

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ТЕХНОЛОГІЙ ТА
ДИЗАЙНУ

Факультет хімічних та біофармацевтичних технологій
Кафедра Прикладної екології, технології полімерів та хімічних волокон

Пояснювальна записка

дипломної магістерської роботи

на тему «**Удосконалення технології отримання нетканого матеріалу
методом електроформування**»

Виконав: студент групи МгХВ-20
спеціальності 161 – Хімічні технології та
інженерія
освітньої програми Хімічні технології та
дизайн волокнистих систем

Олександр ПРИЛІПКО

Керівник к.т.н., доц. Ірина ЛЯШОК

Рецензент _____

Київ 2021

Київський національний університет технологій та дизайну

Факультет Хімічних та біофармацевтичних технологій

Кафедра Прикладної екології, технології полімерів та хімічних волокон

Спеціальність 161 – Хімічні технології та інженерія

Освітня програма Хімічні технології та дизайн волокнистих систем

ЗАТВЕРДЖУЮ

**Завідувач кафедри прикладної екології,
технології полімерів та хімічних волокон**

Вікторія Плаван

“ _____ ” _____ 2021 року

З А В Д А Н Н Я
НА ДИПЛОМНУ МАГІСТЕРСЬКУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

Приліпку Олександрю Олексійовичу

1. Тема роботи Удосконалення технології отримання нетканого матеріалу методом електроформування
керівник роботи Ляшок Ірина Олександрівна, к.т.н., доцент
затверджені наказом вищого навчального закладу від 04.10.2021р. № 286
2. Строк подання студентом роботи 09 грудня 2021 р.
3. Вихідні дані до роботи: матеріали переддипломної практики, науково-технічної і патентної літератури
4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) Вступ. Розділ 1. Огляд літературних джерел (Технологія одержання нетканних матеріалів методом електроформування. Параметри впливу на процес електроформування. Полімери, які використовують для створення нетканого матеріалу методом електроформування). Розділ 2. Об'єкти та методи дослідження (Характеристика сировини та допоміжних матеріалів. Методи дослідження. Розділ 3. Результати досліджень та їх обговорення (Дослідження процесу та параметрів електроформування. Дослідження морфологічних властивостей нетканого матеріалу. Сорбційні та механічні властивості плівок на основі ПВС:Кр) Розділ 4. Екологічна безпека. Перелік літературних посилань.

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Ім'я, прізвище та посада Консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Вступ	Ірина ЛЯШОК к.т.н., доц..		
Розділ 1	Ірина ЛЯШОК к.т.н., доц.		
Розділ 2	Ірина ЛЯШОК к.т.н., доц.		
Розділ 3	Ірина ЛЯШОК к.т.н., доц.		
Розділ 4	Вікторія ПЛАВАН д.т.н., доц.		
Висновки	Ірина ЛЯШОК к.т.н., доц.		

7. Дата видачі завдання _____

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломної магістерської роботи	Терміни виконання етапів	Примітка про виконання
1	Вступ	11.10.2021 р. – 12.10.2021р.	
2	Огляд літературних джерел у галузі технології одержання нетканих матеріалів методом електроформування	13.10.2021 р. – 15.10.2021 р.	
3	Об'єкти та методи дослідження	18.10.2021р. – 29.10.2021 р.	
4	Результати досліджень та їх обговорення		
5	Розділ екологічна безпека	01.11.2021 р. – 09.11.2021 р.	
6	Висновки	10.11.2021 р. – 16.11.2021 р.	
7	Оформлення магістерської роботи (чистовий варіант)	17.11.2021 р. – 22.11.2021 р.	
8	Здача магістерської роботи на кафедру для рецензування (за 14 днів до захисту)	02.12.2021 р. – 09.12.2021	
9	Перевірка магістерської роботи на наявність ознак плагіату (за 10 днів до захисту)	14.12.2021 р.	
10	Подання роботи у відділ магістратури для перевірки виконання додатку до індивідуального навчального плану (за 10 днів до захисту)	14.12.2021 р.	
11	Подання роботи на затвердження завідувачу кафедри (за 7 днів до захисту)	16.12.2021 р.	

Студент

(підпис)

Олександр ПРИЛІШКО

Керівник роботи

(підпис)

Ірина ЛЯШОК

Директор НМЦУПФ

Олена ГРИГОРЕВСЬКА

Анотація

Магістерської роботи студента гр МГХВ – 20 Приліпка О.О. на тему **«Удосконалення технології отримання нетканого матеріалу методом електроформування».**

Магістерська робота присвячена удосконаленню технології отримання нетканого матеріалу методом електроформування на основі полівінілового спирту та кукурудзяного крохмалю з додаванням повідон-йоду. Проведено аналіз джерел інформації, розглянуто основні способи процесу електроформування, фактори які впливають на структуру волокнистого матеріалу, особливості волокон одержаних цим методом, типи колекторів, сфери застосування матеріалів створених методом електроформування.

Створено нетканий матеріал на лабораторній установці капілярного типу з напругою 30 кВ, діаметром капіляра 1,1 мм та відстанню між електродами 12-15 см. Встановлено, рецептуру та параметри процесу електроформування для полімерних композицій. Стабільний процес утворення волокон відбувається при електропровідності робочого розчину більше 1 См/м. Отримано неткані волокнисті матеріали з діапазоном розподілу діаметрів волокон від 0,5 до 7 мкм. Досліджено сорбційні властивостей плівок на основі ПВС:Кр, та встановлено, що додавання повідон-йоду до композиції знижує на 250 % сорбцію води. Показано, що плівкові матеріали на основі досліджуваних композицій ПВС:Кр для зразка 3:1 мають міцність на розрив 0,58 МПа, а додавання 1% повідон-йоду знижує міцність до 0,31 МПа та сприяє підвищенню еластичності матеріалу за показником відносного подовження з 23,2 до 68,5 %. Зроблено аналіз умов праці на робочому місці в навчально-науковій лабораторії. Проведена розробка заходів з охорони праці. Розрахована достатня кількість освітлення лабораторії. Розглянуто заходи пожежної безпеки приміщення лабораторії, проаналізовані шляхи евакуації. Розрахована кількість вогнегасників становить 2 штуки.

Ключові слова: електроформування, нетканий матеріал, полівініловий спирт, крохмаль, повідон-йод.

Summary

Master's thesis of a student of MgHV - 20 Prylipka O.O. on the topic
«Improving the technology of obtaining nonwoven material by electroforming».

The master's thesis is devoted to improving the technology of obtaining nonwoven material by electroforming based on polyvinyl alcohol and corn starch with the addition of povidone-iodine. The analysis of information sources is carried out, the main methods of electroforming process, factors influencing the structure of fibrous material, features of fibers obtained by this method, types of collectors, areas of application of materials created by electroforming method are considered.

Non-woven material was created on a capillary-type laboratory installation with a voltage of 30 kV, a capillary diameter of 1.1 mm and a distance between electrodes of 12-15 cm. The recipe and parameters of the electroforming process for polymer compositions were established. The stable process of fiber formation occurs when the electrical conductivity of the working solution is more than 1 cm / m Nonwoven fibrous materials with a range of distribution of fiber diameters from 0.5 to 7 μm were obtained. The sorption properties of PVA-based films: Kr were studied, and it was found that the addition of povidone-iodine to the composition reduces water sorption by 250%. It is shown that film materials based on the studied compositions PVA: Kr for sample 3: 1 have a tensile strength of 0.58 MPa, and the addition of 1% povidone-iodine reduces the strength to 0.31 MPa and increases the elasticity of the material in terms of elongation 23.2 to 68.5%. An analysis of working conditions in the workplace in educational and research laboratories. Development of labor protection measures has been carried out. Sufficient laboratory lighting has been calculated. Measures of fire safety of the laboratory premises are considered, ways of evacuation are analyzed. The estimated number of fire extinguishers is 2 pieces.

Key words: electroforming, nonwoven material, polyvinyl alcohol, starch, povidone-iodine.

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

ПВС – полівініловий спирт

Кр – кукурудзяний крохмаль

ЗМІСТ

ВСТУП

1. ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ

- 1.1 Процес електроформування
- 1.2. Історія електроформування
- 1.3. Механізм процесу електроформування
- 1.4. Параметри процесу електроформування
- 1.5. Застосування матеріалів одержаних методом електроформування

2. ОБ'ЄКТИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ

2.1. Об'єкти та методи дослідження. Характеристика сировини, що використовувалася в дослідженні

2.2 Методика приготування робочих розчинів

2.3. Технологія отримання нетканого матеріалу методом електроформування композицій на основі ПВС:Кр з додаванням повідон-йоду.

2.4. Методи дослідження

2.4.1. Методика визначення електропровідності

2.4.2. Дослідження морфологічних властивостей нетканих матеріалів методом оптичної мікроскопії

2.4.3. Дослідження сорбційних властивостей плівок гравіметричним методом

2.4.4. Метод дослідження механічних властивостей плівок

3. РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ

3.1 Дослідження електропровідності та здатності до електроформування робочих розчинів

3.2 Дослідження морфології нетканих матеріалів

3.3 Дослідження сорбційних властивостей

3.4 Дослідження механічних властивостей

4. ЕКОЛОГІЧНА БЕЗПЕКА

4.1 Аналіз умов праці на робочому місці

4.2 Розробка заходів з охорони праці

4.3 Пожежна безпека приміщення

ВИСНОВКИ

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

ВСТУП

Електроформування є універсальним та ефективним методом виробництва безперервних нановолокон від субмікронних діаметрів до нанометрових за допомогою високопотенційного електричного поля. Завдяки останнім розробкам в області електроформування можна виробляти нановолокна діаметром від кількох до кількох сотень нанометрів [1, 2].

Оптимальні нановолокна можуть бути виготовлені шляхом контролю характеристик розчину, процесу та навколишнього середовища, оскільки характеристики волокон отриманих методом електроформування визначаються цими параметрами.

Актуальність теми обумовлена розширенням асортименту нетканних матеріалів з ультратонкими волокнами для покриття ран, виготовленими на основі біосумісних полімерів з лікувальними властивостями.

Мета роботи – удосконалити технологію отримання нетканого матеріалу методом електроформування.

Для досягнення поставленої мети вирішено наступні **задачі**:

- * провести аналіз літературних джерел по технологіях отримання нетканних матеріалів методом електроформування;
- * дослідити параметри процесу електроформування композицій ПВС та крохмалю з додаванням повідон-йоду;
- * провести дослідження морфологічних характеристик отриманих нетканних матеріалів, сорбційних та механічних властивостей плівки з аналогічного складу;
- * визначити вплив повідон-йоду на характеристики процесу електроформування та властивості отриманих матеріалів.

Об'єкт дослідження – композиції на основі ПВС:Крохмалю з додаванням повідон-йоду для створення нетканних матеріалів методом електроформування.

Предмет дослідження – процес електроформування та неткані матеріали на основі ПВС, крохмалю з додаванням повідон-йоду.

Наукова новизна – полягає в удосконаленні методу отримання нетканих матеріалів методом електроформування шляхом створення полімерних композицій на основі ПВС та крохмалю з додаванням повідон-йоду.

Практична цінність – визначається створенням нетканого матеріалу з ультратонких волокон методом електроформування на основі біосумісних полімерів шляхом введення в композиції комплексу йоду, який має лікувальні властивості, що дозволить їх використовувати у медичних та косметологічних цілях.

Публікації. В період виконання магістерського проекту за результатами досліджень опубліковано 1 статтю: Способи отримання полілактиду. Бицкало Н.Р., Приліпко О.О, Іщенко О.В., Ляшок І.О. Збірник матеріалів XII Всеукраїнської конференції молодих вчених «Молоді вчені 2021 – від теорії до практики» (25 березня 2021 р., м.Дніпро, Україна): Упорядники: Хохлова Т.С., Ступак Ю.О. – Дніпро-Дике Поле, 2021. – С. 176-180

Структура та обсяг роботи. Дипломна магістерська робота складається з вступу, чотирьох розділів, висновків, переліку літературних посилань, додатків. Робота викладена на сторінках друкованого тексту, містить таблиць та рисунків.

Розділ 1. ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ

1.1 Процес електроформування

Ця техніка може бути легко використана в лабораторії і може бути розширена до промислового процесу [3]. Електроформування нановолокон з полімерних розчинів або розплавів є в центрі уваги, оскільки вони мають багато потенційних застосувань [4].

Електроформовані нановолокна мають такі переваги, як більша площа поверхні, ніж звичайні волокна. Електроформовані неткані матеріали мають малий розмір пор, високу пористість і велику площу поверхні. Ці пористі неткані полімерні мережі мають високий взаємозв'язок волокон. Також їх перевагою є можливість контролю композиції нановолокна для досягнення бажаної властивості або функціональності, що забезпечує більшу гнучкість у функціональних властивостях поверхні. Ці особливі властивості роблять полімерні нановолокна хорошими кандидатами для багатьох застосувань, які поширюються на фільтрацію, тканинну інженерію, конструкцію каркасів, перев'язувальні матеріали, перетворення та зберігання енергії, каталізатори та носії ферментів, захисний одяг, датчики, доставку ліків, косметику, електронні засоби, і напівпровідникові матеріали. Незважаючи на переваги цього процесу, мала продуктивність обмежує його застосування. Очікується, що установки для електроформування з високою пропускною швидкістю запропонують більше можливостей для використання електроформованих нановолокон [1, 5, 6].

Електроформування є прямим розширенням електророзпилення, оскільки обидва процеси засновані на однакових фізичних та електричних механізмах. Основна відмінність полягає в тому, що безперервні волокна утворюються при «електроспінінгу», тоді як дрібні краплі утворюються при електророзпиленні [7]. Волокна, виготовлені електроформуванням, в основному наносяться на колектори електродів у вигляді нетканого нановолокнистого мату. Також можна отримати вирівняні нановолокна за допомогою методів контрольованого осадження волокон [8].

Оптимальні нановолокна можуть бути виготовлені шляхом контролю параметрів розчину, процесу та навколишнього середовища, оскільки характеристики волокон отриманих методом електроформування, визначаються цими параметрами. Дуже важливо уникати появи намистин, особливо для менших нановолокон. Велика увага спрямована на контроль морфології волокон шляхом контролю цих параметрів. Можна контролювати діаметр волокна та характеристики пор [4]. Електроформування застосовне до широкого спектру матеріалів, таких як синтетичні та природні полімери, метали, а також кераміка та композитні системи [9]. Ця техніка також може бути використана для виробництва інших функціональних наноструктур, таких як нанотрубки та нановолокна, шляхом вирівнювання електропрядних нановолокон.

1.2. Історія електроформування

За останні роки для отримання полімерних нановолокон було використано ряд технологій обробки. Деякі з цих технік наведено нижче:

1) «креслення»: за допомогою цього процесу можна виробляти довгі одинарні нановолокна. В'язкопружні матеріали, які мають достатню когезію, щоб протистояти напругам під час сильних деформацій, можуть бути сформовані в нановолокна за допомогою процесу витяжки;

2) «синтез шаблону»: цей процес використовує нанопористу мембрану для виробництва нановолокон. Нанометрові трубочки та фібрили з різних матеріалів, включаючи вуглець, провідні полімери, метали та напівпровідники, можуть бути виготовлені, але безперервні нановолокна по одному за допомогою цього методу не можуть бути виготовлені;

3) «поділ фаз»: за допомогою цього процесу полімер перетворюється в нанопористу піну;

4) «самостійна збірка»: цей процес включає організацію окремих, вже існуючих компонентів до бажаних моделей і функцій;

5) «електроспінінг»: безперервні нановолокна один за одним можна отримати за допомогою електроформування [1].

Термін електроформування походить від «електростатичне формування волокон», і це техніка, яка датується 1897 роком [5]. Техніка електроформування не була комерційно прийнята через конкуренцію з процесом механічної витяжки для формування полімерних волокон, і він залишався незрозумілим методом виготовлення волокон до середини 1990-х років. Коли Формхалс запатентував свій винахід, процес набув значення. Формхалс повідомив про прядіння волокон ацетату целюлози у своєму першому патенті, де розчин полімеру вводили в електричне поле. Полімерні нитки формували з розчину між двома електродами протилежної полярності. Один з електродів поміщали в розчин, а інший на колектор. Струмені зарядженого розчину випаровувалися після викидання з спіральки і збиралися на колекторі у вигляді волокон. Фармхалс удосконалив свій попередній підхід у своєму другому патенті, змінивши відстань між подаючою насадкою та пристроєм для збору волокон, щоб збільшити час висихання волокон [1, 10, 11].

У 1960-х роках Тейлор фундаментально вивчав процес формування струменя. Він досліджував форму конуса полімерної краплі на кінчику голки під час застосування електричного поля, що призвело до назви «конус Тейлора» в подальшій літературі [12]. У наступні роки дослідження було зосереджено на характеристиці нановолокон, отриманих електроформуванням, і розумінні взаємозв'язку між параметрами процесу та морфологією волокна. У 1971 році Баумгартен повідомив про електроформування акрилових волокон з діапазоном діаметрів від 500 до 1100 нм [13].

Ренекер і його колеги продемонстрували потенціал цієї техніки для використання в дослідженнях нанотехнологій, оскільки волокна, що виробляються, мали субмікронний діаметр. Крім того, широкий спектр полімерних матеріалів може бути використаний у процесі ефективним способом, що призводить до його використання в дослідницьких лабораторіях [14, 15]. Доші і Ренекер спробували охарактеризувати процес

електроформування та визначити параметри, що керують ним. Вони досліджували структуру нановолокон поліетиленоксиду (ПЕО), отриманих шляхом зміни концентрації розчину та прикладеного електричного потенціалу. Вони виробляли волокна з різноманітними формами поперечного перерізу та варіаціями по їх довжині. Визначено електричний потенціал, необхідний для запуску процесу прядіння та утворення струменя. Вони також надали деякі можливі варіанти застосування електроформування нановолокон, включаючи армуючі волокна в композиційних матеріалах, поверхневі шари на текстилі, нетканих матеріалах, ранових перев'язувальних матеріалах тощо [16].

1.3. Механізм процесу електроформування

Техніку електроформування можна розглядати як варіант процесу електростатичного розпилення (електророзпилення), оскільки в обох техніках використовується висока напруга для індукування утворення струменів рідини. Дрібні краплі або частинки утворюються в результаті розриву електрифікованого струменя при електророзпиленні, тоді як тверде волокно утворюється при розтягуванні наелектризованого струменя при електроформуванні [18]. Цей процес використовує електростатичні сили для розтягування або розплавлення розчину, коли він застигає. Волокнистий матеріал збирають у вигляді розподілу безперервних нановолокон [19].

Електроформування проводять при кімнатній температурі з умовами атмосфери. В основному існують дві установки електроформування: вертикальні та горизонтальні. На рисунку 1.1 показана схема одержання нановолокон методом електроформування [1]. Висока напруга подається для створення електрично зарядженого струменя розчину або розплаву полімеру. Струмінь піддається розтягуванню, перш ніж досягти колектора, і застигає на колекторі у вигляді нановолокон шляхом випаровування розчинника [20 - 22].

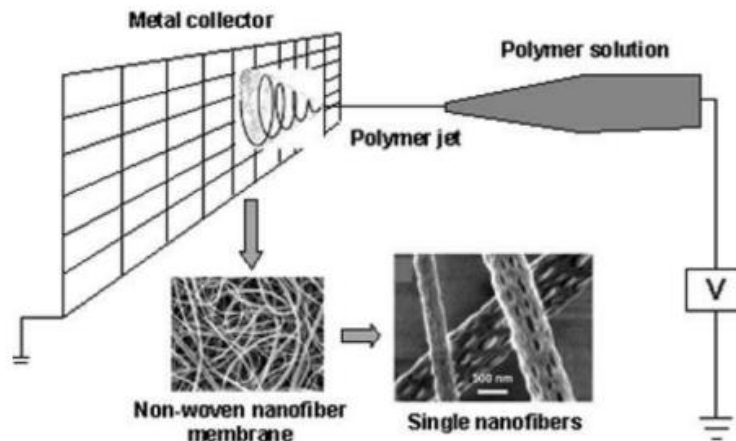


Рис.1.1 Схема процесу електроформування [1].

При електроформуванні більшість полімерів розчиняється в розчиннику, утворюючи розчин полімеру. Потім полімерна рідина подається в капіляр для електроформування. У разі розплавлення полімерів при високій температурі розплав полімеру подається в капіляр. Для розплавів полімерів процес електроформування необхідно проводити у вакуумі. Полімерів, які електроформуються у розплавленому вигляді, набагато менше в порівнянні з полімерами, які електроформуються у формі розчину полімеру.

Принцип процесу полягає в тому, що розчин або розплав, що тримається на кінці капіляра при власному поверхневому натягу, піддається дії електричного поля. Зі збільшенням напруженості електричного поля напівсферична поверхня розчину на кінчику капіляра подовжується і утворює конічну форму, відому як конус Тейлора. Електричне поле досягає критичного значення, коли електрична сила відштовхування долає силу поверхневого натягу. При цьому критичному значенні заряджений струмінь розчину викидається з вершини конуса Тейлора. Розчинник випаровується, коли струмінь рухається в повітрі. У разі розплаву струмінь, що розрядився, застигає, коли рухається в повітрі. Заряджене полімерне волокно випадковим чином осідає на колектор [1, 5, 16].

Для пояснення процесу електроформування було використано ряд теорій та методів моделювання [23, 24]. Загалом прийнято вважати, що в процесі електроформування є чотири різні області (рис. 1.2):

- 1) Основна область: заряджена поверхня розчину на кінці сопла.
- 2) Область струменя: де розчин рухається по прямій.
- 3) Область розповсюдження: де струмені розщеплюються на безліч нановолокон.
- 4) Колекторна область: де нановолокна осідають [23, 25].

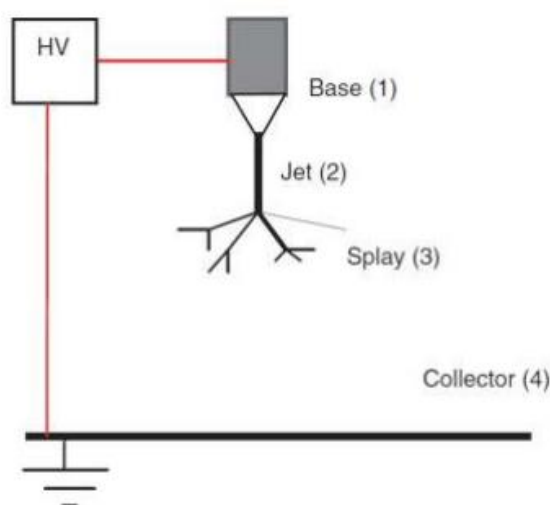


Рис.1.2. Схема розщеплення струменя при електроформуванні [23].

Поведінку електродрейфуючого струменя можна розділити на три основні етапи: утворення конуса Тейлора, викид прямого струменя та область нестабільного збивання струменя. На рисунку 1.3 показана поведінка струменя. Взаємодія електричних зарядів на розчині полімеру із зовнішнім електричним полем призводить до утворення конуса Тейлора. Оскільки до конуса Тейлора прикладається дуже сильне електричне поле, крапля стає нестабільною, що призводить до витягування єдиного струменя рідини. Після прямолінійного руху струмінь рідини, що викидається, стає нестійким [26]. Це викликано нестабільністю вигину з електричним приводом [27].

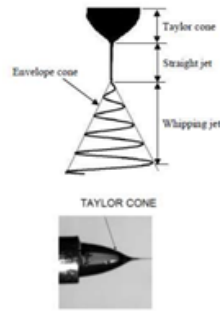


Рис.1.3 Електроскручування струменя [26].

Хамзе та інші використовували класичну електростатичну теорію, щоб пояснити утворення волокна від сопла до точки збору та зрозуміти процес електроформування. Поетапна схема процесу електроформування волокон показана на рисунку 1.4. Лінії електрополя та їх розподіл при притягуванні позитивно зарядженого розчину негативно зарядженою колекторною пластиною.

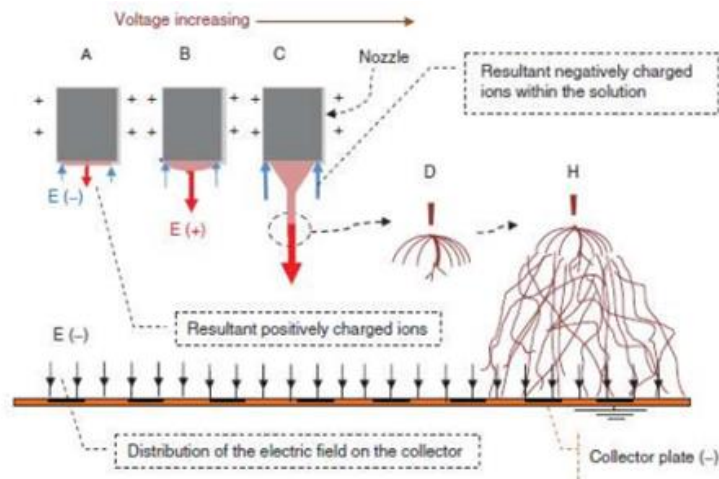


Рис.1.4 Поетапна схема процесу електроформування волокон [23].

Коли розчин піддається впливу електричного поля високої напруги, концентрація чистих позитивних зарядів на кінчику сопла дуже висока, і тому розчин виштовхується з сопла. Конус Тейлора є прямим результатом цієї сили тяжіння, оточеної поверхневим натягом розчину. Полімер ділиться на тонкі нитки, коли поверхневий натяг досягає межі. Сили відштовхування між цими нитками змушують їх розщеплюватися на нановолокна і збираються на негативно зарядженій колекторній пластині [23].

1.4. Параметри процесу електроформування

Дуже важливо розуміти робочі параметри електроформування, оскільки вони впливають на морфологію волокна. Набагато простіше отримати потрібний діаметр і морфологію волокна за допомогою контролю за цими параметрами. Ідеальними умовами для електроформування полімеру в нановолокно є: а) діаметри волокон повинні бути постійними та контрольованими; б) поверхня волокна повинна бути без дефектів або з можливістю контролю дефектів; в) суцільні поодинокі нановолокна повинні бути в переважній більшості.

Діаметр волокна є однією з найважливіших величин в електроформуванні. Іншою проблемою є однорідність діаметрів волокон. Виникнення дефектів, таких як намистини та пори, є головною проблемою [1]. На рис.1.5 показані пори у волокнах полі-L-лактиду (PLLA). Структуру волокна з бісером показано на рис.1.6.

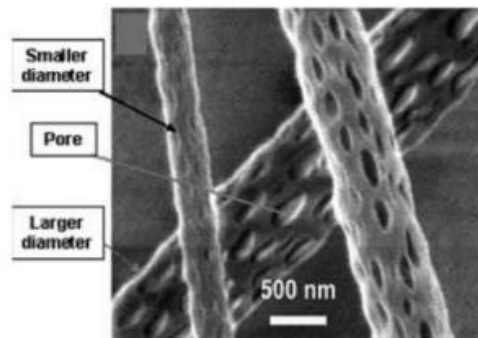


Рис.1.5. Волокно з порами одержане методом електроформування [29].

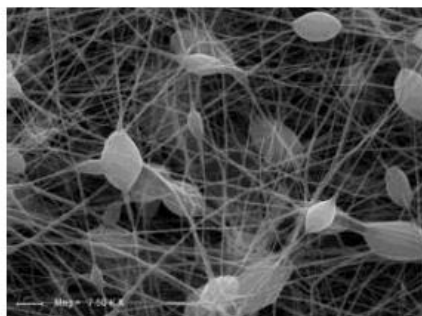


Рис.1.6. Волокна одержані методом електроформування з бісероподібними включеннями [30].

До параметрів які регулюють процес електроформування належать:

1. Параметри розчину – в'язкість, електропровідність, молекулярна маса, розподіл молекулярної маси, поверхневий натяг, структура полімеру, властивості розчину.

2. Параметри процесу – прикладене електричне поле, відстань від наконечника до колектора, подача або швидкість потоку, гідростатичний тиск у капілярі, рух пластини.

3. Параметри навколишнього середовища – вологість і температура навколишнього середовища, температура розчину, швидкість повітряного потоку.

Характеристики нановолокон визначаються параметрами електроформування, і це широко досліджується. Нижче наведено результати впливу різних параметрів електроформування:

Концентрація

Коли твердий полімер розчиняють у розчиннику, в'язкість розчину пропорційна концентрації полімеру. Оскільки більша в'язкість призводить до збільшення діаметра волокна, більша концентрація полімеру також призведе до більшого діаметра нановолокна. Для утворення волокна електроформуванням потрібна мінімальна концентрація.

При дуже низьких концентраціях замість електроформування відбувається електророзпилення. Це пов'язано з низькою в'язкістю та високим поверхневим натягом розчину [31]. При низьких концентраціях розчину виходить суміш волокон і кульок. Зі збільшенням концентрації форма кульки змінюється від сферичної до веретеноподібної. Нарешті утворюються однорідні волокна збільшених діаметрів [5].

Необхідно отримати оптимальну концентрацію розчину, оскільки при дуже низьких концентраціях утворюються кульки, тоді як при дуже високих концентраціях утворення безперервних волокон не відбувається через неможливість підтримувати потік розчину [32]. У своєму дослідженні Фонг виявив, що більша концентрація полімеру призвела до структури з меншою кількістю кульок. На рис. 1.7 показана структура нановолокон ПЕО,

отриманих при концентрації розчину в межах 1 мас. % і 4 мас.%. Намистинки не зникали повністю при високих концентраціях, але їх форма змінилася зі сферичної на веретеноподібну [33].

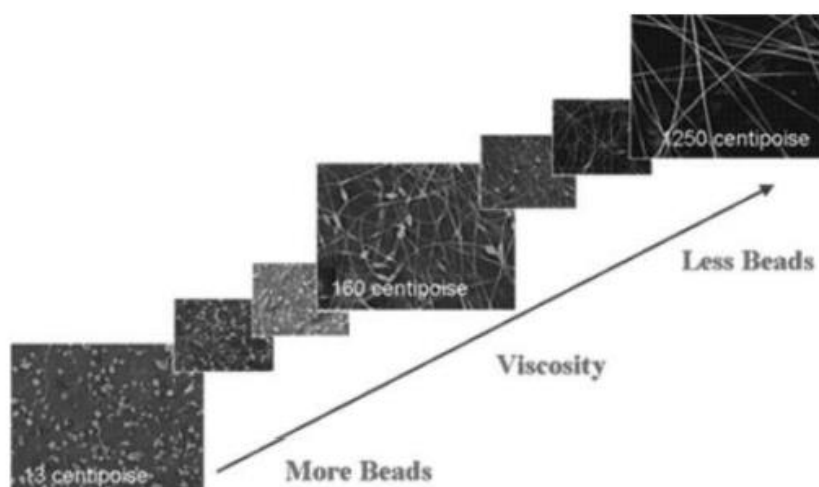


Рис.1.7. Схема зміни структури волокнистого матеріалу одержаного методом електроформування від бісероподібного до рівномірного [33].

Ліу та співавтори [4] досліджували електроформування полібутиленсукцинату (PBS) у семи різних концентраціях полімеру від 11% до 17%. Кількість кульок зменшувалася із збільшенням концентрації полімеру до повного їх зникнення. Це було пояснено нижчим поверхневим натягом, що призводить до збільшення кількості бісеру. Зі збільшенням концентрації полімеру збільшується поверхневий натяг, що призводить до зменшення кількості кульок.

Демір і співавтори показали, що діаметр електроформованого нановолокна був пропорційний кубу концентрації полімеру [34].

Бічлі та співавтори вивчали вплив різних параметрів електроформування на максимальну довжину волокна, середній діаметр, однорідність діаметра та якість PCL нановолокон.

Вони спостерігали, що утворенню волокон іноді перешкоджала висока в'язкість розчину при дуже високій концентрації полімеру [35].

Молекулярна маса

Молекулярна маса є ще одним важливим параметром, який впливає на морфологію електроформованих волокон, оскільки він впливає на в'язкість, поверхневий натяг і провідність. В принципі, молекулярна маса відображає заплутування полімерних ланцюгів у розчинах, що підвищує в'язкість. Підтримка фіксованої концентрації, використання полімеру із занадто низькою молекулярною масою призводить до утворення кульок, а не волокон, збільшення молекулярної маси призводить до отримання гладких волокон, тоді як дуже висока молекулярна маса призводить до того, що волокна отримані методом електроформування мають дуже великих діаметрів [5, 36, 37]. Структури для різних молекулярних мас можна побачити на рисунку 1.8.

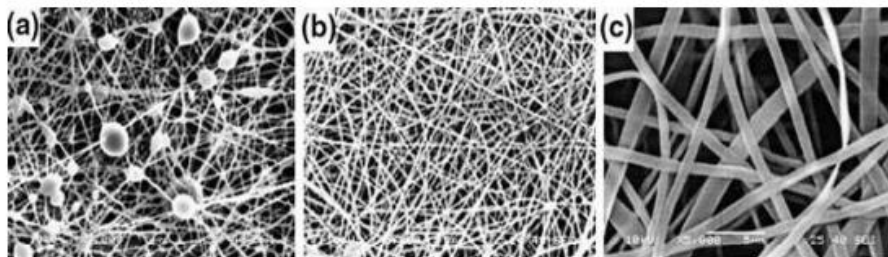


Рис.1.8 Структура нетканого матеріалу одержаного методом електроформування в залежності від молекулярної маси полімеру. а) 9000-10999 г/моль, б) 13000-23000 г/моль, с) 31000-50000 г/моль [36].

Лонг і Мак Кі отримали неткані мембрани з фосфоліпідного волокна розміром з олігомер із розчинів лецитину шляхом електроформування. Це показало, що висока молекулярна маса не завжди потрібна, якщо достатні міжмолекулярні взаємодії можуть забезпечити заміну міжланцюгової зв'язності, отриманої за допомогою переплутування ланцюга [38].

В'язкість розчину

Оптимальна в'язкість розчину необхідна для електроформування, оскільки дуже низька в'язкість не призводить до утворення волокон, а дуже висока в'язкість призводить до труднощів у виведенні струменів з розчину полімеру. Крім того, в'язкість дуже важлива для морфології волокна. В'язкість, полімеру, концентрація і молекулярна маса пов'язані один з одним.

Як правило, в'язкість розчину можна регулювати, змінюючи концентрацію полімеру в розчині.

Різна в'язкість розчину призводить до різної структури (Рис 1.9). Діапазон в'язкості для різних полімерів для електроформування відрізняються один від одного. Збільшення в'язкості розчину або концентрації призводить до електроформування волокна з більшим і більш однорідним діаметром. Поверхневий натяг є домінуючим фактором для низьких в'язкостей, що є результатом бісеру або бісерних волокон [5, 37]. Дослідники вивчали утворення нановолокна різної в'язкості для ряду полімерів.

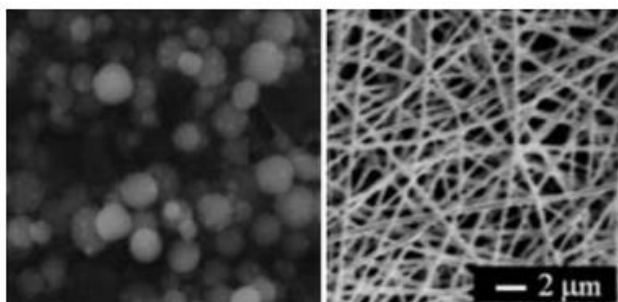


Рис.1.9. Мікрофотографії електроформування полімерів з в'язкістю 1,3 та 15 % [37]

Поверхневий натяг

За допомогою різних розчинників отримують різний поверхневий натяг. Зменшення поверхневого натягу сприяє утворенню нановолокон без гранул, як припускають Доші та Ренекер [16], але низький поверхневий натяг не завжди забезпечує ідеальні умови електроформування. Це важливо для визначення верхньої та нижньої меж за умови, що інші параметри є постійними. Янг та інші дослідили вплив поверхневого натягу на морфологію волокон отриманих методом електроформування з полівінілпіролідону (PVP), використовуючи етанол, ДМФА та МС як розчинники, і показали, що різні розчинники можуть сприяти різному поверхневому натягу. Отримали більш гладкі нановолокна за рахунок зменшення поверхневого натягу та збереження фіксованої концентрації, а бісерну структуру - при більш високому поверхневому натягу [40].

Електропровідність/густина поверхневого заряду

Електропровідність розчину в основному визначається типом полімеру, використовуваним розчинником і наявністю іонізованих солей. Як правило, розчини з більшою провідністю призводять до електроформування нановолокон меншого діаметру. Додавання солей до розчину полімеру підвищує електропровідність розчину та поверхневу щільність заряду [5, 35]. Додавання солі для підвищення провідності розчину використовується для багатьох полімерів, таких як поліакрилова кислота, поліамід 6, поліетиленоксид (PEO), колаген типу IPEO тощо. Молочна кислота (PDLA) дозволяє отримати методом електроформування нановолокна діаметром від 100 до 200 нм. Шляхом додавання іонних солей, таких як KH_2PO_4 , NaH_2PO_4 і NaCl встановлено вплив іонів на структуру порівняно зі структурою волокна, отриманою без додавання солі [41]. Вплив трьох видів солей на структуру мембрани отриманої методом електроформування показано на рисунку 1.10.

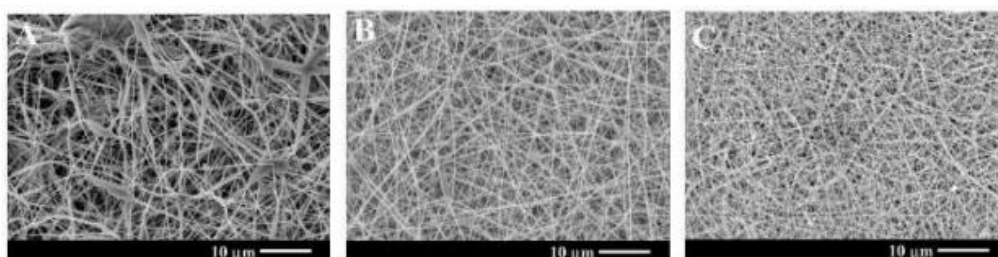


Рис.1.10 Вплив трьох видів солей на структуру волокнистого матеріалу одержаного методом електроформування: А) KH_2PO_4 ; В) NaH_2PO_4 ; С) NaCl [41]

Параметри обробки

Прикладена напруга

Прикладена напруга є вирішальним фактором в електроформуванні, оскільки порогова напруга повинна бути перевищена, щоб заряджені струмені були виведені з конуса Тейлора. Після досягнення порогової напруги відбувається утворення волокна, викликаючи необхідні зміни в розчині разом з електричним полем і запускаючи процес електроформування [5, 37].

Вплив прикладеної напруги на процес електроформування детально вивчено, і є різні аргументи. Ренекер та ін. показали, що прикладена напруга

не має істотного впливу на діаметр волокна при електроформуванні поліетиленоксиду [15]. Чжан та інші показали, що при більш високих напругах відбувається більше виштовхування полімеру, що сприяє утворенню волокна більшого діаметру. Вони вивчали вплив напруги на морфологію волокна та розподіл діаметрів за допомогою розчину полівінілового спирту (ПВС)/води [42].

Швидкість подачі/швидкість потоку

Швидкість потоку полімеру в шприці є ще одним параметром процесу, оскільки на швидкість перенесення матеріалу безпосередньо впливає швидкість струменя. Рекомендується менша швидкість подачі, щоб забезпечити достатньо часу для випаровування розчинника. Повинна бути мінімальна швидкість потоку. Висока швидкість потоку також призвела до структури волокна з бісером [5].

Відстань між наконечником і колектором

Відстань від капіляра до колектора є одним із впливових параметрів, хоча його вплив менш значний на морфологію волокна в порівнянні з іншими параметрами процесу. Необхідно вибрати оптимальну відстань, щоб отримати випаровування розчинника з розчину полімеру.

Колектори

Функцією колектора є також формування провідної підкладки для збору нановолокон. Найчастіше використовується алюмінієва фольга (Рис.1.11), а також обертовий стрижень, сітка, струмопровідний папір або використовують суконний, паралельний або сітчастий колектор [5]. На рисунку 1.12 показана схема електроформування нановолокон, зібраних на різних колекторах [37].

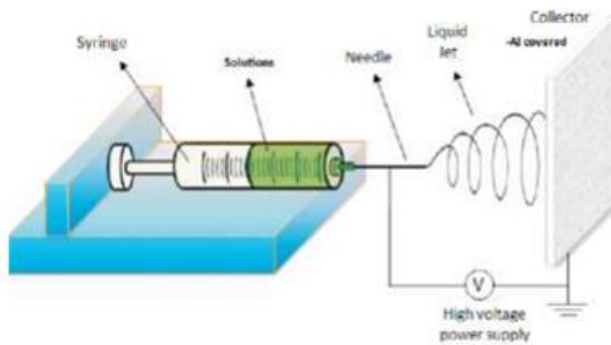


Рис.1.11 Формування провідної підкладки для збору нановолокон [44].

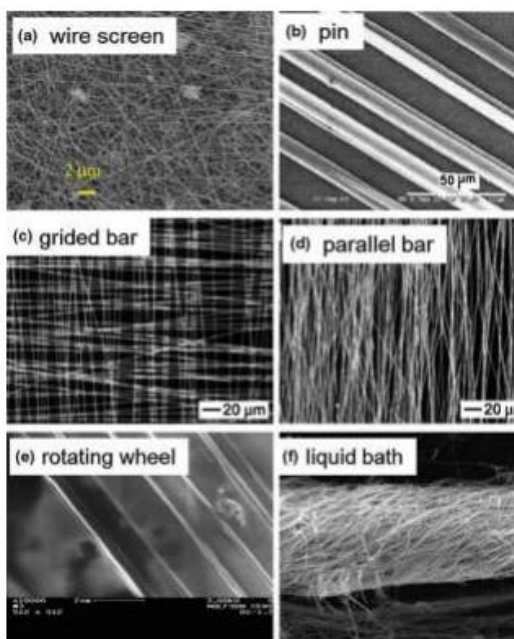


Рис.1.12 Мікрофотографії волокон отриманих методом електроформування в залежності від матеріалу колектора [37]

РЕО волокна були нанесені на обертову багаторамкову структуру, як показано на рисунку 1.13.

Геометрія цілі осадження важлива. Для різних застосувань також розроблені різні цілі осадження. Наприклад, вирівняні мікро- та нановолокна представляють особливий інтерес для інженерії нервової тканини. Секасану та інші [45] розробили новий колектор, який поєднує переваги стандартних паралельних електродів і прядки із загостреною кромкою. Ця нова конструкція зробила можливим осадження на більшій площі поперечного перерізу і вихід одночасно вирівняних волокон (рис.1.14).

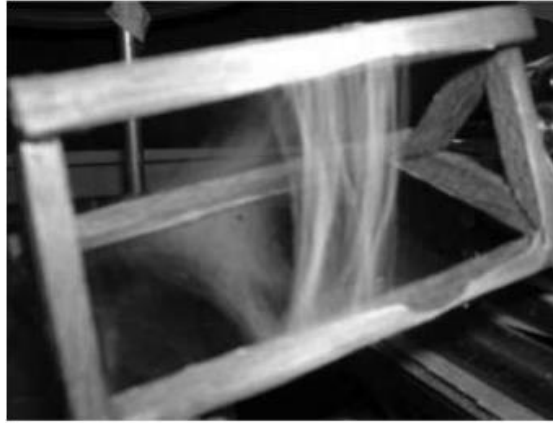


Рис.1.13 РЕО волокна нанесені на обертову багаторамкову структуру [1]

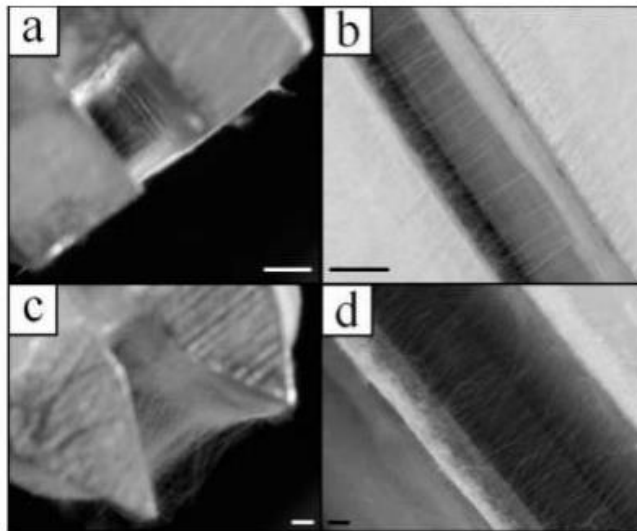


Рис.1.14 Колектор, який поєднує переваги стандартних паралельних електродів і прядки із загостреною кромкою [45]

Параметри навколишнього середовища

Параметри навколишнього середовища, такі як вологість і температура, також впливають на діаметр і морфологію волокна. Підвищення температури призводить до виходу волокон зі зменшеним діаметром, тоді як більш низька вологість може повністю висушити розчинник. Крім того, підвищена вологість призводить до появи дрібних пор на поверхні волокна.

1.5. Застосування матеріалів одержаних методом електроформування.

Технології виготовлення нановолокна мають різноманітні застосування, включаючи біотехнологію, доставку ліків, загоєння ран,

тканинну інженерію, мікроелектроніку, захист навколишнього середовища, збір та зберігання енергії завдяки їх дуже великому відношенню площі поверхні до об'єму, гнучкості у функціональних можливостях поверхні та високій механічній продуктивності [20].

Електроформування з розплаву є альтернативним методом, оскільки усуваються такі проблеми, як видалення розчинників, переробка, екологічні проблеми та токсичність через використання розчинників. Полімер у вигляді розплаву подається в капілярну трубку. Процес повинен проводитися у вакуумі, тому капілярна трубка, хід зарядженого струменя розплаву і металевий колектор повинні бути інкапсульовані у вакуумі. Незважаючи на переваги, які пропонує електроформування з розплаву, метод не набув більшої популярності і не знайшов широкого застосування в порівнянні з електроформуванням з розчину полімеру. В основному це пов'язано з високою в'язкістю, високими технологічними температурами та неможливістю отримати волокна в нанометровому діапазоні. Використання таких високих температур обмежило їх використання в тканинній інженерії або доставці ліків [5].

Через різноманітність застосувань електроформування, особливо з полімерних розчинів, значний обсяг робіт, досліджень і розробок триває в цій області. Робота в основному зосереджена на розширенні асортименту і кінцевого використання. Нижче наведено сучасні варіанти застосування нановолокна та використовувані матеріали:

1. Охорона навколишнього середовища

Електроформовані нановолокна можна використовувати для збору забруднюючих речовин шляхом фізичного блокування або хімічної адсорбції, оскільки вони мають високу питому поверхню. Тому вони можуть бути рішенням щоб захистити наше довкілля.

Використання електроформування нановолокон у фільтрації має давню історію, і такі компанії, як Donaldson, Amsoil і DuPont, розробили фільтри на основі нановолокна для різних цілей, включаючи споживчі, оборонні,

автомобільні та одяг. На рисунку 1.15 показано повітряний фільтр, розроблений Donaldson. Він складається з багатошарового нетканого матеріалу з нановолокна. Електроформовані матеріали з нановолокна мають значне збільшення фільтраційної здатності [46, 47].

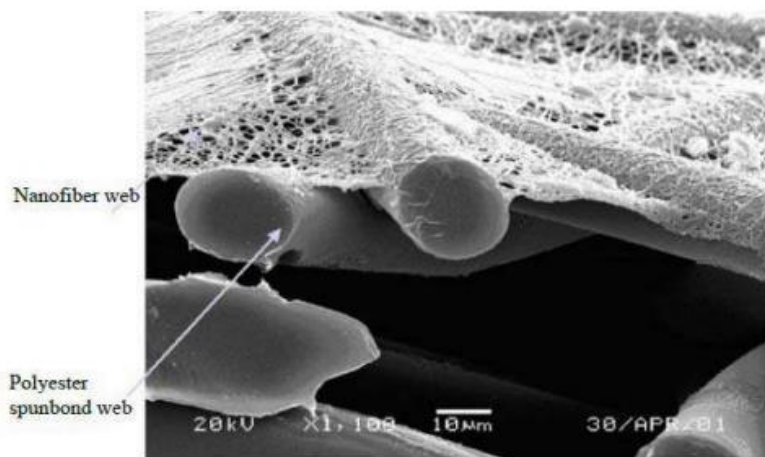


Рис.1.15 Повітряний фільтр, розроблений Donaldson [47].

Іншим застосуванням є адсорбція та відновлення іонів металу. Наявність високого рівня іонів металів є серйозним забрудненням водних ресурсів і може становити ризик для здоров'я людей та навколишнього середовища. Електроформовані нановолокна можна використовувати для збору іонів металу з розчину завдяки їх високій питомій поверхні, високій пористості та контрольованій функціональності поверхні. Адсорбцію іонів металу на нановолокнах одержаних методом електроформування можна покращити шляхом введення функціональних матеріалів на поверхню волокна з використанням хімії поверхні або методів нанесення покриттів, а також шляхом збільшення площі поверхні для покращення адсорбційної здатності [46].

2. Біомедичні

Широкий спектр біополімерів, що піддаються біологічному розкладанню, можна електроформувати та отримувати матеріали зі специфічним розташуванням волокон і структурною цілісністю. Поверхня нановолокна може бути функціоналізована для відображення специфічних

біохімічних характеристик. Метод електроформування дуже підходить для обробки природних полімерів і синтетичних біосумісних або біорозсмоктуваних полімерів для біомедичних застосувань [2]. Майже всі тканини та органи відкладаються в нановолокнистих формах або структурах. Тому електроформовані нановолокна знаходять перспективне застосування в цій області. Тканинна інженерія є однією з найбільш перспективних та найбільш вивчених областей застосування. Метою тканинної інженерії є відновлення, заміна, підтримка або посилення функції певної тканини чи органу, основним принципом якого є Рис.1.16.

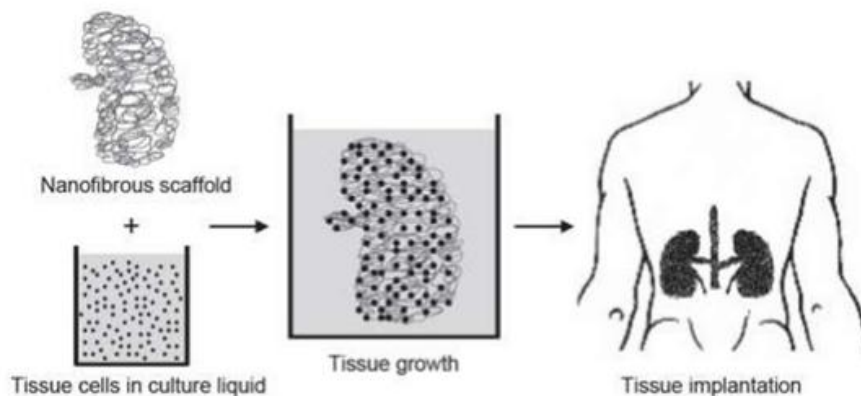


Рис.1.16 Тканинна інженерія [46]

Використовують електроформовані нановолокна в протезах м'яких тканин, таких як кровоносні судини, судини, молочні залози, а також для нанесення на протези твердих тканин у вигляді пористої плівки.

Створення каркасів, які імітують структуру та біологічні функції природного позаклітинного матриксу, є важливою проблемою в тканинній інженерії [1]. Електроформовані нановолокнисті каркаси продемонстрували чудову продуктивність у прикріпленні, проліферації та проникненні клітин. Існує широкий вибір матеріалів для виготовлення електроформованих каркасів для тканинної інженерії, і вони можуть бути категоріями природних і синтетичних полімерів. Переважними є електроформовані волокнисті каркаси, виготовлені з природних полімерів, наприклад з колагену, альгінату, протеїну шовку, гіалуронової кислоти, фібриногену, хітозану, крохмалю.

Серед синтетичних полімерів полікапролактон (PCL), полімолочна кислота (PLA), полігліколева кислота (PGA) та їх кополімери широко використовуються для біомедичних застосувань завдяки їх біосумісності та біологічному розкладанню [3]. Біорозкладні каркаси використовуються як тимчасові шаблони для посіву клітин, інвазії, проліферації та диференціації перед регенерацією клітин.

Електроформовані каркаси, які здатні доставляти біомолекули можна виготовляти різними технологіями. Таким чином, біомолекули можуть бути завантажені в електроформовані каркаси.

Фізична адсорбція заснована на зануренні каркасів у водну фазу. У змішаному електроформуванні біомолекули змішуються в розчині полімеру, і змішаний розчин використовується в процесі електропрядіння для виготовлення гібридного каркаса. Волокна ядро-оболонка, вироблені за допомогою коаксіального електропрядіння, мають великий потенціал у збереженні білків, що забезпечує популярність використання коаксіального електропрядіння в області доставки білка.

Біомолекули іммобілізуються на поверхні волокна за допомогою хімічного зв'язку під час ковалентної іммобілізації. Технологія виготовлення показана на рис.1.17 [3].

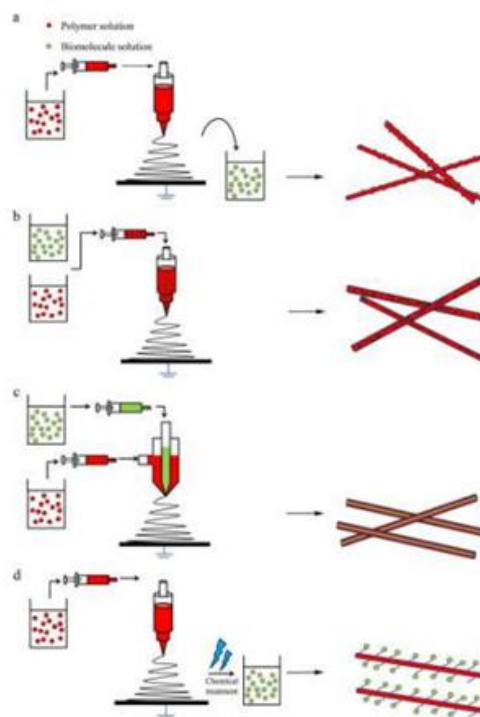


Рис.1.17 Схема іммобілізації на поверхні волокна одержаного методом електроформування біомолекул за допомогою хімічного зв'язку [3].

Двошарові архітектури з електропрядіння нановолокна були виготовлені, щоб імітувати природні каркаси кровоносних судин. Механічні властивості двошарового каркаса були порівнянними з нативними судинами [46]. Чжан та співавтори вивчали тканинну інженерію судинних трансплантатів з генетично модифікованими стовбуровими клітинами кісткового мозку (МСК) на трансплантаті з поліпропіленкарбонату. Вони посіяли МСК на сформовані методом електроформування фіброзні трансплантати та культивували їх. Інтеграція засіяних клітин з каркасами з мікроволокна утворила тривимірний вигляд стільникової мережі. Трубочастий каркас (рис. 1.18) діаметром 2 мм виготовлено електроформуванням поліпропіленкарбонату [51].

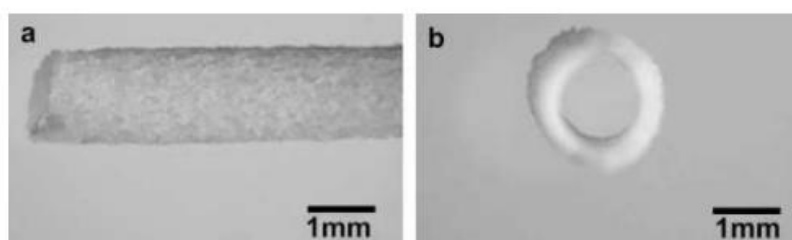


Рис. 1.18 Трубочасте волокно одержане методом електроформування [51]

Електропрядені нановолокна також є ефективними орієнтирами для відновлення нервової тканини. Досліджено вплив діаметра волокна на культивування клітин. Лі та інші виростили поліпірол (PPy) на випадкових і вирівняних нановолокнах PLGA, тим самим включивши електричну стимуляцію під час росту клітин, і вони підготували провідні нановолокнисті каркаси.

Електроформований нановолоконний матеріал також ефективним варіантом для перев'язки ран завдяки високопористій структурі та добре пов'язаних між собою систем пор для виділення рідини з них, високій питомій площі поверхні для пригнічення проникнення екзогенних мікроорганізмів. Тест на загоєння відкритих ран з використанням електроформованого колагенового нановолокна показав, що загоєння на ранній стадії відбувалося швидше, ніж при використанні звичайної бавовняної марлі. Нановолокна біологічно розкладного полімеру можна безпосередньо розпилувати на пошкоджену ділянку шкіри.

3. Захисний одяг.

Мембрани з електроформованого нановолокна потенційно розглядаються для застосування в одязі через їх легкість, велику площу поверхні, високу пористість, високу ефективність фільтрації тощо, що також є бажаними характеристиками захисного одягу. Електроформовані нановолокна, укладені в шар з високою пористістю, але малим розміром пор, забезпечують стійкість до хімічних шкідливих агентів у формі аерозолі [56].

4. Електричне та оптичне застосування.

Провідні нановолокна знаходять застосування в виробництві датчиків, приводів, батарей тощо. Ведуться дослідження з надання нановолокнам сенсорної здатності. Електропровідність є важливою властивістю сенсорних пристроїв. У цьому відношенні цікаві полімери, що проводять. Також використовувалися ізолюючі полімери, але для поліпшення провідності додавалися іони або нанопаповнювачі. Для надання нановолокнам сенсорної

спроможності використано кілька підходів. Полімерний чутливий матеріал може бути використаний для електроформування нановолокон, чутливі молекули можуть бути включені до нановолокна, чутливий матеріал може бути нанесений на поверхню нановолокон шляхом покриття/щеплення [46].

5. Застосування у композитах:

Нановолокна є перспективними для застосування в нанокompозитах. Нановолокна будуть мати кращі механічні властивості, ніж у мікрвоволокон того ж матеріалу, тому нанокompозити будуть мати кращі структурні властивості. У сучасній літературі є велика кількість робіт з вуглецевих нановолокна чи нанотрубки [1]. Існують також нанокompозити, армовані електроформованими полімерними нановолокнами. Електропрядені нановолокна полібензімідазолу (PBI) були використані як армування в епоксидній та гумовій матриці [57]. Бергшоф та ін. виготовили нанокompозит з електроформованими мембранами з нановолокон Nylon-4,6 та епоксидною матрицею.

Жорсткість та міцність цього нанокompозиту була значно вищою, ніж у плівки з еталонною матрицею [58]. Рохас та інші включили віскери целюлози в електроформовані мікрвоволокна на основі полістиролу. Наночастинки віскерів целюлози були використані для армування електроформованих полістирольних мікро- та нановолокон (рис. 1.19). Виготовлені нанокompозитні волокна та відповідні неткані матеріали можуть використовуватися завдяки своїй високопористій структурі та великій площі поверхні [6].

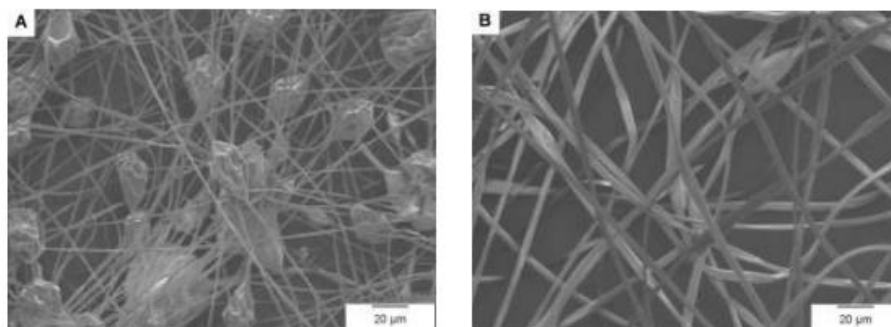


Рис.1.19. Мікрофотографії PS/CNW волокон одержаних методом електроформування полістирольних мікро- та нановолокон [6].

6. Матеріали для збирання та зберігання енергії.

Вважається, що полімерні провідні мембрани можуть знайти застосування в екрануванні електромагнітних перешкод, фотоелектричних пристроях, розсіюванні електростатичної електрики, виробництві мініатюрних електронних пристроїв, датчиків, приводів і т.д. [5].

Було встановлено, що нановолокнисті матеріали мають більш високу ефективність перетворення та зберігання енергії, ніж об'ємні аналоги. Електроформовані нановолокна показали великий потенціал застосування в сенсibiliзованих барвником сонячних елементах.

У паливних елементах електроформовані нановолокна були підготовлені як альтернативний каталізатор для каталізатора з наночастинок Pt, який є основним компонентом в паливному елементі. Вони мають високу каталітичну ефективність і хорошу довговічність.

Що стосується пристроїв для збору механічної енергії, різні п'єзоелектричні матеріали можуть бути перетворені на нановолокнисту структуру методом електроформуння, і ці електроформовані нановолокна мають здатність поглинати енергію.

Вуглецеві нановолокнисті мати, отримані методом електроформування, використовуються в суперконденсаторах і мають високу ємність.

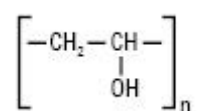
Висновок.

Проведено аналіз джерел інформації на тему електроформування, розглянуто основні способи процесу, фактори які впливають на структуру волокнистого матеріалу, особливості волокон одержаних цим методом, типи колекторів, сфери застосування матеріалів створених методом електроформування.

Розділ 2. ОБ'ЄКТИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ

2.1. Характеристика сировини, що використовувалася в дослідженні

Полівініловий спирт (ПВС) – це тверда органічна порошкоподібна термопластична речовина білого або світло-жовтого кольору, без аромату та смаку, добре розчиняється в воді, ациклічних двоатомних спиртах, пропантріолі-1,2,3, водних розчинах карбаміду.



Стійкий до органічних розчинників, олій, бензину, гасу та інших вуглеводнів, до розбавлених кислот, окислювачів і лужних розчинів. Під впливом сонячного випромінювання і мікроорганізмів проявляє стійкість. Має високу клейкість, може використовуватися в якості емульгатора, плівкоутворювача або адгезійного полімеру. Нетоксичний, гігроскопічний, з постійним вмістом порядку 5 % води. Матеріали на основі ПВС мають високі міцнісні показники на розрив і гнучкість. ПВС горючий, а при розкладанні під час нагрівання утворює воду, вуглекислоту, монооксид вуглецю і етанову кислоту. Як багатоатомний спирт, реагує з кислотами, з альдегідами. Поєднання з йодом приводить до появи синіх комплексів (якісна реакція на ПВС) [60].

В роботі застосовували ПВС марки 16/1 (масова частка ацетатних груп, не більше 0,9-1,7%) ГОСТ 10779-78.

Характеристики ПВС 16/1:

Масова доля летючих речовин, не більше 4 %

Динамічна в'язкість 4%-го розчину 14-17 Па*с

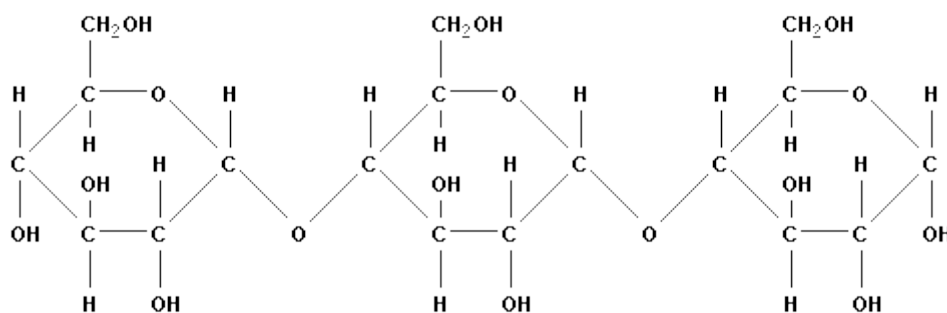
Масова доля ацетатних груп 0,8-2,0 %

Масова доля ацетату натрію в сухому продукті не більше 1,5 %

Концентрація водорозчинних іонів (рН) 4%-го розчину 5,5-8

Розчинність у воді не менше 99,0 %

Крохмаль кукурудзяний (Кр) – виробляють вищого, 1-го гатунку і амілопектиновий. Структурна формула крохмалю:



За зовнішнім виглядом — це однорідний порошок білого кольору з жовтуватим відтінком, без сторонніх запахів. Масова частка золи — не більше ніж 0,2 %, вологи — не більше ніж 13 %.

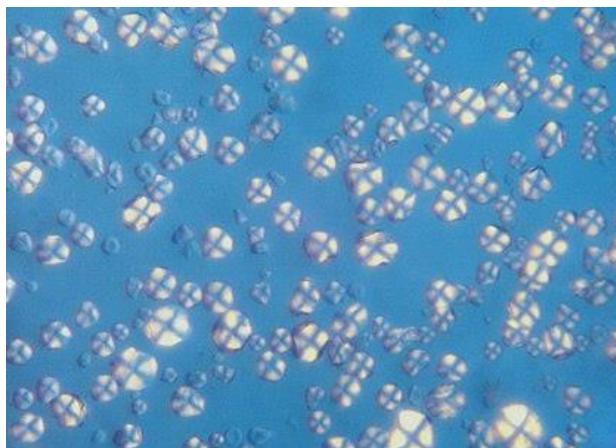


Рис. 2.1 Зерна кукурудзяного крохмалю через поляризаційний мікроскоп; реальний розмір видимого прямокутника - 200 мкм x 150 мкм.

В роботі застосовували крохмаль кукурудзяний ДСТУ 3976-2000 з характеристиками:

Масова доля вологи не більше 13 %

Масова доля загальної золи (в перерахунку на суху речовину) не більше 0,20 %

Кислотність не більше 20 см³

Масова доля протеїну (в перерахунку на суху речовину) не більше 0,8 %

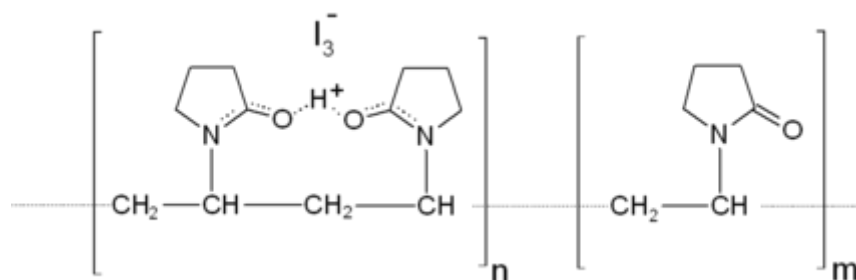
Масова доля сірчаного ангідриду (SO₂) не більше 0,008 %

Кількість зерен крохмалю на 1 дм² рівної поверхні при огляді неозброєним оком не більше 300 шт.

Залишок нерозчинних речовин (в перерахунку на суху речовину) не більше 0,1 %

Кольорова реакція з йодом – від червоного до червоно-фіолетової.

В якості активної речовини використовували *повідон-йод* (лат. Povidonum-iodum, англ. Povidone-iodine) CAS 25655-41-8. Структурна формула:



Використовується лікарська речовина з широким спектром антисептичної дії, представляє собою комплекс йоду з полівінілпіралідоном (ПВП). Концентрація активного йоду в комплексі 0,1—1 %.

10% розчин повідон-йоду використовують зовнішньо для лікування та профілактика ранових інфекцій у хірургії, травматології, комбустіології, стоматології; лікування бактеріальних, грибкових та вірусних інфекцій шкіри, профілактика суперінфекції у дерматологічній практиці; обробці пролежнів, трофічних виразок, діабетичної стопи; дезінфекції шкіри та слизових оболонок пацієнтів при підготовці до оперативних втручань, інвазивних досліджень; дезінфекція шкіри навколо дренажів, катетерів, зондів; дезінфекції ротової порожнини при стоматологічних операціях [61].

В роботі отримували зразки нетканого матеріалу методом електроформування, були досліджені полімерні композиції на основі полівінілового спирту з додаванням кукурудзяного крохмалю та повідон-йоду. ПВС відомий як біосумісний синтетичний полімер здатний біорозкладатися в організмі людини. Для створення нетканого матеріалу покриття ран, яке не потребує травматичного зняття з ушкодженої поверхні, і

яке має лікувальні властивості використали активний лікарський інгредієнт повідон-йод. Використання у складі композиції кукурудзяного крохмалю зумовлене його здатністю надавати пролонгованої дії активним речовинам, разом з тим від має високу сорбційну здатність, що сприяє поглинанню ексудату рани.

2.2 Методика приготування робочих розчинів

Приготування розчину полівінілового спирту.

Для створення композицій для формування зразків волокнистих нетканих матеріалів методом електроформування використовували 10% розчин ПВС.

Наважку порошкоподібного ПВС заварювали на водяній бані при температурі 85-90 °С впродовж 45 хвилин при постійному перемішуванні, до повного розчинення.

Приготування розчину крохмалю.

10 % розчин кукурудзяного крохмалю заварюють на водяній бані при температурі 85-90 °С при постійному перемішуванні до зникнення мутності протягом 30-45 хв.

Для створення композицій для електроформування використовували комбінації ПВС:Кр у співвідношенні 3:1, 1:1, 1:3. Повідон-йод додавали у кількості 1, 2.5, 4, 5, 9%.

2.3. Технологія отримання нетканого матеріалу методом електроформування композицій на основі ПВС:Кр з додаванням повідон-йоду.

Нетканий волокнистий матеріал одержували на лабораторній установці капілярного типу з нижньою подачею робочого розчину, через капіляр діаметром 1,1 мм при напрузі електричного поля 30 кВ. На рисунку 2.2. показана лабораторна установка електроформування створена на кафедрі прикладної екології, технології полімерів та хімічних волокон.



Рис.2.2 Лабораторна установка для виготовлення нетканних матеріалів методом електроформування

2.4. Методи дослідження

2.4.1. Методика визначення електропровідності

Електропровідність розчину – величина яка описує його здатність проводити електричний струм.

Електропровідність виміряли за допомогою цифрового вимірювача води марки TDS-ZT 2 (рис 2.3). Діапазон вимірів приладу від 0 до 9990 ppm/мг/л, точність $\pm 2\%$



Рис 2.3. Солемір TDS-ZT 2

Електрод-аналізатор опускали в полімерну композицію. Після встановлення на дисплеї стабільного показника знімали значення і за

допомогою онлайн TDS калькулятора, переводили отримані показники у формат См/м. перед кожним вимірюванням прилад промивали дистильованою водою, до показника 0.

2.4.2 Дослідження морфологічних властивостей нетканих матеріалів методом оптичної мікроскопії.

Оптичні мікроскопи працюють за рахунок фокусування, дифракції і відбиття електромагнітних хвиль видимого діапазону на препараті. Різновидами оптичної мікроскопії є флуоресцентна, конфокальна, багато фотонна мікроскопія.

Підготовлені зразки розміщують на робочій поверхні мікроскопа, зображення налаштовується на отримання чітких меж об'єктів дослідження. Отримані зображення знімають за допомогою фотокамери. Також фотографується мікроскопічна лінійка. Для точнішого дослідження зразків і усереднення отриманих даних роблять зйомку не менше 5 полів з різних ділянок зразка. Проводили вимірювання поперечних розмірів волокон за методом аналізу отриманих цифрових зображень в програмному пакеті ImageJ з наступною статистичною обробкою та графічним аналізом отриманих даних в пакеті Statistica.

2.4.3 Дослідження сорбційних властивостей плівок гравіметричним методом.

Для дослідження плівок на сорбційні властивості зразки плівки розміром 10×10 мм, товщиною 0,24 мм висушували при 105 °С до постійної ваги. Після чого їх поміщали у ємності для набрякання так, щоб вони не торкалися стінок і заливали дистильованою водою. Час занурення зразка фіксували.

Виміри проводили через 15, 30, 45, 60, 120 хв. Через кожний проміжок часу зразки виймали з ємності і просушували фільтрувальним папером після цього зразок зважували на аналітичних вагах.

Сорбцію води, X (%), розраховували за формулою:

$$X = \frac{(m - m_1)}{m_1} \cdot 100\%$$

де: m - маса зразка в певний момент часу перебування у воді, г;

m_1 - маса сухого зразка, г.

2.4.4 Метод дослідження механічних властивостей плівок

Вивчення відносного видовження зразків полягає у розтягуванні зразка плівки до моменту розривання і вимірюванні навантаження та видовження під час розривання, а також залишкового видовження після розривання. Для проведення випробувань використовують розривні машини з маятниковими вимірювачами сили.

Перед випробуванням перевіряють справність розривної машини, швидкість руху нижнього затискача, точність установки стрілок на нуль. Зразок закріплюють у затискачах строго по мітках $A - A_1$ так, щоб велика вісь зразка збігалася з напрямом розтягнення. Пускають у хід механізм розтягування, фіксуючи навантаження, відповідні заданому подовженню. Після розриву зразка записують значення навантаження, що відповідає положенню нерухомої стрілки, і значення подовження за шкалою подовжень. При фіксуванні значень будь-яких показників очі повинні знаходитися на одному рівні з розподілом шкали. При розриві поза робочою ділянкою результати випробувань не враховуються.

Через одну хвилину після розриву вимірюється з точністю до 0,5 мм довжина робочої ділянки складеного зразка. Число випробовуваних зразків від кожної проби має бути не менше п'яти. Методика визначення механічних властивостей плівок під час розтягу.

Розривне навантаження (F_p, H) та відносне подовження при розриві ($\varepsilon_p, \%$) плівки досліджували, використовуючи розривну машину РТ-250М. Відносне подовження під час розривання ($\varepsilon_p, \%$) розраховували за формулою:

$$\varepsilon = \frac{\Delta l_p}{l_0} \cdot 100\%$$

де Δl_p – зміна розрахункової довжини зразка в момент розриву, мм;

l_0 – початкова розрахункова довжина зразка, мм.

Вимірюючи ширину та товщину плівкових зразків у трьох місцях, визначали поперечний переріз зразків.

Розділ 3. РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ

Для створення нетканого матеріалу було використано лабораторну установку для електроформування капілярного типу з вертикальною подачею робочого розчину при напрузі електричного поля 30 кВ.

3.1 Дослідження електропровідності та здатності до електропрядіння робочих розчинів.

Склад композицій та здатність до електроформування наведені в таблиці 3.1

Таблиця 3.1

Дослідження процесу електроформування композицій на основі ПВС

Зразок	Склад композиції	Повідон-йод, %	Відстань від формуючого до осаджуваного електроду, см	Процес формування	Електропровідність, См/м
1	ПВС	2,5	12	±	0,497
2	ПВС	4	12	±	0,485
3	ПВС	5	15	±	0,515
4	ПВС	9	12-15	-	0,352
5	ПВС:Кр (3:1)	-	12	+	1,237
6	ПВС:Кр (1:1)	-	12-15	-	0,302
7	ПВС:Кр (1:3)	-	12-15	-	0,275
8	ПВС:Кр (3:1)	1	12	+	1,503
9	ПВС:Кр (1:1)	1	15	+	1,426
10	ПВС:Кр (1:3)	1	12	+	1,483

- «-» -формування не відбувається, розчин занадто рідкий;
- «±» - формування нестабільне;
- «+» - формування волокон проходить стабільно.

За результатами досліджень встановили, що для зразків на основі ПВС з додаванням повідон-йоду до 9 % електроформування проходить, але не стабільно. Для композиції ПВС:Кр (3:1) без додавання активного компоненту йоду, та для зразків ПВС:Кр у співвідношенні компонентів 3:1, 1:1, 1:3 з додаванням 1% повідон-йоду відбувається стабільне електроформування,

тому в роботі були досліджені властивості розчинів композицій та неткані матеріали на основі саме цих рецептур.

На рисунку 3.1 наведено розподіл значення електропровідностей формуючих розчинів в залежності від рецептури.

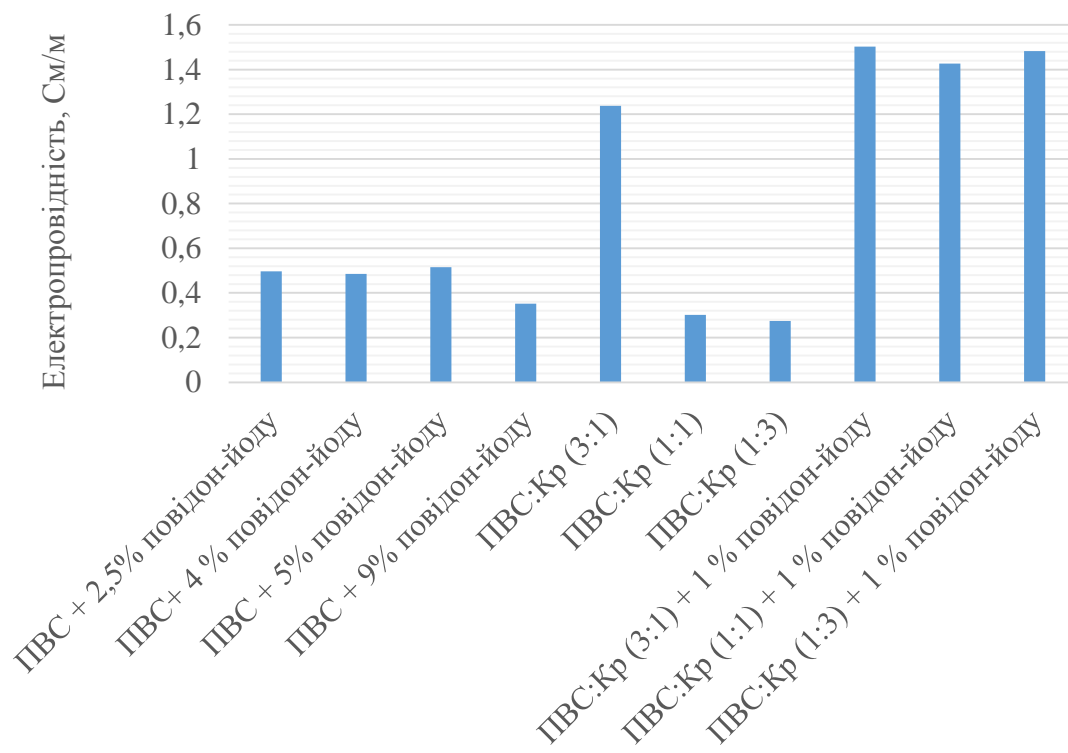


Рис. 3.1 Залежність електропровідності від рецептурного складу розчину для електроформування.

Як видно з рис.3.1, для розчинів в яких електропровідність становила більше 1 См/м процес електроформування проходив стабільно. А для композицій з електропровідністю від 0,485 до 0,515 См/м спостерігався нестабільний процес електроформування з утворення незначної кількості нетканого волокнистого матеріалу. Для композицій з електропровідністю нижче 0,352 процес електроформування не відбувався.

3.2. Дослідження морфології нетканих матеріалів

На морфологічний склад нетканих матеріалів одержаних методом електроформування впливають властивості розчину: в'язкість, електропровідність, поверхневий натяг, пружність; умови електроформування: спосіб, вологість середовища, відстань між електродами, температура.

Дослідження морфології нетканих матеріалів здійснювали на оптичному мікроскопі МБС-9.

На рисунках 3.2-3.8 показані зображення з волокнистими нетканими матеріалами, які отримані з розчинів різних діапазонів в'язкості та різними діаметрами капілярів.

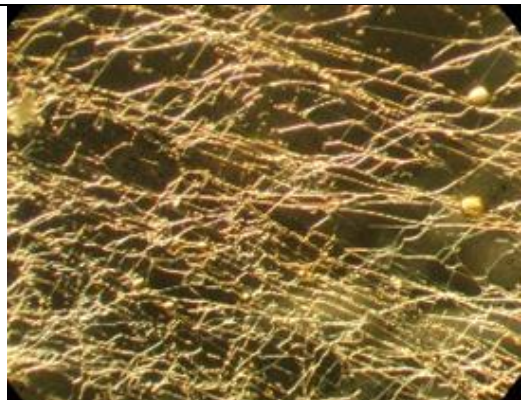


Рис. 3.2 Мікрофотографія та статистичний розподіл діаметрів волокон нетканого матеріалу на основі композиції ПВС з додаванням 2,5 % повідон-йоду

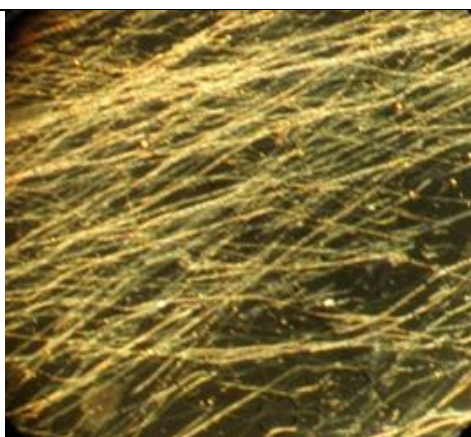
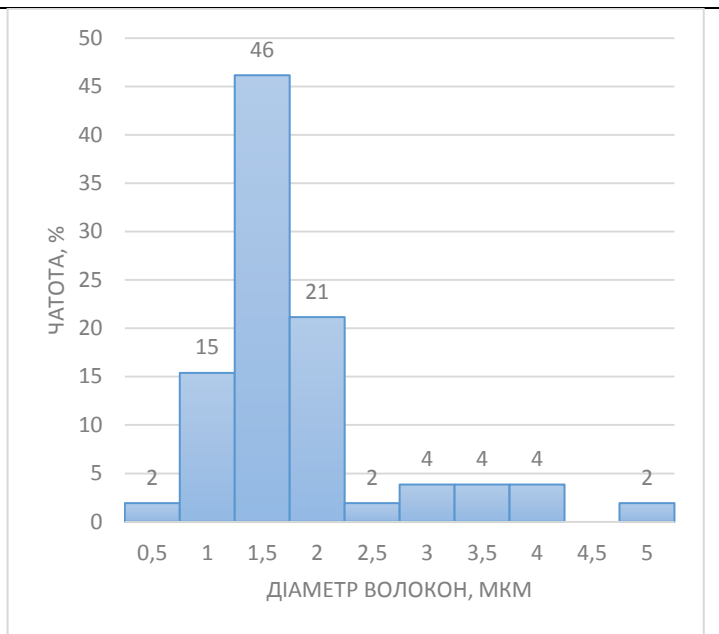
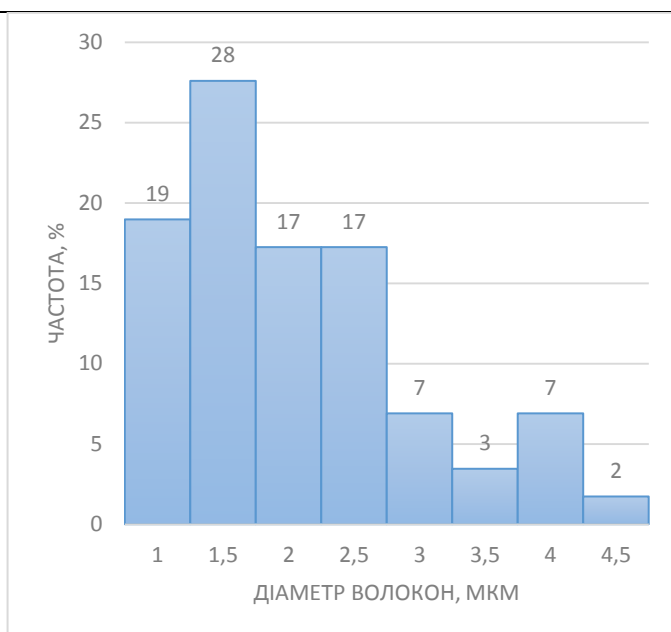


Рис. 3.3 Мікрофотографія та статистичний розподіл діаметрів волокон нетканого матеріалу на основі композиції ПВС з додаванням 4 % повідон-йоду



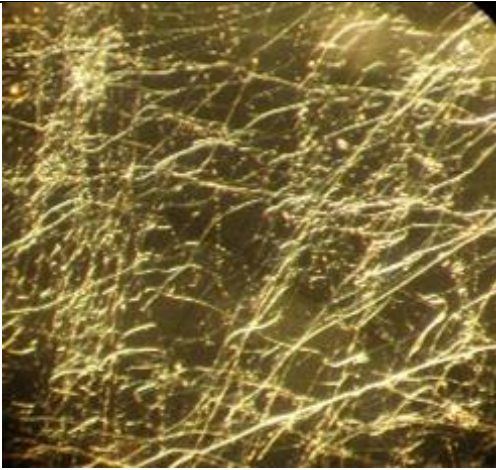


Рис. 3.4 Мікрофотографія та статистичний розподіл діаметрів волокон нетканого матеріалу на основі композиції ПВС з додаванням 5 % повідон-йоду

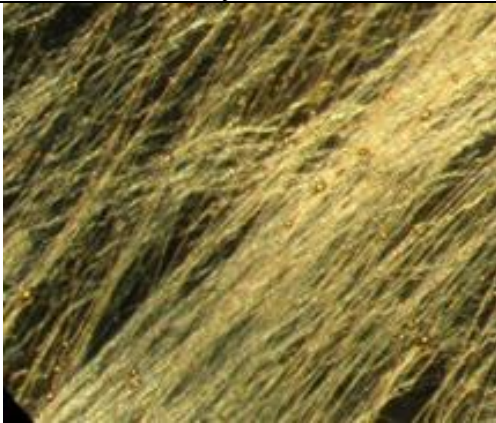
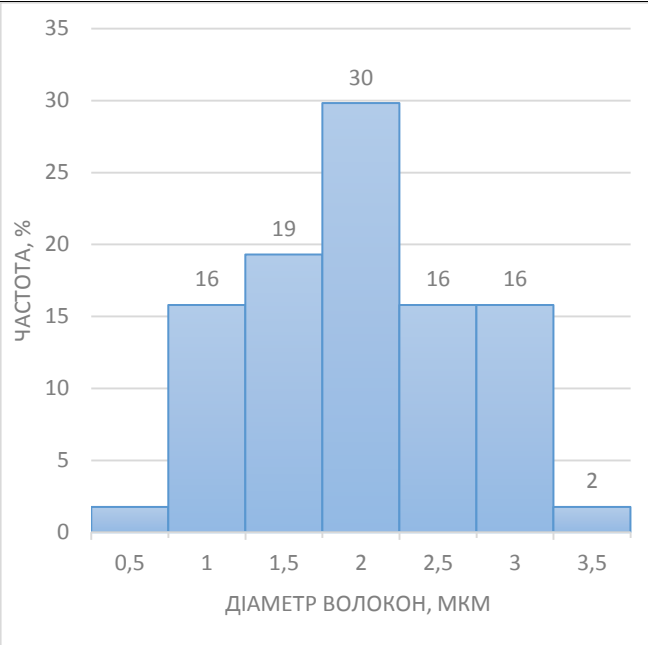


Рис. 3.5 Мікрофотографія та статистичний розподіл діаметрів волокон нетканого матеріалу на основі композиції ПВС:Кр (3:1)

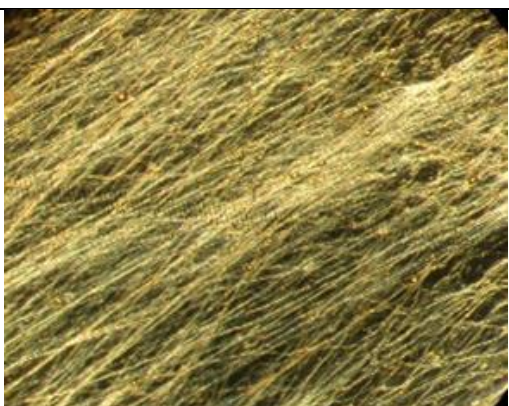
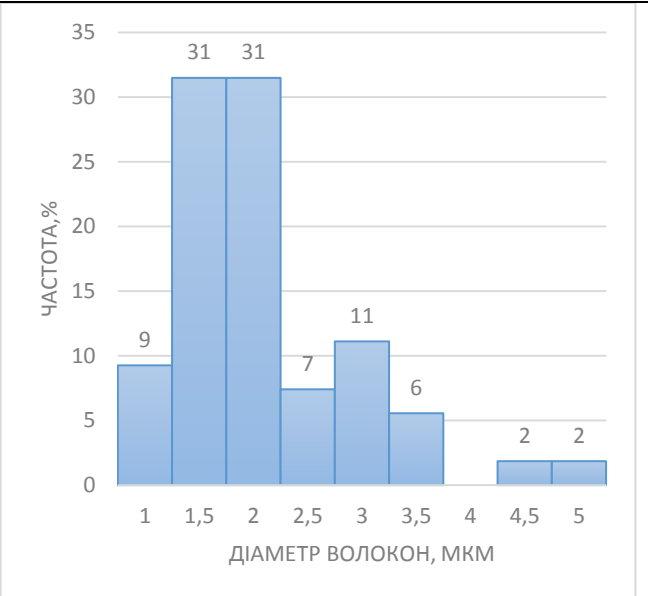
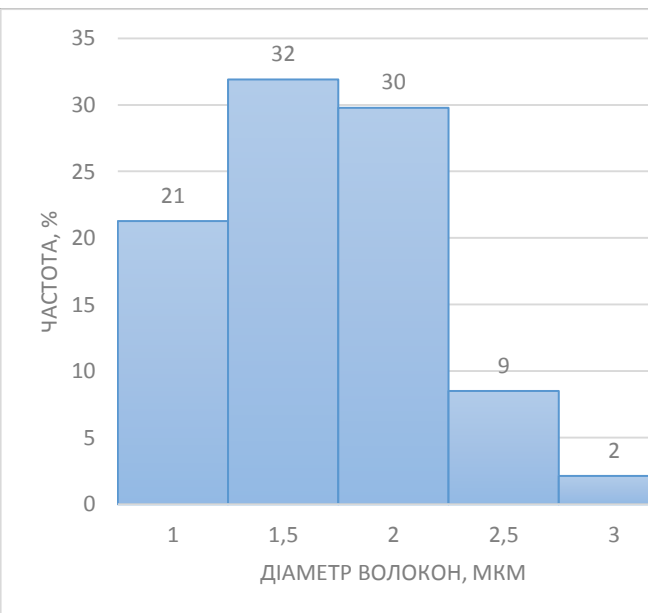


Рис. 3.6 Мікрофотографія та статистичний розподіл діаметрів волокон нетканого матеріалу на основі композиції ПВС:Кр (3:1) з додаванням 1 % повідон-йоду



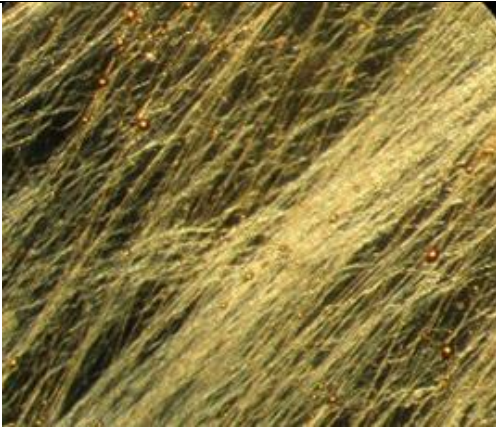


Рис. 3.7 Мікрофотографія та статистичний розподіл діаметрів волокон нетканого матеріалу на основі композиції ПВС:Кр (1:1) з додаванням 1 % повідон-йоду

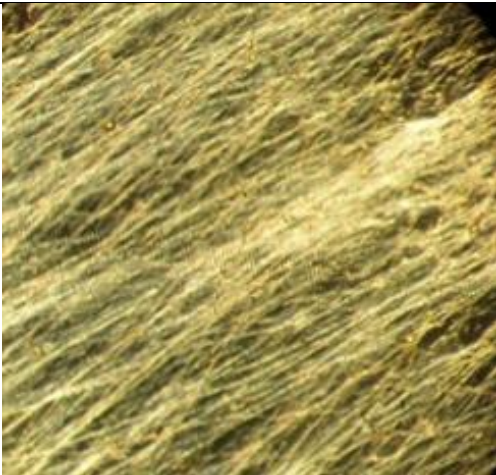
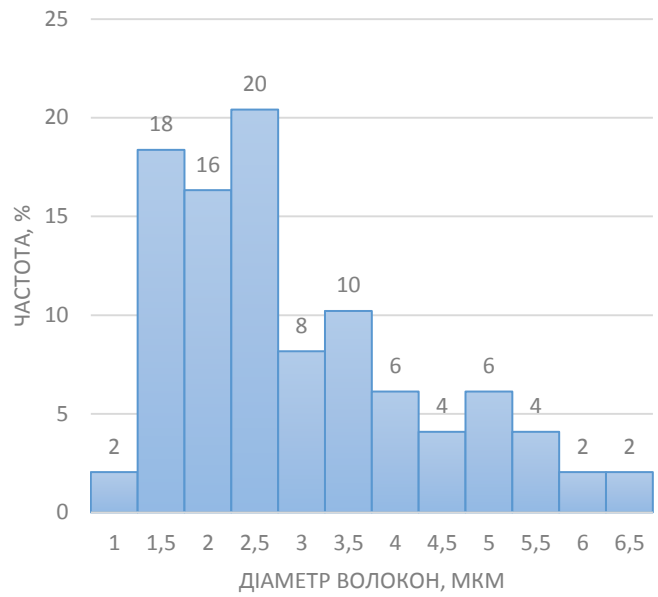
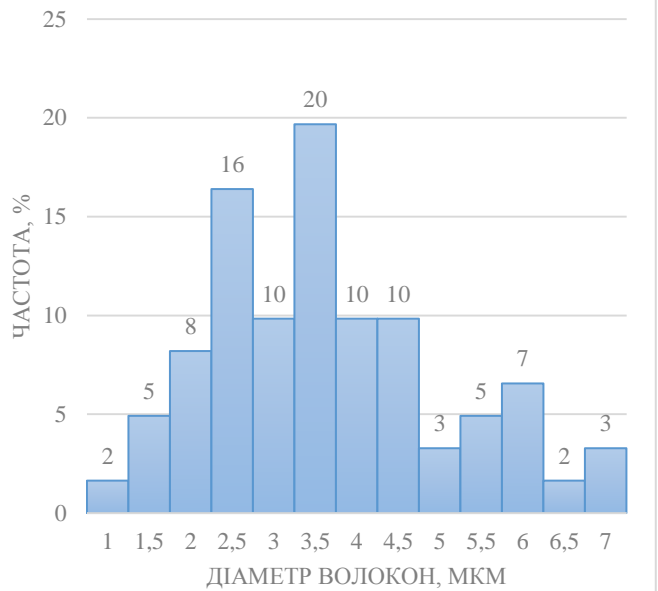


Рис. 3.8 Мікрофотографія та статистичний розподіл діаметрів волокон нетканого матеріалу на основі композиції ПВС:Кр (1:3) з додаванням 1 % повідон-йоду



Аналізуючи статистичний розподіл волокон у нетканих матеріалах отриманих методом електроформування за діаметром можна зробити наступні висновки. Для зразків одержаних на основі ПВС з додаванням 2,5 % повідон-йоду діапазон статистичного розподілу складає 0,5-5 мкм, а найбільше значення частоти 46% відповідає діаметру 1,5 мкм.

Для зразків на основі ПСВ з додаванням повідон-йоду 4%: ширина розподілу 1-4,5 мкм, а максимальна частота 28% характерна для волокон з діаметром 1,5 мкм. При додаванні 5 % повідон-йоду до ПВС вдалося

отримати нетканий матеріал в діапазоні діаметрів волокон 0,5-3,5 мкм при максимальній частоті волокон з діаметром 2 мкм 30 %. Отже, збільшення вмісту повідон-йоду зменшує діапазон розподілу діаметрів волокон з 5 до 3,5 мкм, але збільшує діаметр, який максимально часто зустрічається до 2 мкм.

З рисунків 3.9 та 3.10 випливає, що максимальна частота 62 % відповідає волокнам з діаметром 1,5-2 мкм, при цьому додавання повідон-йоду у кількості 1 % звужує розподіл за діаметром з 5 до 3 мкм. Для нетканих матеріалів отриманих з композицій ПВС:Кр (1:1) з додаванням 1% повідон-йоду характерний розподіл за діаметрами волокон у діапазоні 1-6,5 мкм, та максимальною частотою 54 % у межах 1,5-2 мкм. Для зразків на основі композиції ПВС:Кр (1:3) з додаванням 1% повідон-йоду ширина розподілу становить 1-7 мкм, а максимальна частота для діаметра 3,5 мкм – 20 %.

Отже збільшення вмісту крохмалю у композиціях на основі ПВС з додаванням 1 % повідон-йоду призводить до розширення діапазону розподілу діаметрів волокон та зменшення максимального значення частоти на 34 %, при збільшенні діаметру на 1,5 мкм.

3.3 Дослідження сорбційних властивостей

В роботі для дослідження сорбційних властивостей були використані плівки отримані методом поливу та висушені при кімнатній температурі. На рисунку наведена залежність сорбції від часу перебування зразків у воді.

Криві сорбції зразків плівок на основі ПВС з додаванням крохмалю мають максимальні показники водопоглинання у межах 400-500 %, які досягаються протягом перших 15 хвилин. Подальше перебування зразків у воді практично не впливає на показник сорбції. При введенні 1 % повідон-йоду у композицію на основі ПВС:Кр показник сорбції різко знижується до 200-250 %, а подальше перебування у воді не змінює набрякання зразків. Можливо утворюється просторова структура, яка сприяє зменшенню сорбційних властивостей матеріалів на основі ПВС:Кр.

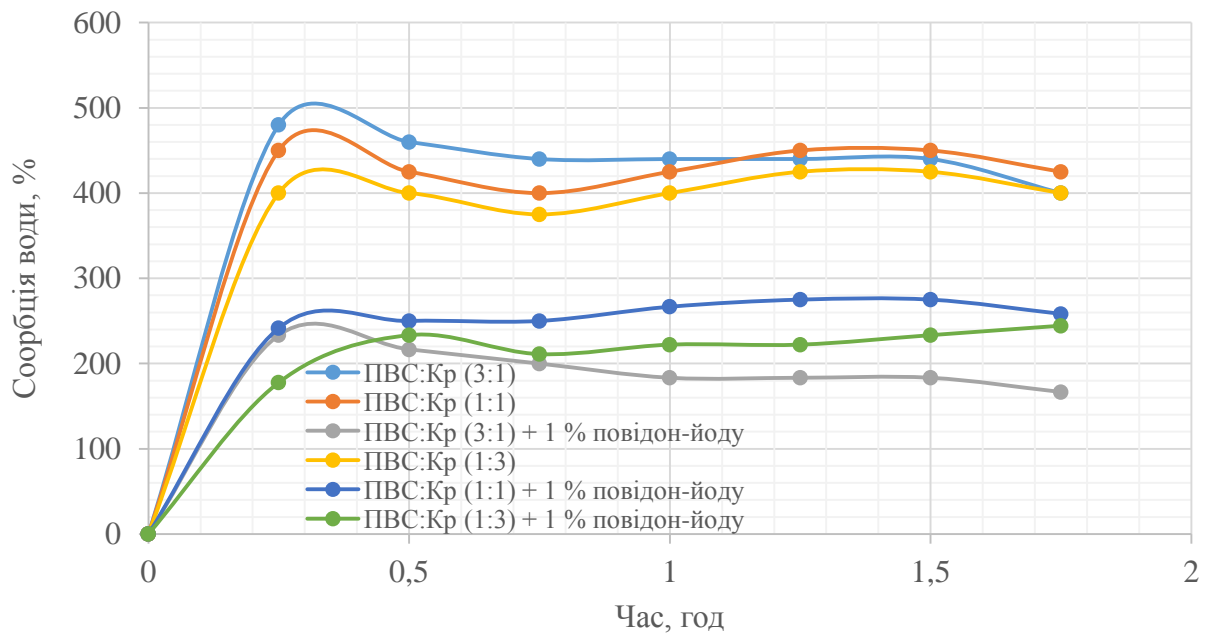


Рис. 3.11 Залежність сорбції від часу перебування зразків у дистильованій воді.

Отже, повідон-йод знижує на 250 % сорбцію води плівками на основі ПВС:Кр, але, разом з цим, надає спеціальних властивостей матеріалам.

3.4 Дослідження механічних властивостей

При дослідженні фізико-механічних показників плівок на основі ПВС:Кр визначали міцність на розрив та відносне подовження при розриві.

Для випробування були взяті зразки на основі ПВС:Кр (3:1, 1:1, 1:3) та зразок ПВС:Кр (3:1) + 1 % повідон-йоду. Зразки ПВС:Кр (1:1 та 1:3) + 1 % повідон-йоду не були придатні для випробовування на розтягнення. На рисунках 3.12-3.13 наведені залежності міцності на розрив та відносного видовження при розриві.

Міцність на розрив для зразка плівки на основі ПВС:Кр (3:1) становить максимальні 0,58 МПа, а введення 1% повідон-йоду знижує міцність до 0,31 МПа. Збільшення долі крохмалю у композиції на основі ПВС зменшує міцність плівок.

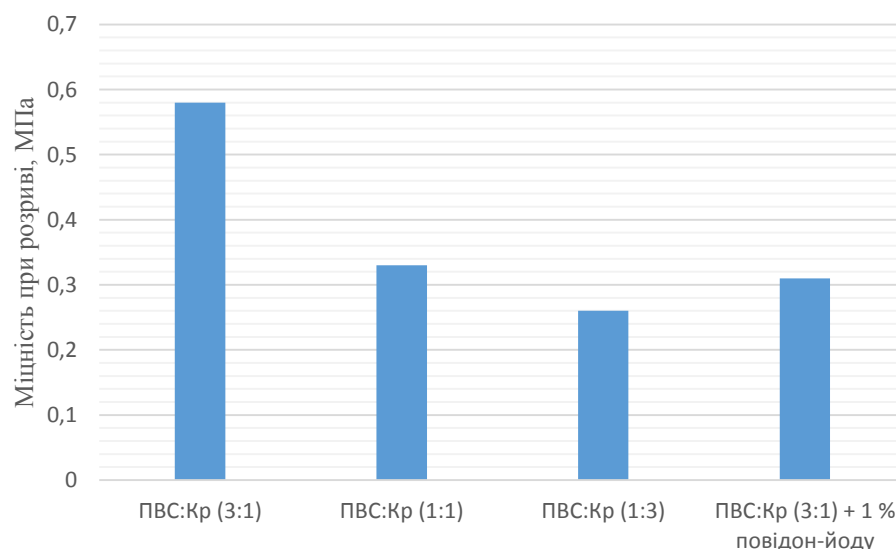


Рис. 3.12 Залежність міцності на розрив від складу композиції ПВС:Кр.

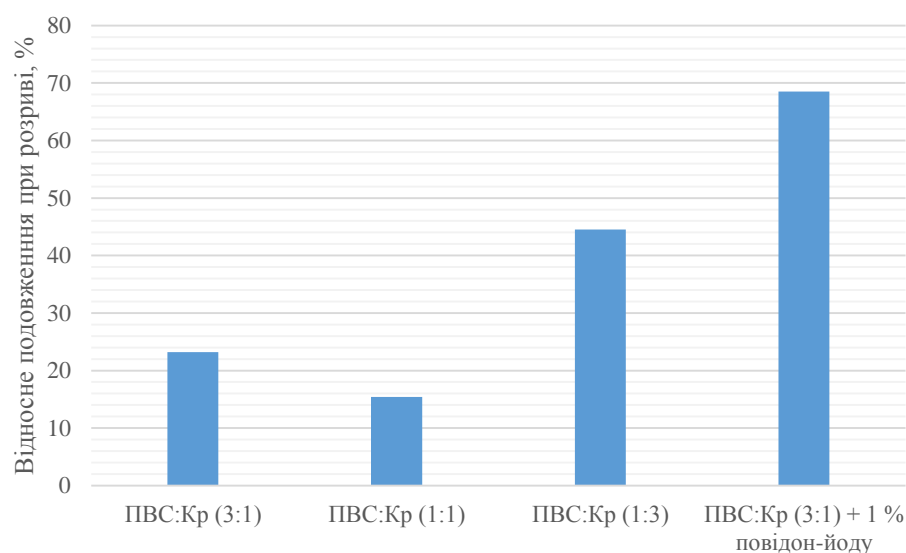


Рис. 3.13 Залежність відносного подовження при розриві від складу композиції ПВС:Кр.

Разом з цим, дослідження відносного подовження при розриві (рис. 2.14) показує, що введення повідон-йоду у композицію на основі ПВС:Кр (3:1) підвищує еластичність матеріалу, а відносне подовження зростає з 23,2 до 68,5 %.

Висновки.

Встановлено, що електроформування відбувається для зразків на основі ПВС з додаванням повідон-йоду до 9 % не стабільно, при цьому електропровідність розчинів становить від 0,485 до 0,515 См/м. Для композиції ПВС:Кр (3:1) без додавання активного компоненту йоду, та для

зразків ПВС:Кр у співвідношенні компонентів 3:1, 1:1, 1:3 з додаванням 1% повідон-йоду процес електроформування стабільний, при електропровідності більше 1 См/м. Для композицій з електропровідністю нижче 0,352 процес електроформування не відбувався.

Аналіз статистичних розподілів волокон у нетканих матеріалах отриманих методом електроформування за діаметром показав, що для зразків на основі ПВС зі збільшення вмісту повідон-йоду сприяє зменшенню діапазону розподілу діаметрів волокон з 5 до 3,5 мкм, при збільшенні максимальної частоти до 30 % з діаметром 2 мкм. При введенні в композиції ПВС розчину крохмалю у співвідношенні ПВС:Кр (3:1) вдалося отримати неткані матеріали методом електроформування з максимальною частотою 62 % та діаметром 1,5-2 мкм, при цьому додавання повідон-йоду у кількості 1 % звужує розподіл за діаметром з 5 до 3 мкм. Збільшення вмісту крохмалю у композиціях на основі ПВС з додаванням 1 % повідон-йоду призводить до розширення діапазону розподілу діаметрів волокон та зменшення максимального значення частоти на 34 %, при збільшенні діаметру на 1,5 мкм.

Дослідження сорбційних властивостей плівок на основі ПВС:Кр показали, що повідон-йод знижує на 250 % сорбцію води, але, разом з цим, надає спеціальних властивостей матеріалам.

Аналіз механічних властивостей плівок на основі ПВС:Кр показав, що максимальна міцність на розрив характерна для зразка 3:10 і становить 0,58 МПа, а додавання 1% повідон-йоду знижує міцність до 0,31 МПа. Збільшення долі крохмалю у композиції на основі ПВС зменшує міцність плівок, а введення повідон-йоду призводить до втрати плівками механічної міцності, можливо у зв'язку з реакцією крохмалю з йодом. Разом з тим введення повідон-йоду у композицію на основі ПВС:Кр (3:1) сприяє підвищенню еластичності матеріалу з показником відносного подовження з 23,2 до 68,5 %.

Розділ 4. ЕКОЛОГІЧНА БЕЗПЕКА

Важливим соціально-економічним аспектом будь-якої трудової діяльності є охорона та безпека праці працівника, яка дає можливість не лише підвищити продуктивність його праці, а й зберегти ресурси його життя та здоров'я.

У цивілізованому суспільстві велике значення надається умовам праці та їх поліпшенню. Адже здорові умови праці підсилюють мотивацію до точного виконання правил та безпечної поведінки працівників хімічної лабораторії.

Умови праці визначаються станом виробничої обстановки (середовища), яка включає в себе соціально-економічні, матеріально-речові, виробничі і природні елементи. Умови праці на робочому місці, безпека технологічних процесів, роботи машин, механізмів, устаткування та інших засобів виробництва, стан засобів колективного та індивідуального захисту, що використовується працівником, а також санітарно-побутові умови повинні відповідати вимогам нормативних актів про охорону праці.

Робота в хімічних лабораторіях ніколи не відносилась до категорії безпечних. Історія науки з часів середньовічних алхіміків і до наших днів багата прикладами тяжких нещасних випадків, часто з людськими жертвами, у результаті вибухів і пожеж у лабораторіях. Ризик був і є постійним супутником хіміка. Необхідний рівень безпеки і нешкідливості праці в сфері науки і виробництва закликає забезпечити система охорони праці.

4.1 Аналіз умов праці на робочому місці

Дослідження проводилися в лабораторії навчального закладу Київського Національного Університету Технології та Дизайну. Приміщення знаходиться на другому поверсі п'ятиповерхової будівлі.

У лабораторіях навчальних закладів постійно проводять наукові дослідження із застосуванням хімічних речовин. При неправильному

поводженні з речовинами хімічного походження можливе отруєння працівників, хімічні опіки, розвиток професійних захворювань.

В лабораторії встановлена витяжна шафа для робіт, при проведенні яких можливий бурхливий перебіг процесу, підвищення тиску, перегрів скляного приладу або його пошкодження з розбризкуванням гарячих або їдких продуктів. За місцем таких робіт необхідно встановлювати прозорі запобіжні щитки. Припливно-витяжну вентиляцію у всіх приміщеннях лабораторії вмикають за 30 хвилин до початку проведення робіт і вимикають – після закінчення проведення робіт. При цьому спочатку вмикають витяжну вентиляцію, а потім припливну; вимикають навпаки – спочатку припливну, а потім витяжну. Роботи в лабораторії повинні проводитись тільки при справній вентиляції, необхідно передбачити автоматичне включення та блокування вентиляції. У разі виявлення будь-яких несправностей вентиляції працівник повинен повідомити про це керівника лабораторії, а також службу охорони праці.

Приміщення хімічної лабораторії забезпечується природним, штучним та суміщеним освітленням залежно від характеристики зорової роботи. Місцеве освітлення повинно застосовуватись у комбінації із загальним освітленням. Застосування лише місцевого освітлення заборонено. Світильники місцевого освітлення за своїм улаштуванням повинні відповідати категорії та групі вибухонебезпечних речовин і бути влаштовані так, щоб працівник міг за бажанням змінити напрям світлового потоку.

Суттєвий вплив на стан організму працівника, його працездатність здійснює мікроклімат (метеорологічні умови) у виробничих приміщеннях, під яким розуміють умови внутрішнього середовища цих приміщень, що впливають на тепловий обмін працюючих з оточенням. Мікроклімат визначається сукупністю фізичних параметрів повітряного середовища, таких як температура, швидкість руху, вологість і барометричний тиск повітря, температура поверхонь, що оточують людину

Показники мікроклімату в робочій зоні хімічних лабораторій мають відповідати вимогам „Державних санітарних норм мікроклімату виробничих приміщень” (ДСН 3.3.6.042-99). В даній лабораторії де проводились дослідження температура повітря становила - +20...+22 °С, його відносна вологість 45-50 %.

У робочій зоні хімічних лабораторій вміст пилу, газів і пари шкідливих речовин не повинен перевищувати ГДК, встановлених ГОСТ 12.1.005-88. Рівень шуму в хімічних лабораторіях не повинен перевищувати норми – 60 дБА, встановленої „Державними санітарними нормами виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку”.

4.2 Розробка заходів з охорони праці

Приміщення хімічних лабораторій з їх улаштуванням, обладнанням і плануванням повинні відповідати вимогам будівельних норм і правил, санітарних норм, вказівок по будівельному проектуванню підприємств, будівель і споруд хімічної промисловості.

Підлога у лабораторії повинна бути рівною, не слизькою, із зручною для очищення поверхнею, виконаною з матеріалів, тривких до кислот, лугів, розчинників та інших хімічних речовин. Стіни лабораторних приміщень мають бути з вогнестійких матеріалів, поверхню яких можна легко змивати.

В приміщенні даної лабораторії потрібно збільшити кількість світильників місцевого освітлення задля збільшення подачі світла. Близько 90% всієї інформації, що отримується людиною, приходиться на органи зору. Організація освітленості робочих місць грає велику роль у житті людини. Недостатнє та нераціональне освітлення веде до стомлення очей, розладу центральної нервової системи, зниженню розумової та фізичної працездатності, а у ряді випадків може бути причиною травматизму (близько 5% травм приходиться на частку нераціонального та недостатнього освітлення). Причиною втомлюваності може служити також надмірна блискучість поверхней оточуючих конструкцій. Блискучі поверхні створюють світлові блики, які викликають тимчасове осліплення.

Нерівномірність освітлення та різна блискучість оточуючих предметів приводить до частоті переадаптації очей під час роботи та внаслідок цього - до швидких втомлення органів зору. Тому добре освітлені поверхні, що знаходяться в колі зору, краще зафарбовувати у кольори середньої освітленості.

Розрахунок системи штучного освітлення

Для приміщення лабораторії використовувались світильник типу ПВЛ-1 та люмінесцентні лампи типу ЛД, потужність яких становить-40 Вт, світловий потік-2500лм. Коефіцієнт відбиття стелі – $\rho_{\text{стелі}}=70\%$, стін – $\rho_{\text{стін}}=50\%$, а мінімальне освітлення $E=300\text{лк}$. Висота світильників над робочою поверхнею становить 1,4м. Показники приміщення розраховуються:

$$i = \frac{A * B}{H * (A + B)} = \frac{8 * 10}{2,1 * (8 + 10)} = 2,1$$

де A, B – розміри приміщення в плані (ширина, довжина), м;

H – висота підвісу світильників над робочою поверхнею, м;

При вище зазначених даних розраховуємо необхідну кількість ламп – n , необхідних для створення відповідної освітленості за формулою:

$$n = \frac{E_{\text{min}} * S * K * Z}{\eta * F} = \frac{300 * 80 * 1,5 * 1,1}{0,56 * 2500} = \frac{39600}{1400} = 28 \text{ ламп}$$

де E_{min} - мінімальна освітленість, 300лк;

S – площа, що освітлюється, 80 м²

K – коефіцієнт запасу, який враховує старіння ламп, запиленість та забрудненість світильників, $K=1,5$;

Z – коефіцієнт, що характеризує нерівномірність освітлення, становить 1,1 – для ліній, що світяться, виконаних світильниками з люмінесцентними лампами;

F - світловий потік однієї лампи, 2500лм;

η – коефіцієнт використання випромінюваного світильниками потоку світла на розрахунковій площині (визначають залежно від типу світильника, коефіцієнта відбиття стелі, стін, підлоги та індексу приміщення, $\eta=56\%$)

Після розрахунку кількості ламп можна визначити кількість світильників, для створення нормованої освітленості. У даному типі світильників міститься дві лампи, отже:

$$N = \frac{n}{n_c} = \frac{28}{2} = 14 \text{ світильників}$$

де n_c – кількість ламп в одному світильнику, шт

Отже, з розрахунків ми спостерігаємо, що необхідна кількість світильників та ламп для забезпечення нормованої освітленості робочих поверхонь становить 14 світильників та 28 ламп.

При виконанні досліджень використовуються різні хімічні речовини, при роботі з якими в повітря вивільнюються небезпечні пари для організму людини. Задля цього лабораторія повинна бути оснащена постійно діючою вентиляцією, яка повинна забезпечувати кратність повітрообміну, яка розраховується залежно від виду та класу небезпеки речовини, що застосовується в хімічній лабораторії, та роботу системи місцевих відсмоктувань для видалення пилу та вибухонебезпечних речовин від місць їх утворення.

4.3 Пожежна безпека приміщення

В кожній хімічній лабораторії забезпечуються організаційні заходи щодо пожежної безпеки відповідно до вимог Правил пожежної безпеки в Україні, затверджених наказом Міністерства України з питань надзвичайних ситуацій.

Категорії приміщень лабораторій відносяться за пожежною, вибухопожежною та вибуховою небезпечністю до категорії В, а відповідно до ПУЕ - до вибухонебезпечних класу 02. Будівлі лабораторій повинні бути не нижче другого ступеня вогнестійкості.

У приміщенні хімічних лабораторій повинні знаходитись первинні засоби пожежогасіння (ящики з сухим піском, вогнегасники, пожежні покривала з негорючого теплоізоляційного матеріалу тощо), для зазначення місцезнаходження яких встановлюють вказівні знаки. Первинні засоби

пожежогасіння, в залежності від категорії приміщень, можуть розташовуватись як окремо, так і в складі пожежних щитів. У разі аварійної перерви у подачі електричної енергії всі електроприлади повинні бути негайно вимкнені. Електропроводи і електроприлади, що знаходяться під напругою, у випадку пожежі необхідно знеструмити і гасити вуглекислотними вогнегасниками відповідно до вимог ДСТУ 3675-98, ДСТУ 3734-98. Заборонено гасити їх водою.

Усі роботи в лабораторії повинні проводитись на справному електрообладнанні. Електроприлади повинні вмикатись в електромережу лише за допомогою справних штепсельних з'єднань і електророзеток заводського виготовлення. При виявленні пошкоджень ізоляції електромережі, штепселів, розеток та іншої пускорегулюючої апаратури необхідно відразу оповістити особу, відповідальну за енергогосподарство.

Не можна залишати без нагляду робоче місце, ввімкнені нагрівальні прилади і працююче лабораторне обладнання, перелік якого визначений інструкцією з охорони праці, виробничої санітарії і пожежної безпеки.

В лабораторному приміщенні встановлені вогнегасники **порошкові ВП-5** з масою вогнегасної речовини 5 кг призначені (залежно від виду зарядженого порошку) для ліквідації пожеж твердих речовин, в основному органічного походження (клас А); пожеж горючих рідин або плавких твердих речовин (клас В); пожеж газоподібних речовин (клас С), а також пожеж електрообладнання, що знаходиться під напругою не більше 1000 В (пожежа класу Е), при експлуатації в умовах помірного клімату У, категорії 2, тип атмосфери II по ГОСТ 15150.

Загальна площа лабораторії становить $S=80\text{м}^2$. Беручи до уваги площу приміщення та граничну захисну здатність $\Gamma_3 = 50\text{ м}^2$ розраховуємо необхідну кількість вогнегасників, що мають знаходитися на території лабораторії за формулою:

$$n = \frac{S}{\Gamma_3} = \frac{80}{50} = 1,6$$

З розрахунку ми спостерігаємо, що необхідна кількість вогнегасників які підлягають встановлення в приміщенні лабораторії становить 2 шт.

Таблиця 4.1.

Технічні характеристики вогнегасника порошкового ВП-5

Місткість корпусу, л	6
Маса заряду, кг/л	$5 \pm 0,25$
Робочий тиск, МПа	$1,4 \pm 0,2$
Тривалість ОТВ, сек	10
Довжина струменя, м	3
Вогнегасна здатність по класу А	2 А
Вогнегасна здатність по класу В	70 В
Маса, кг	7,3
Габаритні розміри (діаметр, висота), мм	160×505
Вогнегасна речовина Порошок вогнегасний	40 АВСЕ
Температура експлуатації, °С	-40 до +50
Термін служби	10 років
Періодичність перезарядки	1 раз на рік

Вогнегасники слід розміщувати у легкодоступних і помітних місцях, а також поблизу місць, де найбільш імовірна поява осередків пожежі.

Порошкові вогнегасники заборонено встановлювати поблизу нагрівальних приладів і під впливом прямих сонячних променів, а також необхідно забезпечити їх захист від дії хімічно агресивних речовин (середовищ), які можуть негативно вплинути на їх працездатність.

Вогнегасники, що не пройшли контрольного зважування або з вичерпаним терміном придатності необхідно перезарядити.

Особа, відповідальна за пожежну безпеку на об'єкті, зобов'язана забезпечити:

- ✓ виконання вимог правил експлуатації вогнегасників;
- ✓ утримання вогнегасників у працездатному стані шляхом своєчасного проведення їх огляду та організації технічного обслуговування;
- ✓ контроль за систематичним веденням експлуатаційних документів;
- ✓ навчання працівників підприємства правилам застосування вогнегасників за призначенням.

Евакуація людей з приміщень у разі пожежі передбачається безпосередньо назовні. Обовязково повинен бути план евакуації людей з лабораторії в разі виникнення надзвичайної ситуації. Він повинен знаходитись на видному місці і з ним повинні бути ознайомлені всі працівники лабораторії.

Дуже важливо заздалегідь подбати про евакуацію людей в момент загоряння і початку пожежі. У приміщенні повинні залишатися вільними евакуаційні шляхи і коридори, а наочні матеріали повинні бути розташовані таким чином, щоб було зрозуміло, де розташований вихід. Наявність системи оповіщення дасть сигнал при потребі залишити приміщення з причини виникнення пожежі.

План евакуації повинен включати в себе графічну та текстову частину. Графічна частина являє собою креслення поверхових планів будівлі, які не повинні захарашуватися другорядними деталями. Суцільними зеленими стрілками показують основні рекомендовані шляхи евакуації, пунктирними стрілками вказують резервні шляхи евакуації. На планах евакуації повинно бути умовними знаками показано розміщення вогнегасників, пожежних кранів, телефонів. Текстова частина виконується у вигляді таблиці. Вона повинна містити інструкції про дії при пожежі, доповнені для наочності знаками безпеки і символами. Розміри планів евакуації вибирають не менше 600 мм х 400 мм для поверхових та секційних планів евакуації та 400 мм х 300 мм для локальних планів евакуації.

Для складання плану евакуації необхідно надати наступні дані: поверховий план приміщення (БТІ); перелік приміщень (з правильною назвою); повна назва організації; посада, ПІБ відповідальної особи, що затверджує план евакуації; місця розташування вогнегасників, пожежних кранів, електрощитових, ручних пожежних сповіщувачів, телефонів, запасних виходів, пожежних сходів, виходів з вікон (якщо є). При наявності вахти (охорони) також необхідно вказати місце зберігання ключів.

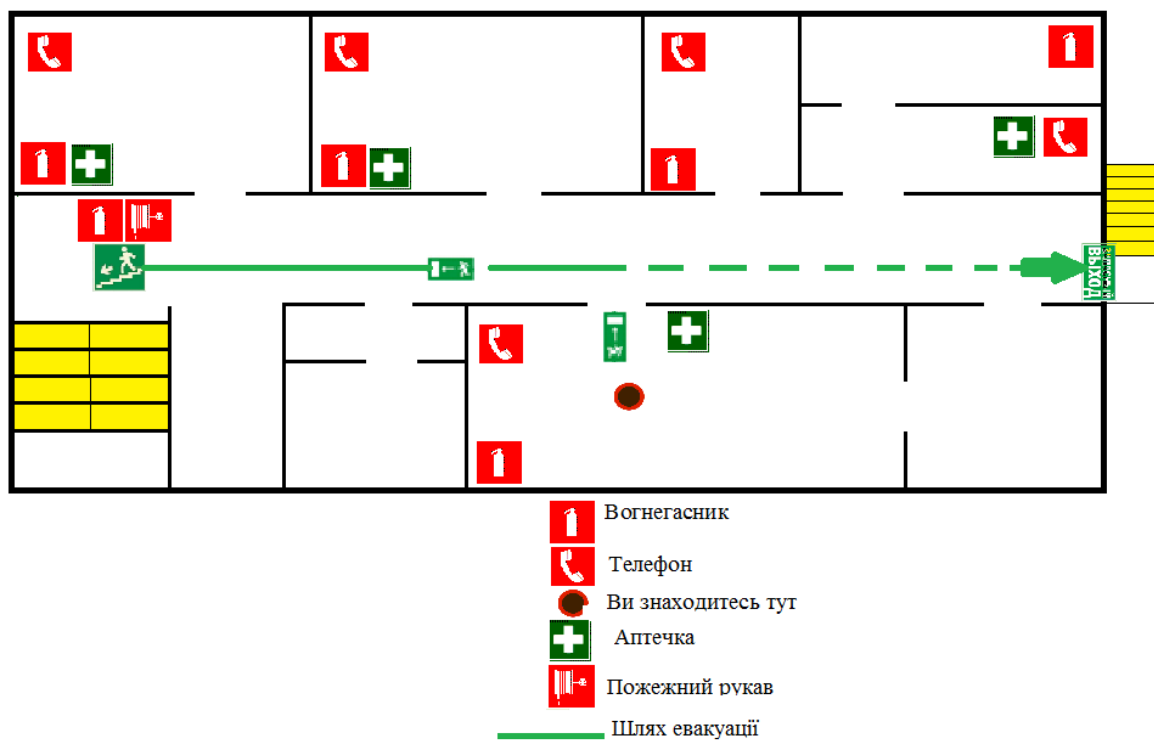


Рис 4.1. План евакуації з лабораторії

Безпека в надзвичайних ситуаціях

Усі працівники при початку роботи в лабораторії проходять інструктаж(навчання) з питань охорони праці, надання першої медичної допомоги потерпілим від нещасних випадків, проінформовані про правила поведінки при виникненні надзвичайної ситуації.

Працівники, зайняті на роботах з підвищеною небезпекою або там, де є потреба у професійному доборі, повинні проходити попереднє спеціальне навчання і один раз на рік перевірку знань відповідних нормативних актів

про охорону праці. Допуск до роботи осіб, які не пройшли навчання, інструктаж і перевірку знань з охорони праці, забороняється.

Надзвичайна ситуація (НС) - це стан, при якому в результаті виникнення джерела НС на об'єкті, визначеній території (акваторії) порушуються нормальні умови життя і діяльності людей, виникає загроза їх життю і здоров'ю, завдається шкода майну населення, народному господарству та навколишньому природному середовищу .

Будь-які НС в своєму розвитку проходять чотири стадії: зародження, ініціювання, кульмінацію і згасання.

1. Стадія зародження. Створюються передумови НС: активізуються несприятливі природні процеси, накопичуються технологічні неполадки, систематично порушуються вимоги заходів безпеки, наростає соціальна напруженість в державі або в міждержавних відносинах і т.д.

2. Стадія ініціювання. Виникають порушення, пов'язані з виходом параметрів процесу або явища за критичні значення всередині системи (внутрішні фактори). Відбуваються, наприклад, спонтанні реакції, розгерметизація трубопроводів, резервуарів і т.п. Може порушуватися робота обладнання, виявилися бракованими системи забезпечення (електропостачання, водопостачання, охолодження, вентиляції та ін.). На ініціювання впливають і зовнішні фактори, до числа яких можна віднести стихійні лиха, акти вандалізму, провокації, політичні помилки і т.п.

3. Стадія кульмінації. В результаті "спрацьовування" ініціюючих факторів вивільняються великі кількості енергії і маси, які і призводять до ЧС. При цьому іноді навіть невелике ініціювання події може пустити в хід ланцюговий механізм аварій з багаторазовим збільшенням потужності і масштабів ("ефект доміно"). Зовнішні чинники, такі як вандалізм і провокації, можуть привести до ЧС, пов'язаних з масовими заворушеннями, терористичними актами, військовими діями.

4. Стадія загасання. Триває від моменту усунення джерела НС до повної її ліквідації.

Джерелом НС може бути небезпечне природне явище, технічна подія, соціальні явища, в результаті яких сталася або може виникнути НС.

Реципієнтом НС може бути природна екосистема, людина, а також технічна система.

Правила безпеки це прості правила, дотримуючись яких, ви не потрапите в біду, а якщо й потрапите — то будете знати, як вийти з небезпечної ситуації, зберігши бадьорий дух та здоров'я. Для кожної небезпеки вони свої, але є спільні правила, які будуть корисні за будь-якої ситуації. Правила безпеки :

діяти спокійно й не панікувати (більшість нещасних випадків під час аварій — результат необдуманих дій);

щонайшвидше зменшити дію небезпечних чинників;

вибрати найбільш безпечний шлях виходу з небезпечної ситуації, діяти чітко й швидко (зволікання виходу з небезпечної ситуації найчастіше призводить до її погіршення й подеколи робить неможливим безпечний вихід); небезпечні ситуації можуть виникнути скрізь, але якщо ви до них готові, то вони не завдадуть вам шкоди.

Пам'ятка «Як діяти якщо ти опинився в небезпечній ситуації»

1. Оціни рівень небезпеки. Якщо ситуація загрожує твоєму життю, часу на роздуми немає, дій негайно.

2. Якщо загрози життю немає, спочатку заспокойся.

3. Якщо сам впорася з ситуацією, склади план дій і виконуй його.

4. Якщо тобі потрібна допомога, звернися до рятувальних служб, родичів, сусідів, випадкових перехожих.

5. Якщо допомога не надходить, не втрачай надії, ситуація може змінитися на краще наступної миті.

Були розглянуті умови праці в лабораторії та виявили, що в цілому, робоче місце відповідає вимогам, але не виключені недоліки.

Розрахована необхідна кількість світильників та ламп для забезпечення нормованої освітленості робочих поверхонь становить 14 світильників та 28 ламп.

Метою пожежної безпеки об'єкта є попередження виникнення пожежі на визначеному чинними нормативами рівні, у випадку виникнення пожежі – обмеження її розповсюдження, своєчасне виявлення, гасіння пожежі, захист людей. Була розрахована необхідна кількість вогнегасників, що мають знаходитися на території лабораторії, а також розроблений план евакуації.

В складних умовах аварії, стихійного лиха необхідно дотримуватися організованості, дисципліни, точно виконувати встановлені правила поведінки.

Висновки.

Зроблено аналіз умов праці на робочому місці в навчально-науковій лабораторії. Проведена розробка заходів з охорони праці. Розрахована достатня кількість освітлення лабораторії. Розглянуто заходи пожежної безпеки приміщення лабораторії, проаналізовані шляхи евакуації. Розрахована кількість вогнегасників становить 2 штуки.

ВИСНОВКИ

Проведено аналіз джерел інформації на тему електроформування, розглянуто основні способи процесу, фактори які впливають на структуру волокнистого матеріалу, особливості волокон одержаних цим методом, типи колекторів, сфери застосування матеріалів створених методом електроформування.

Отримано неткані волокнисті матеріали методом електроформування при напрузі 30 кВ, діаметрі капіляра 1,1 та відстані між електродами 12-15 см з розчинів на основі ПВС та крохмалю з додаванням повідон-йоду.

Встановлено, що електроформування відбувається не стабільно для зразків на основі ПВС з додаванням повідон-йоду до 9 %, при цьому електропровідність розчинів становить від 0,485 до 0,515 См/м. Для композиції ПВС:Кр (3:1) без додавання активного компонента йоду, та для зразків ПВС:Кр у співвідношенні компонентів 3:1, 1:1, 1:3 з додаванням 1% повідон-йоду процес електроформування стабільний, при електропровідності більше 1 См/м. Для композицій з електропровідністю нижче 0,352 процес електроформування не відбувався.

Аналіз статистичних розподілів волокон у нетканих матеріалах отриманих методом електроформування за діаметром показав, що для зразків на основі ПВС зі збільшення вмісту повідон-йоду сприяє зменшенню діапазону розподілу діаметрів волокон з 5 до 3,5 мкм, при збільшенні максимальної частоти до 30 % з діаметром 2 мкм. При введенні в композиції. ПВС розчину крохмалю у співвідношенні ПВС:Кр (3:1) вдалося отримати неткані матеріали методом електроформування з максимальною частотою 62 % та діаметром 1,5-2 мкм, при цьому додавання повідон-йоду у кількості 1 % змушує розподіл за діаметром з 5 до 3 мкм. Збільшення вмісту крохмалю у композиціях на основі ПВС з додаванням 1 % повідон-йоду призводить до розширення діапазону розподілу діаметрів волокон та зменшення максимального значення частоти на 34 %, при збільшенні діаметру на 1,5 мкм.

Дослідження сорбційних властивостей плівок на основі ПВС:Кр показали, що повідон-йод знижує на 250 % сорбцію води, але, разом з цим, надає спеціальних властивостей матеріалам.

Аналіз механічних властивостей плівок на основі ПВС:Кр показав, що максимальна міцність на розрив характерна для зразка 3:10 і становить 0,58 МПа, а додавання 1% повідон-йоду знижує міцність до 0,31 МПа. Збільшення долі крохмалю у композиції на основі ПВС зменшує міцність плівок, а введення повідон-йоду призводить до втрати плівками механічної міцності, можливо у зв'язку з реакцією крохмалю з йодом. Разом з тим введення повідон-йоду у композицію на основі ПВС:Кр (3:1) сприяє підвищенню еластичності матеріалу з показником відносного подовження з 23,2 до 68,5 %.

Зроблено аналіз умов праці на робочому місці в навчально-науковій лабораторії. Проведена розробка заходів з охорони праці. Розрахована достатня кількість освітлення лабораторії. Розглянуто заходи пожежної безпеки приміщення лабораторії, проаналізовані шляхи евакуації. Розрахована кількість вогнегасників становить 2 штуки.

ПЕРЕЛІК ЛІТЕРАТУРНИХ ПОСИЛАНЬ

- [1] Huang, Z.M.; Zhang, Y.Z.; Kotaki, M. & Ramakrishna, S.: A review on polymer nanofibers by electrospinning and their applications in nanocomposites, *Composites Science and Technology*, 63 (2003), pp. 2223-2253, ISSN 0266-3538
- [2] Venugopal, J. & Ramakrishna, S.: Applications of polymer nanofibers in biomedicine and biotechnology, *Applied Biochemistry and Biotechnology*, 125 (2005), pp. 147-157, ISSN 0273-2289
- [3] Ji, W.; Sun, Y.; Yang, F.; Van den Beucken, J.J.J.P.; Fan, M.; Chen, Z. & Jansen, J.A.: Bioactive electrospun scaffolds delivering growth factors and genes for tissue engineering applications, *Pharmaceutical Research*, 28 (2011), pp. 1259-1272, ISSN 0724-8741
- [4] Liu, Y.; He, J.H.; Yu, J.Y. & Zeng, H.M.: Controlling numbers and sizes of beads in electrospun nanofibers, *Polymer International*, 57 (2008), pp. 632-636, ISSN 0959-8103
- [5] Bhardwaj, N. & Kundu, S.C.: Electrospinning: A fascinating fiber fabrication technique, *Biotechnology Advances*, 28 (2010), pp.325-347, ISSN 0734-9750
- [6] Rojas, O.J.; Montero, G.A. & Habibi, Y.: Electrospun nanocomposites from polystyrene loaded with cellulose nanowhiskers, *Journal of Applied Polymer Science*, 113 (2009), 2, pp. 927-935, ISSN 1097-4628
- [7] Kanani, A.G. & Bahrami, S.H.: Effect of changing solvents on poly(ε-caprolactone) nanofibrous webs morphology, *Journal of Nanomaterials*, 2011 (2011), pp. 1-10, ISSN 1687-4129
- [8] Li, D.; Wang, Y. & Xia, Y.: Electrospinning nanofibers as uniaxially aligned arrays and layer-by-layer stacked films, *Advanced Materials*, 16 (2004), 4, pp. 361-366, ISSN 1521-4095
- [9] Li, S.; Hashi, C.; Huang, N.F. & Kurpinski, K.; WO07090102A2, (2007)
- [10] Formhals, A.: US Patent 1975504, (1934)
- [11] Formhals, A.: US Patent 2160962, (1939)
- [12] Taylor, G.: Electrically driven jets, *Proceedings of the Royal Society of London*, 313 (1969), 1515, PP. 453-475, ISSN 0080-4630

- [13] Baumgarten, P.K.: Electrostatic spinning of acrylic fibers, *Journal of Colloid and Interface Science*, 36 (1971), 1, pp. 71-79, ISSN 0021-9797
- [14] Cipitria, A.; Skelton, A.; Dargaville, T.R.; Dalton, P.D. & Hutmacher, D.W.: Design, fabrication and characterization of PCL electrospun scaffolds - a review, *Journal of Materials Chemistry*, 21 (2011), pp. 9419-9453, ISSN 0959-9428
- [15] Reneker, D.H. & Chun, I.: Nanometer diameter fibers of polymer, produced by electrospinning, *Nanotechnology*, 7 (1996), pp. 216-223, ISSN 1361-6528
- [16] Doshi, J. & Reneker, D. H.: Electrospinning process and applications of electrospun fibers, *Journal of Electrostatics*, 35 (1995), pp. 151-160, ISSN 0304-3886
- [17] Ramakrishna, S.; Fujihara, W.E.; Teo, T.; Yong, T.; Ma, Z. & Ramaseshan, R.: Electrospun nanofibers: solving global issues, *Materials Today*, 9 (2006), 3, pp. 40-50, ISSN 1369-7021
- [18] Sabetta, L.: Production of nonwoven materials for biotechnological applications via electrospinning, PhD thesis, (2008), Universita di Napoli Federico II
- [19] Kim, H.Y. & Park, J.C.: WO06052039A1, (2006)
- [20] Wang, H.S.; Fu, G.D. & Li, X.S.: Functional polymeric nanofibers from electrospinning, *Recent Patents on Nanotechnology*, 3 (2009), 1, pp. 21-31, ISSN 2212-4020
- [21] Deitsel, J.M. ; Kleinmeyer, J.; Hirvonen, J.K. & Tan, N.C.B.: Controlled deposition of electrospun poly(ethylene oxide) fibers, *Polymer*, 42 (2001), 19, pp. 8163-8170, ISSN 0032-3861
- [22] Reneker, D.H., Yarin, A.L., Zussman, E. & Xu, H.: Electrospinning of nanofibers from polymer solutions and melts, *Advances in Applied mechanics*, 41 (2007), pp. 43-195, ISSN 0065-2156
- [23] Hamzeh, S.; Miraftab, M. & Yoosefinedaj, A.: Study of electrospun nanofiber formation process and their electrostatic analysis, *Journal of Industrial Textiles*, published online in 18 March 2013, ISSN 1528-0837

- [24] Yarin, A.L., Koombhongse, S. & Reneker, D.H.: Taylor cone and jetting from liquid droplets in electrospinning of nanofibers, *Journal of Applied Physics*, 90 (2001), 9, pp. 4836-4846, ISSN 0021-8979
- [25] Afshari, M.; Wook, D.J.; Kotek, R. & Tonelli, A.: Producing polyamide nanofibers by electrospinning, In: P.J. Brown, K. Stevens (ads), *Nanofibers and Nanotechnology in Textiles*, Woodhead Publishing, ISBN 978 1 84569 105 9 , Cambridge, (2007), pp. 71-87.
- [26] Angammana, C.J. & Jayaram, S.H.: A theoretical understanding of the physical mechanisms of electrospinning, *Proceedings of ESA Annual Meeting on Electrostatics 2011* pp. 1-9, Cleveland, USA, June 2011, 2011
- [27] Reneker, D.H.; Yarin, A.L.; Fong, H. & Koombhongse, S.: Bending instability of electrically charged liquid jets of polymer solutions in electrospinning, *Journal of Applied Physics*, 87 (2000), 9, pp. 4531-4547, ISSN 0021-8979
- [28] Hsu, C.M. & Shivkumar, S.: N,N-Dimethylformamide additions to the solution for the electrospinning of poly(ϵ -caprolactone) nanofibers, *Macromolecular Materials and Engineering*, 289 (2004), pp. 334-340, ISSN 1439-2054
- [29] Bognitzki, M.; Czado, W.; Frese, T.; Schaper, A.; Hellwig, M.; Steinhart, M., Greiner, A. & Wendorff, J.H.: Nanostructured fibers by electrospinning, *Advanced Materials*, 13 (2001), 1, pp. 70-72, ISSN 1521-4095
- [30] Jahangiri, S.: Investigation of the effect of electrospinning parameters on polyurethane nanofiber diameter and morphology, PhD Thesis, 2013, Istanbul Technical University, Istanbul, Turkey
- [31] Deitzel, J.M.; Kleinmeyer, J.; Harris, D. & Beck Tan, N.C.: The effect of processing variables on the morphology of electrospun nanofibers and textiles, *Polymer*, 42 (2001), 1, pp. 261-272, ISSN 0032-3861
- [32] Sukigara, S.; Gandhi, M.; Ayutsede, J.; Micklus, M. & Ko, F.: Regeneration of bombyx mori silk by electrospinning- Part 1: processing parameters and geometric properties, *Polymer*, 44 (2003), 19, pp. 5721-5727, ISSN 0032-3861

- [33] Fong, H. & Reneker, D.H.: Elastomeric nanofibers of styrene-butadiene-styrene triblock copolymer, *Journal of Polymer Science: Part B Polymer Physics*, 37 (1999), 24, pp: 3488-3493, ISSN 1099-0488
- [34] Demir, M.M.; Yilgor, I.; Yilgor, E. & Erman, B.: Electrospinning of polyurethane fibers, *Polymer*, 43 (2002), 11, pp. 3303-3309, ISSN 0032-3861
- [35] Beachley, V. & Wen, X.: Effect of electrospinning parameters on the nanofiber diameter and length, *Materials Science and Engineering C: Materials for Biological Applications*, 29 (2009), 3, pp. 663-668, ISSN 0928-4931
- [36] Koshi, A., Yim. K. & Shiykumar, S.: Effect of molecular weight on fibrous PVA produced by electrospinning, *Materials Letters*, 58 (2004), 3-4, pp. 493-497, ISSN 0167- 577X
- [37] Li, Z. & Wang, C.: *One-dimensional Nanostructures, Electrospinning technique and Unique Nanofibers*, Springer, ISBN 978-3642364266, New York, (2013)
- [38] McKee, M.G.; Layman, J.M.; Cashion, M.P. & Long, T.E.: Phospholipid nonwoven electrospun membranes, *Science*, 311 (2006), 5759, pp. 353-355, ISSN 0036,8075
- [39] Fong, H.; Chun, I. & Reneker, D.H.: Beaded nanofibers formed during electrospinning, *Polymer*, 40 (1999), pp. 4585-4592, ISSN 0032-3861
- [40] Yang, Q.; Li, Z.; Hong, Y.; Zhao, Y.; Qiu, S.; Wang, C. & Wei, Y.: Influence of solvents on the formation of ultrathin uniform poly(vinyl pyrrolidone) nanofibers with electrospinning, *Journal of Polymer Science, Part B: Polymer Physics*, 45 (2004), 20, pp. 3721-3726, ISSN 1099-0488
- [41] Zong, X.; Kim, K.; Fang, D.; Ran, S.; Hsiao, B.S. & Chu, B.: Structure and process relationship of electrospun bioadsorbable nanofiber membrane, *Polymer*, 43 (2002), pp. 4403-4412, ISSN 0032-3861
- [42] Zhang, C.; Yuan, X.; Wu, L.; Han, Y. & Sheng, J.: Study on morphology of electrospun poly(vinyl alcohol) mats, *European Polymer Journal*, 41 (2005), 3, pp. 423-432, ISSN 0014-3057

- [43] Yordem, O.S.; Papila, M.; Menceloğlu, Y.Z.: Effects of electrospinning parameters on polyacrylonitrile nanofiber diameter: an investigation by response surface methodology, *Materials & Design*, 29 (2008), 1, pp. 34-44, ISSN 0261-3069
- [44] Çetiner, S.; Kalaoğlu, F.; Karakaş, H. & Saraç, A.S.: Electrospun nanofibers of polypyrrole-poly(acrylonitrile –co-vinyl acetate), *Textile research Journal*, 80 (2010), 17, pp. 1784-1792, ISSN 1746-7748
- [45] Secasanu, V.P.; Giardina, C.K. & Wang, Y.: A novel electrospinning target to improve the yield of uniaxially aligned fibers, *Biotechnology Progress*, 25 (2009), 4, pp. 1169-1175, ISSN 1520-6033
- [46] Fang, J.; Wang, X. & Lin, T.: Functional applications of electrospun nanofibers - production, properties and functional applications, Dr. Tong Lin (Ed.), Intech, ISBN: 978- 953-307-420-7, (2011)
- [47] www.donaldsonfilters.com.au Accessed: 26.02.2014
- [48] Gibson, P.; Gibson, H.S. & Rivin, D.: Transport properties of porous membranes based on electropun nanofibers, *Colloids and Surfaces, A: Physiochemical and Engineering Aspects*, 187-188 (2001), pp. 469-481, ISSN 0927-7757
- [49] Shin, C.; Chase, G.G. & Reneker, D.H.: Recycled expanded polystyrene nanofibers applied in filter media, *Colloids and Surfaces, A: Physiochemical and Engineering Aspects*, 262 (2005), pp. 211-215, ISSN 0927-7757
- [50] Yoon, K.; Kim, K.; Wang, X.; Fang, D.; Hsiao, B.S. & Chu, B.: High flux ultrafiltration membranes based on electrospun nanofibrous PAN scaffolds and chitosan coating, *Polymer*, 47 (2006), 7, pp. 2434-2441, ISSN 0032-3861
- [51] Zhang, J.; Qi, H.; Wang, H.; Hu, P.; Ou, L.; Guo, S.; Li, J.; Che, Y.; Yu, Y. & Kong, D.: Engineering of vascular grafts with genetically modified bone marrow mesenchymal stem cells on poly(propylene carbonate) graft, *Artificial Organs*, 30 (2006), 12, pp. 898- 905, ISSN

- [52] Lee, J.Y.; Bashur, C.A.; Goldstein, A.S. & Schmidt, C.E.: Polypyrrole-coated electrospun PLGA nanofibers for neural tissue applications, *Biomaterials*, 30 (2009), 26, pp. 4325-4335, ISSN 0142-9612
- [53] Yoshimoto, H.; Shin, Y.M.; Terai, H. & Vacanti, J.P.: A biodegradable nanofiber scaffold by electrospinning and its potential for bone tissue engineering, *Biomaterials*, 24 (2003), 12, pp. 2077-2082, ISSN 0142-9612
- [54] Sun, Z.C.; Zussman, E.; Yarin, A.L.; Wendorff, J.H. & Greiner, A.: Compound coreshell polymer nanofibers by co-electrospinning, *Advanced Materials*, 15 (2003), pp. 1929- 1932, ISSN 1521-4095
- [55] Zhang, Y.Z.; Wang, X.; Feng, Y.; Li, J.; Lim, C.T. & Ramakrishna, S.: Coaxial electrospinning of (fluorescein isothiocyanate-conjugated bovine serum albumin)-encapsulated poly(epsilon-caprolactone) nanofibers for sustained release, *Biomacromolecules*, 7 (2006), pp. 1049-1057, ISSN 1525-7797
- [56] Gibson, P.W.; Schreuder-Gibson, H.L. & Riven, D.: Electrospun fiber mats: transport properties, *American Institute of Chemical Engineers*, 45 (1999), 1, pp. 190-195, ISSN 1547-5905
- [57] Kim, J.S. & Reneker, D.H.: Mechanical properties of composites using ultrafine electrospun fibers, *Polymer Composites*, 20 (1999), 1, pp. 124-131, ISSN 1548-0569
- [58] Bergshoef, M.M. & Vancso, G.J.: Transparent nanocomposites with ultrathin, electrospun Nylon-4,6 fiber reinforcement, *Advanced Materials*, 11 (1999), 16, pp. 1362-1365, ISSN 1521-4095
- [59] Agarwal, S.; Greiner, A. & Wendorff, J.H.: Functional materials by electrospinning of polymers, *Progress in Polymer Science*, 38 (2013), 6, pp. 963-991, ISSN 00796700
- [60] <https://www.systopt.com.ua/article-svoistva-y-prymenenye-polyvynylovogo-spyrta>
- [61] [https://likicontrol.com.ua/%D1%96%D0%BD%D1%81%D1%82%D1%80%D1%83%D0%BA%D1%86%D1%96%D1%8F/?\[25155\]](https://likicontrol.com.ua/%D1%96%D0%BD%D1%81%D1%82%D1%80%D1%83%D0%BA%D1%86%D1%96%D1%8F/?[25155])