумішей є одним із можливих способів модифікації кінцевого полотна. Введення наповнювача в матрицю ПП полімеру стало можливим завдяки розвитку технології компандування.

Ведення мінерального наповнювача у полімерну основу нетканих виробів може бути здійснено способом модифікації волокон. Існує великий асортимент мінеральних наповнювачів: кальцид, тальк, цеоліт, діоксин титану та інші. Для виробництва нетканих матеріалів наповнювач повинен володіти високими дисперсними властивостями і містити мінімальну кількість великих частинок.

Метою роботи є розробка методу одержання нетканих виробів методом “Meltblown” на основі ПП із різною концентрацією мінерального наповнювача.

Для проведення дослідження використовувався ПП Nipolen P марки ТМ 2G, мікродисперсний концентрат кальцита (КК) “ТОВ НПК «РеалПакс»”, вироблений з Омуа Carb 1Т на основі ПП, та поліпропілен октен блоксополімер еластомер ExxonMobil Vistamaxx марки 6202.

**Результати та обговорення.** Для отримання зразків нетканих матеріалів було використано технологію “Meltblown”, що передбачає отримання нетканого матеріалу з використанням одношнекового екструдера ( $D = 25$  мм.,  $L/D = 32$ ), приймального барабану, повітряного компресору і калориферу (рис. 2).

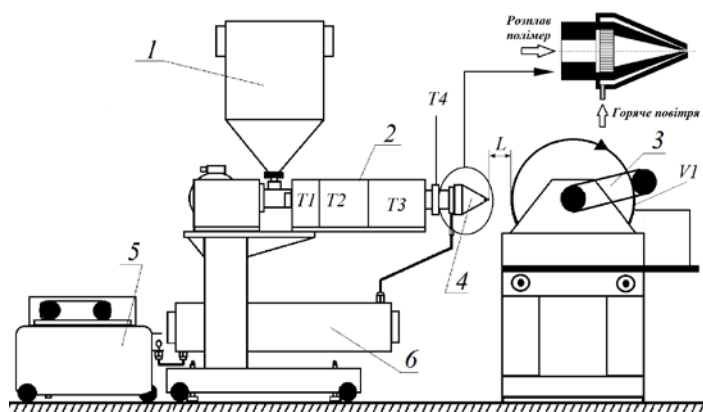


Рис. 2. Схема експериментальної установки: 1 – завантажувальний бак; 2 – одношнековий екструдер; 3 – приймальний барабан; 4 – експериментальна головка; 5 – компресор; 6 - теплообмінник

Спочатку полімерна композиція потрапляє в завантажувальний бак, далі поступає до екструдера. В екструдері розплав полімеру нагрівається до  $300$  °С і відбувається розклад ПП. Стисле повітря потрапляє з компресора в калорифер, нагрівається до  $220$  °С і подається в головку. В головці, завдяки ефекту Вентурі, стисле повітря видуває розплав з фільтри на приймальний барабан. Конструкція сопла утворює ламінарний потік стислого повітря, в якому розплав прискорюється і розтягується перетворюючись у дуже тонке волокно. Завдяки руху барабану, від краю до краю, вздовж і поперек, вдається напилити нетканий матеріал рівномірним шаром на всю поверхню барабану.

Перед проведенням досліджень було визначено масову продуктивність установки (А), при заданих технологічних параметрах, що полягає у вимірюванні часу проходження відомої кількості полімеру через експериментальну установку, яка складає  $1$  кг/год. Для підрахунку різниці маси полімеру на виході, між головкою екструдера і приймальним барабаном, було встановлено приймальну решітку, що дозволило встановити виробничу спроможність та отримати експериментальні зразки з заданою щільністю –  $700$  г/м<sup>2</sup>.

В дослідній установці використано екструдер довжиною шнека (L/D 32), що дозволяє подовжити час перебування розплаву в екструдері, для здійснення керованої деструкції ПП у композитній суміші. В процесі досліджень були встановлені раціональні параметри технологічного процесу експериментальної лінії одержанням нетканих матеріалів (таб. 1).

Таблиця 1

**Технологічні параметри експериментальної лінії**

Параметри	A	Vш.	V1	Частота роботи	T1	T2	T3	T4
	кг/год	Об/хв	Об/хв	Гц	°C	°C	°C	°C
Технічні характеристики	1	1 - 50	5 - 100	0 - 8	200 - 400	200 - 400	200 - 400	180 - 400
Експериментальні дані	0,9	3 - 5	45	1 - 2	215-225	320	365	239 - 250
Параметри	Tпов.	Dф.	Dгол,	Витрати повітря	L	Rпов,	Фрікції в хв	
	°C	см	см	л/хв	M	Па		
Технічні характеристики	170-300	0,5 - 10	3 - 10	1 - 100	0 - 2	0 - 6	1 - 50	
Експериментальні дані	220	1,0	4,5	20 - 35	0,25	2,5	10 - 20	

Результати механічних властивостей при розтязі в поперечному і повздожньому напрямку були одержані на розрівній машині марки 2167 P-50, з датчиком максимального зусилля в 5 кг, згідно ГОСТ 14236-81. При розрахунку здатності матеріалу на розтяг було прийнято максимальні значення сили, до розриву зразків (таб. 2).

Таблиця 2

**Показники міцності експериментальних зразків**

Назва зразків	Повздожній напрям		Поперечні напрям	
	Міцність при розриві	Видовження при розриві	Міцність при розриві	Видовження при розриві
	мПа	%	мПа	%
ПП	4,00	30,00	3,30	22,00
Vistamaxx 20%	4,20	68,00	4,00	54,00
КК 5%	5,00	30,00	4,50	20,00
КК 10%	4,50	26,00	4,10	17,00
КК 20%	3,30	18,00	3,40	13,00
КК 5% + Vistamaxx 2%	5,30	56,00	4,70	40,00
КК 10% + Vistamaxx 2%	4,90	40,00	4,30	31,00

Досліджено зміну показників ПТР до і після екструзії (таб. 3). Для методу аеродинамічного формування необхідно ПП з високим показником текучості розплаву.

Збільшення ПТР вдалося досягти в процесі екструзії завдяки конструктивним особливостям екструдера (L/D 32) і використання високих температурних режимів.

В процесі досліджень, було встановлено, що введення КК зменшує ПТР зразків нетканих матеріалів та надає шороховату поверхню волокнам нетканого матеріалу, що є доцільним для застосування в якості фільтраційних матеріалів, збільшуючи питому поверхню фільтрувального матеріалу.

КК також стабілізує процес екструзії, завдяки тому, що у його складі є стеарат кальцію, який виступає у ролі стабілізатора [2].

Таблиця 3

**Реологічні характеристики експериментальних зразків**

Назва зразків	ПТР до екструзії	ПТР після екструзії
ПП	18,00	67,00
Vistamaxx 20%	24,00	74,00
КК 5%	19,00	64,00
КК 10%	21,00	61,00
КК 20%	25,00	54,00
КК 5% + Vistamaxx 2%	21,00	71,00
КК 10% + Vistamaxx 2%	22,00	74,00

У ході роботи був проведений експеримент впливу наповнювача на полімерну основу, методом штучного температурного зістарювання матеріалу, під час якого зразки нетканих матеріалів були витримані в сушарній шафі, при температурі 100 °С, на протязі 2 тижнів (336 год). В результаті чого, було встановлено, що у зразка чистого ПП видовження при розтязі зменшилось на 30 %, а у зразків із вмістом КК зменшилось на 60% (таб. 4). Це зумовлено тим, що концентрат кальцида є природним осадковим матеріалом, тому він прискорює розклад поліпропіленової основи під дією ультрафіолетового світла та тепла, а також дозволяє швидко розвиватися мікроорганізмам під час процесу компостування [3].

Таблиця 4

**Показники міцності експериментальних зразків після термообробки**

Назва зразків	Повздовжній напрям		Поперечні напрям	
	Міцність при розриві	Видовження при розриві	Міцність при розриві	Видовження при розриві
	мПа	%	мПа	%
ПП	3,80	22,00	2,30	15,00
КК 5%	2,60	16,00	2,70	11,00
КК 10%	1,80	5,00	1,70	7,00

Поверхню волокна нетканового матеріалу з вмістом КК було модифіковано використанням Vistamaxx, передбачало покращення еластичних властивостей нетканого

виробу, завдяки покращенню сумісності полімерної матриці ПП і наповнювача КК [2]. Отримані дослідні зразки нетканого матеріалу з додаванням 2% Vistamaxx відзначаються покращеними механічними показниками (таб. 2)

Морфологія поверхні нетканих матеріалів була досліджена методом растрової електронної мікроскопії на скануючому електронному мікроскопі марки VEGA 3 TESCAN. Аналіз зображень дослідних зразків проведено в новітній цифровій аналітичній програмі «ImageJ2.1.5.0», що надає можливість значно заощадити час на обробку зображень, та визначити діаметр волокон (таб. 5) і розмір пор (таб. 6).

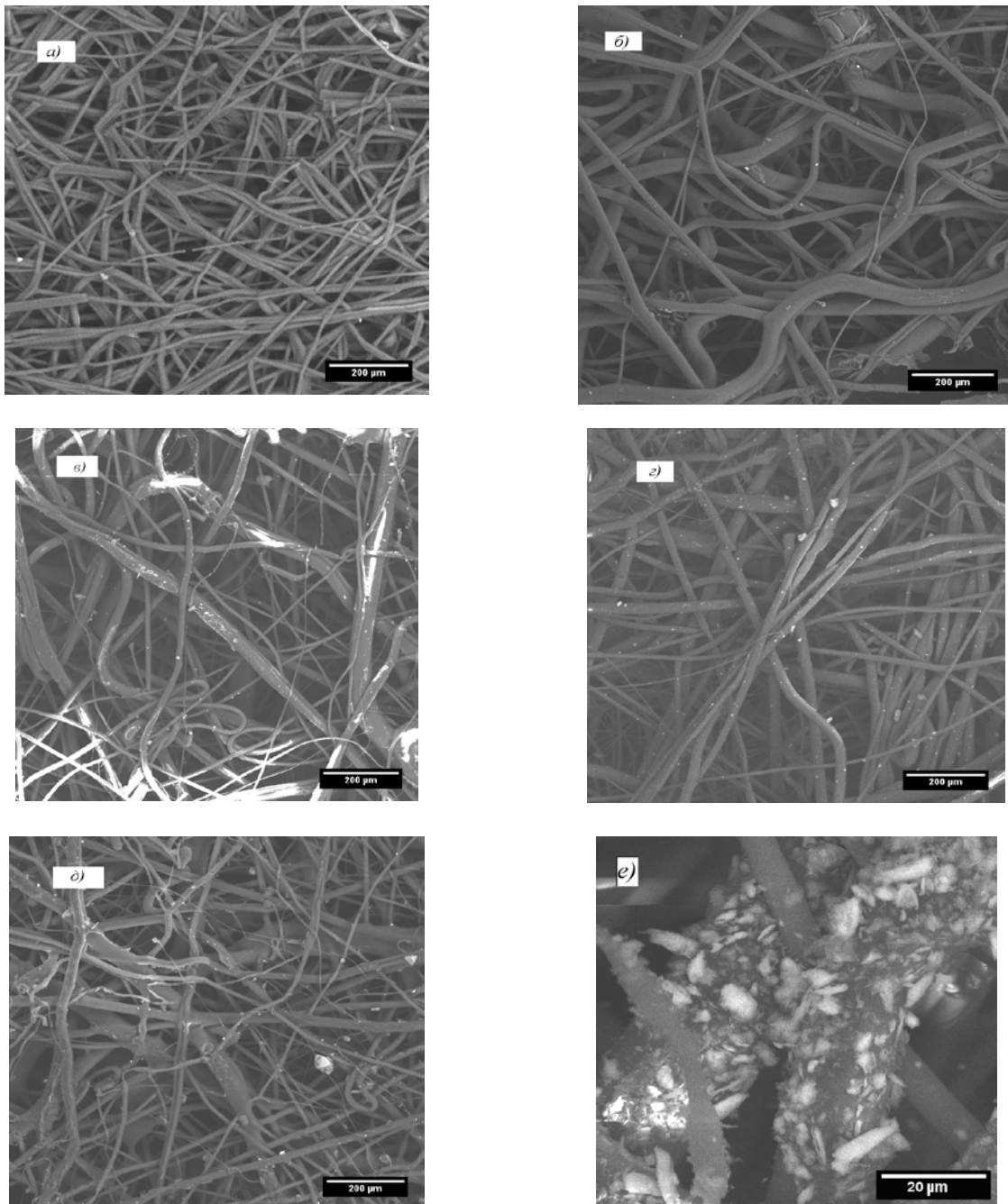


Рис. 3. а – ПП; б – Vistamaxx 20%; в – КК 5%; г – КК 10%; д – КК 20%; е – збільшені КК частинки на поверхні елементарних волокон

Таблиця 5

**Показники діаметру волокон експериментальних зразків**

Назва зразків	Кількість волокон	Середній діаметр	Медіана	Стандартне відхилення	Загальний	Мін.	Макс.
		µm	µm	σ	µm	µm	µm
ПП	80,00	14,29	13,41	3,44	1143,22	5,66	24,05
Vistamaxx 20%	80,00	23,09	23,16	8,45	1847,01	7,45	44,75
КК 5%	80,00	16,25	14,67	7,68	1300,10	6,32	39,47
КК 10%	80,00	22,72	21,64	7,69	1814,59	7,94	39,79
КК 20%	80,00	18,55	18,23	6,39	2990,23	8,43	33,47
КК 5% + Vistamaxx 2%	80,00	15,78	14,36	7,68	1262,40	6,08	39,12
КК 10% + Vistamaxx 2%	80,00	20,36	20,68	7,69	1628,81	7,26	39,15

Таблиця 6

**Показники між волоконних пор експериментальних зразків**

Назва зразків	Кількість пор	Середня площа	Мін. площа	Макс. площа	Відсоток пор	Середнє квадратичне відхилення
		(µm <sup>2</sup> )	(µm <sup>2</sup> )	(µm <sup>2</sup> )		(µm <sup>2</sup> )
ПП	335,00	1175,22	21,34	16401,78	0,50	1643,25
Vistamaxx 20%	107,00	1759,86	12,00	12382,00	0,51	2799,31
КК 5%	222,00	1738,66	21,32	18762,67	0,43	2928,44
КК 10%	123,00	2271,32	21,30	35980,44	0,51	4351,93
КК 20%	160,00	1166,65	12,00	10131,00	0,53	1839,36
КК 5% + Vistamaxx 2%	246,00	1868,52	23,20	18912,52	0,48	2689,39
КК 10% + Vistamaxx 2%	158,00	2582,73	22,14	25324,36	0,53	3532,58

В результаті проведених досліджень, встановлено, що кальцит впливає на морфологічні характеристики матеріалу, виступаючи у ролі розпушувача поверхні волокон, утворюючи на поверхні елементарних волокон голкові або зіркові структури (рис. 3.г), які при фільтрації можуть затримувати додаткові частинки забруднювача.

Порівняно з чистим поліпропіленом для зразків модифікованих різними концентраціями КК спостерігається планомірне збільшення середнього діаметру волокна від 14,29 µm до 22,72 µm, що ймовірно пов'язано з зміною характеру течії розплаву у фільтрі, а також в процесі орієнтації розплаву під час аеродинамічного формування "Meltblown". З

літературних даних відомо, що характер течії композитів порівняно з розплавами елементарної сумішшю змінюється з параболічного до більш пробкоподібного [1].

**Висновки.** Проведено експериментальні дослідження нетканого матеріалу з різним вмістом мінеральних наповнювачів. За результатом дослідження встановлено, що введення до складу нетканого матеріалу мінеральних наповнювачів, різної концентрації, не призводить до різкої зміни механічних властивостей нетканого матеріалу. Мінеральний наповнювач впливає на розгалуження волокон у матеріалі, що може впливати на фільтруючу спроможність матеріалу. При введенні мінерального наповнювача видовження при розтязі зменшується до 12%. Ведення наповнювача поліпропілену октену блоксополімеру в систему ПП/КК призводить до збільшення міцності при розтягті нетканей матеріалів від 54% до 64%, що зумовлено пластифікуючими властивостями Vistamaxx на ПП. Введенням мінерального наповнювача збільшує розмір середнього діаметру волокна нетканого матеріалу від 14,29  $\mu\text{m}$  до 22,72  $\mu\text{m}$ , що покращує фільтраційні властивості нетканних виробів. Заміна органічної полімерної основи на мінеральну прискорює процес розпаду нетканого матеріалу у навколишньому середовищі. Отримані результати можуть бути використані для подальшого дослідження фільтрувальних властивостей нетканого матеріалу з мінеральними наповнювачами.

#### Список використаної літератури

1. В.М. Шаповалов, Механіка елонгационно течения полимеров / В.М. Шаповалов – М.: ФИЗМАТЛИТ. - 2007 – С. 176.
2. L. C. Wadsworth, A Review of Melt Blowing Technology / L. C. Wadsworth, S. R. Malkan - INB Nonwovens – 1991 - №2 - P. 2 -31.
3. Das. D. Woodhead, Composite Nonwoven Materials: Structures, Properties and Applications / D. Das, B. Pourdeyhimi // Publishing Ltd., UK. - 2014 – P. 252.
4. Г. Л. Барабанов, Физико-механические способы производства нетканых материалов и валяно-войлочных изделий / Г.Л. Барабанов, Е.Н.Бершев, Г.П.Смирнов, Ю.Я.Тюменев - М.: Легпромбытиздат - 1994 - 118-119 с.

#### Reference

1. Shapovalov V.M. (2007). *Mehanika elongatsionnono techeniya polimerov [Elongatsionnono flow mechanics of polymers]*. (p. 176). Moscow: FIZMATLIT [in Russian].
2. Wadsworth L. C., Malkan S. R. (1991). *A Review of Melt Blowing Technology*. (pp. 2 -31) Schlieren-Zürich, Switzerland: INB Nonwovens. [in English]
3. Das D., Pourdeyhimi B. (2014). *Composite Nonwoven Materials: Structures, Properties and Applications*. (p. 252). Cambridge,UK: Woodhead Publishing Ltd. [in English]
4. Barabanov H.L., Bershev E.N., Smyrnov H.P., Tyumenev Yu.Ya. (1994). *Fyzyko-mekhanicheskiye sposobi proyzvodstva netkanikh materyalov y valyalno-voylochnikh yzdelyy [Physical and mechanical methods for the production of nonwovens and felting products]*. (pp. 118 –119). Moscow: Lehprombtyzdat [in Russian].



## ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ МИНЕРАЛЬНЫХ НАПОЛНИТЕЛЕЙ НА НЕТКАНЫЙ МАТЕРИАЛ

ГЕЙЧУК А.В., ШЕВЧУК М.В., ПОЛОСУХИНА А.И., САВЧЕНКО Б.М.

*Киевский национальный университет технологий и дизайна*

**Цель.** Разработка метода получения нетканых изделий методом "Meltblown" на основе полипропилена (ПП) с разной концентрацией минерального наполнителя.

**Методика.** Образцы нетканого материала из композитных смесей было получено методом "Meltblown", свойства полученных образцов были исследованы на определение реологических характеристик – показателя текучести расплава (ПТР), механических показателей и морфологию, методом растровой электронной микроскопии.

**Результаты.** Показана возможность создания нетканых материалов на основе ПП с различными концентрациями минерального наполнителя. Установлено, что при введении минерального наполнителя в пределах от 5% до 10%, удлинение при разрыве уменьшается в пределах с 30% до 18%. С введением минерального наполнителя средний диаметр волокон увеличивается от 14,29  $\mu\text{m}$  до 22,72  $\mu\text{m}$ . Полученные результаты могут быть использованы для дальнейшего исследования фильтровальных свойств нетканого материала.

**Научная новизна.** Исследована способ модификации нетканых материалов, путем замены органической составляющей минеральным наполнителем, способствует улучшению экологических свойств конечного продукта и не меняет характеристик нетканого материала.

**Практическая значимость.** Полученные нетканые материалы с минеральными наполнителями могут быть использованы в качестве фильтрующего материала для очистки воды или воздуха со специальным степенью чистоты.

**Ключевые слова:** метод аэродинамического формирования, нетканые материалы, минеральные наполнители, кальцит.

## THE INFLUENCE OF MINERAL FILLERS ON THE NON-WOVEN FABRIC

GEYCHUK O.V., SHEVCHUK M.V., POLOSUHINA A.I., SAVCHENKO B.M.

*Kyiv National University of Technologies and Design*

**Purpose.** Develop a method for producing nonwoven articles by the method "Meltblown", based on polypropylene with the different concentrations of mineral filler.

**Methodology.** Samples of nonwoven composite blends were prepared by the method "Meltblown", properties of the resulting samples were examined for determining reologichnyh characteristics - melt flow index (MFI), mechanical properties and morphology by scanning electron microscopy.

**Findings.** The results demonstrated the possibility of creating non-woven materials based on PP with various concentrations of a mineral filler was found that the introduction of the mineral filler ranges from 5% to 10%, the elongation at break is reduced within from 30% to 18%. With the introduction of the mineral filler average fiber diameter is increased from 14,29  $\mu\text{m}$  to 22,72  $\mu\text{m}$ , results can be used to further study the properties of the nonwoven filter material.

**Originality.** It was investigated the method of modification nonwovens by replacing the organic component of the mineral filler that improves environmental properties of the final product and does not change the characteristics of the nonwoven material.

**Practical value.** The resulting nonwovens with mineral fillers can be used as filter material for water treatment or air with special purity.

**Keywords:** method of aerodynamic formation, nonwovens, mineral fillers, calcite.