

Міністерство освіти і науки України

Луцький національний технічний університет

(повне найменування вищого навчального закладу)

Факультет митної справи, матеріалів, технологій та гостинності

(повне найменування факультету)

Кафедра матеріалознавства

(повна найменування кафедри)

**КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
ЗА СТУПЕНЕМ ВИЩОЇ ОСВІТИ «БАКАЛАВР»**

**ПОКРАЩЕННЯ АДГЕЗІЙНИХ
ХАРАКТЕРИСТИК ПОЛІМЕРНИХ ПЛІВОК ДЛЯ
УПАКОВКИ МОЛОЧНИХ ПРОДУКТІВ /
IMPROVING THE ADHESION
CHARACTERISTICS OF POLYMER FILMS FOR
DAIRY PRODUCT PACKAGING**

спеціальність 132 Матеріалознавство

(шифр і назва спеціальності)

освітня програма Індустріальний інжиніринг і менеджмент

(назва освітньої програми)

Виконав: здобувач вищої освіти
групи ПМ(ПМ)З-41

Стасюк Дмитро Олександрович

(підпис)

Керівник:

к.т.н., доцент

Боярська Інна Володимирівна

(підпис)

Кваліфікаційну роботу

допущено до захисту

«__» _____ 20__ р.

к.т.н., професор

Гарант освітньої програми:

Гусачук Дмитро Анатолійович

(підпис)

Луцьк – 2026 року

ЛУЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет митної справи, матеріалів та технологій

Кафедра матеріалознавства

Ступінь вищої освіти: бакалавр

Галузь знань: 13 Механічна інженерія

Спеціальність: 132 Матеріалознавство

Освітня програма: Індустріальний інжиніринг і менеджмент

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувачка кафедри

ІМБІРОВИЧ Н.Ю.

“ ” 20 року

З А В Д А Н Н Я НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧУ ВИЩОЇ ОСВІТИ

Стасюку Дмитру Олександровичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Покращення адгезійних характеристик полімерних плівок для упаковки молочних продуктів

керівник роботи Боярська І.В., к.т.н., доцент,
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу від “31” 12.2025 р. № 540/01-02

2. Строк подання здобувачем вищої освіти кваліфікаційної роботи
«23» травня 2026 р.

3. Вихідні дані до роботи літературні джерела, властивості вихідних матеріалів, методи досліджень властивостей матеріалів

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) Вступ; Розділ 1. Фізико-хімічні та технологічні основи формування полімерів для потреб харчової промисловості; Розділ 2. Методики дослідження та характеристика матеріалів; Розділ 3. Закономірності формування полімерних плівок; Розділ 4. Застосування полімерних плівкових систем; Висновки; Список використаних джерел; Додатки

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)

Слайд 1-2– Характеристика сировини; схеми обробки (1 л. ф. А4);

Слайд 3 – Показники поліетиленової плівки (1 л. ф. А4);

Слайд 1-2– Характеристика сировини; схеми обробки (1 л. ф. А4);

Слайд 4 – Ілюстрація технологічного процесу (1 л. ф. А4);

Слайд 5-8 – Результати досліджень (1 л. ф. А4);

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв

7. Дата видачі завдання «03» січня 2026 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Термін виконання етапів кваліфікаційної роботи	Примітка
1	Розділ 1. Фізико-хімічні та технологічні основи формування полімерів для потреб харчової промисловості	05.05.2026 р.	
2	Розділ 2. Методики дослідження та характеристика матеріалів; Розділ 3. Закономірності формування полімерних плівок	12.05.2026 р.	
3	Розділ 4. Застосування полімерних плівкових систем	19.05.2026 р.	

Здобувач вищої освіти _____
(підпис)

Стасюк Д.О.
(прізвище та ініціали)

Керівник кваліфікаційної роботи _____
(підпис)

Боярська І.В.
(прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

Стасюк Д.О. Покращення адгезійних характеристик полімерних плівок для упаковки молочних продуктів. Рукопис.

Кваліфікаційна робота бакалавра ОП «Матеріалознавство» спеціальності 132 Матеріалознавство. Луцький національний технічний університет. Луцьк, 2026.

Робота складається з текстової та графічної частин.

Кваліфікаційна робота бакалавра складається з вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел, додатків.

Пояснювальна записка складається з 53 сторінок і містить чотири розділи.

Також пояснювальна записка містить 6 рисунків, 6 таблиць та 23 літературних джерела та додаток.

Графічна частина складається з 8 аркушів формату А4, які розміщені в додатку А.

Ключові слова: епоксиполімер, система, полімерна плівка.

					БР 5826.00.000 ПЗ				
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Покращення адгезійних характеристик полімерних плівок для упаковки молочних продуктів	Літ.	Арк.	Акрушів	
Розробив		Стасюк					3	53	
Перевірів		Боярська				ЛІНТУ			
Н. контр.		Мисковець				каф. матеріалознавства,			
Затверд.		Імбірович				гр. ПМ(ІІМ)з- 41			

ANNOTATION

Stasyuk D.O. Improving the adhesion characteristics of polymer films for dairy product packaging. Manuscript.

Bachelor's qualification work in the field of "Materials Science" in specialty 132 Materials Science. Lutsk National Technical University. Lutsk, 2026.

The work consists of textual and graphic parts.

The bachelor's qualification work consists of an introduction, four chapters, conclusions, a list of sources used, and appendices.

The explanatory note consists of 53 pages and contains four chapters.

The explanatory note also contains 6 figures, 6 tables, and 23 literary sources and an appendix.

The graphic part consists of 8 A4 sheets, which are placed in Appendix A.

Keywords: epoxy polymer, system, polymer film.

					БР 5826.00.000 ПЗ	Арк.
						4
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ЗМІСТ

ВСТУП.....	6
РОЗДІЛ 1 ФІЗИКО-ХІМІЧНІ ТА ТЕХНОЛОГІЧНІ ОСНОВИ ФОРМУВАННЯ ПОЛІМЕРІВ ДЛЯ ПОТРЕБ ХАРЧОВОЇ ПРОМИСЛОВОСТ.....	7
1.1. Поняття про полімери та особливості їх застосування.....	7
1.2. Особливості одержання полімерних плівкових матеріалів	16
1.3. Методи покращення властивостей та ресурсних можливостей термопластичних полімерів.....	19
1.4. Висновки і формулювання завдань досліджень.....	22
РОЗДІЛ 2 МЕТОДИКИ ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ХАРАКТЕРИСТИКА МАТЕРІАЛІВ.....	24
2.1. Характеристика вибраних матеріалів	24
2.2. Методи дослідження властивостей полімерних плівок	26
2.3. Обробка результатів досліджень.....	32
РОЗДІЛ 3 ЗАКОНОМІРНОСТІ ФОРМУВАННЯ ПОЛІМЕРНИХ ПЛІВОК.....	35
3.1. Технологія одержання полімерних плівок	35
3.2. Підвищення адгезійно-міцнісних властивостей плівкових матеріалів за рахунок їх обробки в електричному полі	42
РОЗДІЛ 4 ЗАСТОСУВАННЯ ПОЛІМЕРНИХ ПЛІВКОВИХ СИСТЕМ.....	46
4.1. Особливості застосування адгезійно-зміцнених плівок для пакування молочної продукції.....	46
4.2. Технологічні особливості транспортування та зберігання плівкової продукції.....	48
ВИСНОВКИ.....	51
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	52
ДОДАТКИ	

ВСТУП

Одним із ключових питань у виробництві поліетиленової плівки для пакування молочної продукції є правильний вибір способу обробки поверхні, спрямованого на поліпшення її зовнішнього вигляду. Це передбачає суттєве підвищення інформаційної цінності виробів шляхом нанесення відповідних написів і зображень, а також надання їм необхідних функціональних властивостей.

Водночас хімічна інертність, яка в умовах експлуатації є перевагою поліолефінових матеріалів, у процесі поверхневої обробки перетворюється на недолік, оскільки ускладнює адгезію покриттів. У зв'язку з цим для підвищення адгезійної здатності поверхні необхідне застосування додаткових операцій її попередньої активації.

У роботі, із використанням методу коронного розряду для покращення адгезійних властивостей, досліджено закономірності формування плівкових систем, а також запропоновано спосіб контролю якості обробки коронним розрядом із застосуванням суміші формаміду та моноетилового ефіру етиленгліколю.

Метою роботи є дослідження особливостей формування та порівняльна оцінка властивостей полімерних плівкових систем, як необроблених, так і модифікованих шляхом обробки коронним розрядом.

					БР 5826.00.000 ПЗ	Арк.
						6
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 1

ФІЗИКО-ХІМІЧНІ ТА ТЕХНОЛОГІЧНІ ОСНОВИ ФОРМУВАННЯ ПОЛІМЕРІВ ДЛЯ ПОТРЕБ ХАРЧОВОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ

1.1. Поняття про полімери та особливості їх застосування

Полімерами називають речовини, макромолекули яких побудовані з великої кількості повторюваних елементарних ланок (мономерів) однакової структури. Макромолекула полімеру має ланцюгову будову, що складається з окремих структурних ланок. Довжина такого ланцюга у тисячі разів перевищує його поперечні розміри, завдяки чому макромолекулам полімерів притаманна значна гнучкість. Саме гнучкість макромолекул є однією з характерних особливостей полімерних матеріалів [1].

Для більш глибокого вивчення властивостей, складу та структури полімери класифікують за різними ознаками: складом, формою макромолекул, фазовим станом, полярністю та поведінкою при нагріванні. За хімічним складом полімери поділяють на органічні, елементоорганічні та неорганічні.

Найбільш чисельною групою є органічні полімери. Якщо основний ланцюг макромолекули складається лише з атомів вуглецю, такі сполуки називають карболанцюговими полімерами. У гетероланцюгових полімерах до складу основного ланцюга входять атоми інших елементів, які суттєво впливають на їх властивості. Наприклад, наявність атомів кисню підвищує гнучкість ланцюга, атоми фосфору та хлору сприяють зростанню вогнестійкості, а атоми сірки покращують газонепроникність матеріалу. До органічних полімерів належать смоли та каучуки [2].

Елементоорганічні сполуки містять у складі основного ланцюга атоми неорганічної природи (наприклад, кремнію, бору, алюмінію), які з'єднані з органічними радикалами (вуглеводневими групами). Такі органічні радикали забезпечують матеріалу необхідну міцність і еластичність, тоді як неорганічні

					БР 5826.00.000 ПЗ	Арк.
						7
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

атоми підвищують його теплостійкість. У природних умовах подібні сполуки не зустрічаються, їх типовими представниками є кремнійорганічні речовини.

До неорганічних полімерів належать силікатне скло, керамічні матеріали та азбест. Основу цих матеріалів становлять оксиди кремнію, алюмінію, магнію та інших елементів. Неорганічні полімери характеризуються підвищеною густиною та високою теплостійкістю, проте скло і кераміка є крихкими матеріалами і погано витримують динамічні навантаження [3].

У матеріалознавстві широко застосовують як окремі види полімерів, так і їх поєднання різних груп, що отримали назву композиційних матеріалів.

Важливою особливістю полімерів є будова їх макромолекул. За формою макромолекули поділяють на лінійні, розгалужені, плоско-стрічкові та просторові (сітчасті). Лінійні макромолекули мають вигляд довгих зигзагоподібних ланцюгів (рис. 1.1). Завдяки поєднанню гнучких макромолекул, високої міцності вздовж ланцюга та слабких міжмолекулярних взаємодій забезпечується еластичність матеріалу, його здатність розм'якшуватися при нагріванні та знову тверднути при охолодженні (наприклад, поліетилен) [4].

Розгалужені макромолекули також належать до лінійного типу, однак характеризуються наявністю бічних відгалужень, які ускладнюють щільне упакування молекулярної решітки (наприклад, поліізобутилен) (рисунок 1.1).

Просторові, або сітчасті, полімери формуються внаслідок з'єднання макромолекул між собою в поперечному напрямку за рахунок міцних хімічних зв'язків, які можуть утворюватися безпосередньо або через атоми хімічних елементів чи радикали. У результаті виникає сітчаста структура з різною густиною просторової сітки. Густосітчасті полімери відзначаються високою твердістю, підвищеною теплостійкістю та нерозчинністю. Такі просторові полімери належать до конструкційних неметалевих матеріалів [3].

					БР 5826.00.000 ПЗ	Арк.
						8
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

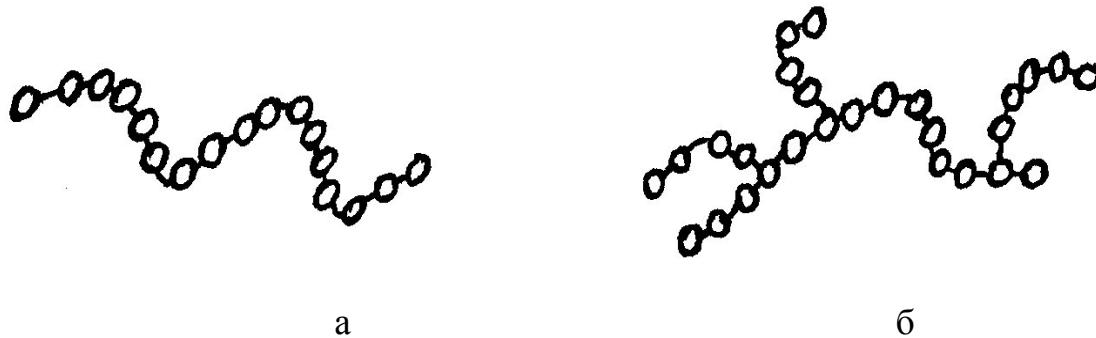


Рисунок 1.1 – Форми молекул полімерів:
а – лінійна, б – розгалужена

За фазовим станом полімери поділяють на аморфні та кристалічні. Аморфні полімери є однофазними системами, що складаються з ланцюгових макромолекул, упорядкованих у своєрідні упаковки. Такі упаковки формуються з великої кількості паралельно розташованих макромолекулярних ланцюгів, які розміщуються послідовно один відносно одного. Вони здатні до певного переміщення відносно сусідніх структурних елементів, оскільки мають достатню рухливість на молекулярному рівні. Деякі аморфні полімери можуть існувати у вигляді згорнутих ланцюгів – глобул. Глобулярна структура, як правило, зумовлює нижчі механічні характеристики матеріалу. При підвищенні температури глобули можуть розгортатися у більш витягнуті (лінійні) структури, що сприяє покращенню механічних властивостей полімеру.

Кристалічні полімери формуються за умови, що їх макромолекули мають достатню гнучкість і здатні до впорядкованого розташування. У таких умовах відбувається часткова кристалізація полімеру з утворенням просторово впорядкованих кристалічних областей (кристалічних ґраток) [2].

За полярністю полімери поділяють на полярні та неполярні. Полярність визначається наявністю дипольних моментів, що виникають через нерівномірний розподіл позитивних і негативних зарядів у структурі молекули. Першою умовою

полярності є наявність у полімері полярних хімічних зв'язків (наприклад, С–О, С–Cl, С=O), другою – асиметричність будови макромолекул. У полярних полімерах дипольні моменти окремих зв'язків можуть частково або повністю не компенсуватися. Неполарні полімери, навпаки, характеризуються відсутністю значних дипольних моментів і є високоякісними морозостійкими високочастотними діелектриками [5].

За відношенням до нагрівання всі полімери поділяють на термопластичні та термореактивні. Термопластичні полімери при нагріванні переходять у в'язкотекучий або пластичний стан, а при охолодженні знову тверднуть без істотних змін у своїй структурі. Для таких матеріалів характерна лінійна або розгалужена будова макромолекул.

Термореактивні полімери на початковій стадії мають переважно лінійну структуру і при нагріванні спочатку розм'якшуються. Однак у подальшому внаслідок перебігу хімічних реакцій відбувається їхнє необоротне затвердіння з утворенням просторової (сітчастої) структури. Після завершення цього процесу матеріал зберігає твердий стан, який називають термостабільним.

За походженням полімери поділяють на природні та синтетичні. До синтетичних полімерів належать, зокрема, поліетилен, поліпропілен, фенолформальдегідні смоли та інші [2].

Поліетилен – синтетичний полімер загальної формули $[-CH_2 - CH_2]_n$, це еластичний матеріал, без запаху, горючий, не отруйний. Полімер виготовляють полімеризацією етилену при високому (100-150 МПа), низькому (0,2-0,5 МПа) і середньому (4-8 МПа) тиску. Різні способи полімеризації зумовлюють утворення різних за структурою і властивостями полімерів.

					БР 5826.00.000 ПЗ	Арк.
						10
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 1.1 – Класифікаційні характеристики поліетилену

Показники	Поліетилен		
	Високого тиску	Низького тиску	Середнього тиску
Густина, $кг / м^3$	92...930	940...960	960...970
Температура плавлення, h	108...110	120...134	127...130
Границя міцності при розтягу, $Мн / м^2$	12...16	22...35	27...35
Відносне видовження при розриві	150...600	200...900	20...400
Водопоглинання при $20^0 C, \%$	0,04	0,03...0,04	0,01

Для поліетилену характерне добре поєднання фізико-хімічних і електричних властивостей, хімічна стійкість, легка перероблюваність у вироби порівняно із іншими полімерами, низька вартість. Його використовують для виготовлення труб для агресивних рідин, ізоляції проводу і кабелю, предметів побуту та в різних галузях народного господарства. При нагріванні на повітрі і при дії сонячного світла погіршуються його механічні і електричні властивості. Для стабілізації в поліетилен вводять антиоксиданти, світло-стабілізатори та інші легуючі добавки [3]. З поліетилену виготовляють також плівкові матеріали, які знаходять широке використання в багатьох галузях народного господарства.

При виробництві полімерів з молекул вихідної речовини утворюються макромолекули, що можуть мати ниткоподібну (лінійну) і сітчасту форму. Наприклад, поліетилен, добувають безпосередньо з етилену. Він складається з

кількох тисяч окремих молекул етилену, а його макроструктура зберігає лінійну будову.

Лінійні макромолекули являють собою ланцюги, ланки яких можуть мати однаковий або різний хімічний склад, при цьому атоми, що формують основний ланцюг, з'єднані між собою ковалентними хімічними зв'язками. Окремі макромолекулярні ланцюги взаємодіють між собою переважно за рахунок фізичних зв'язків.

У сітчастих полімерів атоми, що утворюють макромолекулярні ланцюги, з'єднані між собою хімічними зв'язками як у поздовжньому, так і в поперечному напрямках. У зв'язку з цим поняття окремої макромолекули для таких систем значною мірою втрачає сенс, оскільки міцність зв'язків уздовж і між ланцюгами є порівнянною, а самі ланцюги не зберігають індивідуальної самостійності.

Властивості сітчастих полімерів істотно відрізняються від властивостей лінійних. Лінійні полімери можуть переходити в розчин або в пластичний (рідкотекучий) стан, тоді як густосітчасті полімери практично нерозчинні і мають дуже обмежену здатність до деформації.

Отримати полімери ідеально лінійної або повністю сітчастої структури на практиці досить складно. Реальні властивості матеріалів – ступінь оборотної деформації, набухання, твердість і крихкість – лише опосередковано відображають частоту поперечних зв'язків у сітчастій структурі. Елементоорганічні та неорганічні полімери характеризуються підвищеною термостійкістю, тому їх синтезу приділяють значну увагу.

Механічні властивості полімерів є різноманітними, і в окремих випадках вони поєднують ознаки як твердих, так і рідких тіл. Для полімерів характерні висока міцність і здатність до значних оборотних деформацій. Під дією зовнішніх навантажень у них виникають два основні типи деформацій: пружна (оборотна) та високоеластична (також оборотна).

Перехід від пружного до крихкого стану називають температурною крихкістю (або морозостійкістю). Температура, при якій відбувається перехід від

					БР 5826.00.000 ПЗ	Арк.
						12
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

пружних до високоеластичних деформацій, визначається як температура склування (T_c) і є важливою характеристикою теплостійкості полімерів, особливо лінійної будови.

Лінійні аморфні полімери добре розчиняються в широкому діапазоні співвідношень із розчинниками. Для високомолекулярних кристалічних лінійних полімерів розчинення відбувається переважно при температурах, близьких до температури плавлення кристалічної фази. Вище цієї температури процес розчинення підпорядковується законам змішування рідин.

Полімери з рідкосітчастою структурою здатні лише до обмеженого набухання, тоді як густосітчасті полімери практично не набухають.

Усі полімери характеризуються високими теплоізоляційними та діелектричними властивостями, а також радіопрозорістю. Їх густина зазвичай знаходиться в межах $0,9 \dots 1,2 \text{ г/см}^3$, а для фторвмісних полімерів – у межах $1,8 \dots 2,1 \text{ г/см}^3$. Коефіцієнт об'ємного термічного розширення становить приблизно $0,0006 \dots 0,0001$.

Зміна об'єму полімерів суттєво впливає на їх фізико-механічні властивості, що є одним із їхніх недоліків. Однак у рідкосітчастих та просторово зшитих полімерах цей недолік проявляється значно слабше, тому саме вони найчастіше застосовуються в різних галузях народного господарства.

В реальному полімері існує набір макромолекул з різною масою, тому молекулярна маса полімеру визначається як середнє значення молекулярних мас всіх макромолекул що входять в склад полімера. Розташування атомів що утворюють молекулу в просторі визначає конфігурацію макромолекули. Відомо чотири рівні конфігурацій:

- конфігурація ланки;
- ближній конфігураційний порядок;
- дальній конфігураційний порядок;
- конфігурація ланцюга.

Конфігурація ланки макромолекули визначає розташування атомів в основному молекулярному ланцюзі і в ближніх групах.

Ближній конфігураційний порядок характеризує регулярність і стереoreгулярність молекул. Якщо ланцюг побудований із різних ланок – полімер регулярний. При певному співвідношенні, тобто просторовому розташуванні бічних груп відносно головного ланцюга утвориться стереoreгулярний полімер.

Велика довжина макромолекул визначає їх гнучкість завдяки якій можливий поворот однієї частини молекули відносно іншої під дією та зовнішніх факторів. Такі зміни називаються конформаційними перетвореннями.

Хімічна будова полімеру не повною мірою визначає його специфічні властивості. Значною мірою вони залежать від надмолекулярної структури (НМС), тобто характеру просторового упакування макромолекул. Між близько розташованими ланками макромолекул діють сили притягання та відштовхування. За умови їх рівноваги виникає міжмолекулярна взаємодія, яка може бути досить інтенсивною і сприяє формуванню впорядкованих ділянок, що називаються асоціатами.

Утворення асоціатів супроводжується зменшенням внутрішньої енергії системи. Окремі макромолекули можуть формувати вузли зчеплення, утворюючи своєрідну просторову структуру з асоціатів і сегментів, відому як флуктуаційна сітка. Перелічені утворення є найпростішими формами надмолекулярної організації.

Такі структурні елементи можуть виступати зародками кристалізації. Подальше зростання кристалічних утворень у різних напрямках приводить до формування більш складних надмолекулярних структур – сферолітів.

Полімерам властиві два агрегатні стани: твердий; рідкий.

Перехід в газоподібний неможливий без фізичного руйнування зв'язків основного ланцюга.

					БР 5826.00.000 ПЗ	Арк.
						14
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Полімери можуть перебувати у чотирьох фізичних станах: кристалічному, склоподібному, високоеластичному та в'язкотекучому (рідкому).

Під час охолодження полімеру можливі два принципово різні механізми переходу в твердий стан: кристалізація та склування. Кристалізація відбувається за певної температури і супроводжується формуванням впорядкованої структури. Якщо ж при охолодженні полімер переходить у твердий стан без утворення дальнього порядку, має місце процес склування. Цей процес є зворотним: у певному температурному інтервалі (приблизно 10...20 °С) полімер може переходити зі склоподібного стану в розплавлений, а середнє значення цього інтервалу визначають як температуру склування.

При температурах нижче температури склування рухливість сегментів макромолекул зменшується, і за досягнення температури крихкості полімер руйнується як крихке тіло. Стан, у якому переважають пружні деформації, називають високоеластичним.

Довговічність полімерів визначається як час від моменту прикладання навантаження до їхнього руйнування. Міцність значною мірою залежить від структури, що формується під час переробки матеріалу. Одним із поширених способів зміцнення є макроорієнтація молекул, зокрема шляхом орієнтаційної витяжки, коли виріб розтягують в одному або двох напрямках. Іншим методом отримання орієнтованих полімерів є напрямлена полімеризація.

Важливою характеристикою полімерів є здатність до релаксації механічних напружень. Якщо зразок піддати деформації розтягу та зафіксувати в цьому стані, внаслідок перебудови макромолекулярних ланок виникає високоеластична деформація, і напруження поступово зменшуються, тобто відбувається їх релаксація. Час, протягом якого початкове напруження зменшується у певну кількість разів, називають часом релаксації; він залежить від структури полімеру та зовнішніх умов і може змінюватися від кількох хвилин до кількох діб.

Початок форми

					БР 5826.00.000 ПЗ	Арк.
						15
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1.2. Особливості одержання полімерних плівкових матеріалів

Плівковими називають матеріали, що утворюють суцільний шар речовини. Однією з характерних властивостей полімерів є їх здатність до плівкоутворення, що відрізняє їх від низькомолекулярних сполук, які не здатні формувати покриття з наперед заданим комплексом експлуатаційних властивостей. Така здатність зумовлена високою асиметрією макромолекул полімерів, а також формуванням у процесі плівкоутворення специфічних структурних утворень [4].

Мінімальна товщина плівок, що використовуються в техніці та побуті, визначається когезійною міцністю полімеру у в'язкотекучому стані. Зі зростанням когезійної міцності з'являється можливість отримання тонших матеріалів. Водночас міцність полімерів значною мірою залежить від інтенсивності теплових флуктуацій, тобто температурного режиму [5]. Саме по собі підвищення когезійної енергії не забезпечує формування міцних тонких плівок. Для цього необхідним є забезпечення максимальної кількості контактів між макромолекулами, протікання процесів кристалізації та формування фібрилярних надмолекулярних структур. Сукупна дія цих факторів забезпечує можливість одержання плівкових матеріалів мінімальної товщини (до 0,25 мм).

Структурні характеристики полімерних плівок зумовлюються їх геометрією, за якої співвідношення площі поверхні до об'єму є надзвичайно великим. У зв'язку з цим властивості плівок, що значною мірою залежать від їх внутрішньої будови, визначаються передусім характеристиками поверхневих шарів, які в багатьох випадках істотно відрізняються від властивостей матеріалу в об'ємі [6].

Відмінності у структурі окремих шарів обумовлені специфікою формування верхньої (повітряної) та нижньої (дзеркальної) поверхонь плівки. Плівкові матеріали, отримані на твердій підкладці, характеризуються

					БР 5826.00.000 ПЗ	Арк.
						16
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

структурною неоднорідністю (рисунок 1.2). У загальному випадку в їх будові можна виділити три шари, що відрізняються за своєю структурною організацією.

Рисунок 1.2 – Шаровоструктурна неоднорідність плівок, формування яких здійснюється з розчину полімера на твердій поверхні:
1 – повітряний шар; 2 – глибокий шар;
3 – дзеркальний шар

Верхній шар плівки, який у процесі формування контактує з повітрям, характеризується найвищою щільністю упаковки структурних утворень, що зумовлено більш повним перебігом релаксаційних процесів [6]. Водночас нижній шар, який взаємодіє з твердою (дзеркальною) поверхнею підкладки, на якій відбувається формування, має найбільш виражену площинно-орієнтовану структуру. Це пояснюється фіксуючим впливом твердої поверхні в умовах зменшення об'єму під час висихання розчину при одночасному збереженні площинних розмірів плівки.

Нижній поверхневий шар відзначається підвищеною здатністю до набухання та кращою здатністю до фарбування порівняно з верхнім шаром, який має більш щільну структуру [7]. Середній шар являє собою відносно ізотропну полімерну область із менш щільною упаковкою структурних елементів, що обумовлено наявністю певної кількості залишкового розчинника.

У плівках, отриманих із розчину методом формування на твердій підкладці, ключову роль у зміні властивостей з часом відіграє нижній шар із його нестійкою площинно-орієнтованою структурою. Саме він визначає перебіг релаксаційних процесів, які спричиняють зміну геометричних розмірів виробів. Час, необхідний для стабілізації розмірів плівки, визначається інтенсивністю цих релаксаційних процесів [8].

					БР 5826.00.000 ПЗ	Арк.
						17
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

У ряді випадків усадка плівок є небажаною або повинна бути мінімальною. Її зменшують або безпосередньо в процесі формування, або шляхом додаткової термічної обробки. Встановлено, що усадка і товщина плівок суттєво знижуються при їх формуванні на рідкій поверхні, що забезпечує більш повне протікання релаксаційних процесів під час плівкоутворення. Для зменшення усадки також застосовують термообробку [9] або витримування рулонів плівки протягом певного часу для завершення релаксаційних явищ. Таким чином, у плівках, сформованих із розчинів на твердій поверхні, можна виділити дзеркальний, повітряний і внутрішній (глибинний) шари, які відрізняються за щільністю упаковки структурних елементів, їх орієнтацією та швидкістю перебігу релаксаційних процесів.

Полімерні плівки, отримані з розчинів або розплавів і такі, що не відповідають необхідним вимогам, піддають модифікації різними методами. Одним із фізичних способів модифікації є витяжка. Проведення витяжки в аморфному стані полімеру сприяє значному підвищенню міцності, деформівності та морозостійкості матеріалу [10]. У технології виготовлення плівок застосовують одновісну, двовісну та площинну витяжку. При одновісній витяжці формується анізотропна структура: орієнтація макромолекул забезпечує зростання міцності, але водночас зменшує деформівність у напрямку орієнтації. Другий спосіб витяжки – двохвісна витяжка, що дозволяє одержати плівку із підвищеними показниками міцності в двох взаємно перпендикулярних напрямках [11].

Третій спосіб витяжки дозволяє одержати плівку із площинноорієнтованою структурою надмолекулярних утворень. Дана структура виникає при роздуванні стиснутим повітрям циліндричного рукава, який виходить із сопла шнек-машини через кільцеву щілину. Цей шлях розрізають повздовж і плівка через вали поступає на приймальний пристрій. Таким методом можна виготовляти плівки.

Фізико-хімічні методи модифікації плівкових матеріалів, спрямовані на покращення їх експлуатаційних властивостей, реалізуються двома основними

					БР 5826.00.000 ПЗ	Арк.
						18
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

підходами: пластифікацією плівкоутворюючого полімеру та створенням удароміцних плівок на основі полімерних сумішей. Перший підхід полягає у введенні невеликої кількості пластифікатора, який «змащує» фібрилярні структурні утворення, що призводить до підвищення їх рухливості та, відповідно, покращення деформаційних характеристик матеріалу [12].

Другий метод базується на формуванні гетерофазних систем із двох полімерів [13]. При цьому один із них виконує роль плівкоутворюючої матриці, яка перебуває у склоподібному стані в інтервалі робочих температур, тоді як інший утворює дисперсну фазу, здатну ефективно поглинати енергію деформації, зокрема при ударних навантаженнях [13]. Такий підхід широко застосовується для отримання плівкових матеріалів із підвищеною ударною міцністю.

1.3. Методи покращення властивостей та ресурсних можливостей термопластичних полімерів

Більшість плівкових матеріалів піддаються додатковій обробці з метою нанесення друку, фарбування, металізації, а також при виготовленні багатошарових систем шляхом склеювання, екструзійного нанесення розплаву чи лакування. У всіх цих випадках визначальне значення має адгезія між шарами, від якої залежать експлуатаційна стійкість і сукупність функціональних властивостей матеріалу.

Адгезійні характеристики зумовлюються насамперед хімічною природою контактуючих матеріалів, однак істотну роль відіграють також мікрорельєф поверхні, її чистота та інші фактори [14]. Тому застосовують спеціальні методи обробки, які змінюють хімічний склад поверхневого шару, підвищують її гідрофільність і покращують міцність міжшарових з'єднань.

Вибір способу обробки визначається необхідним ефектом (очищення, підвищення шорсткості тощо) і природою полімеру. Одним із найпростіших методів є знежирювання, яке забезпечує видалення пластифікаторів, масел, жирів

					БР 5826.00.000 ПЗ	Арк.
						19
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

та інших домішок, що погіршують адгезію. Таку обробку здійснюють парами розчинників у суміші з інертними газами [15]. Механічну обробку проводять із застосуванням спеціальних установок, серед яких найпоширенішими є струменеві апарати.

Термічна обробка, зокрема обробка полум'ям при температурі 200–400 °С, сприяє зміцненню надмолекулярної структури поверхневого шару. Для поліетиленових плівок її доцільно проводити одразу після екструзії. Для поліолефінів також застосовують термообробку у водному середовищі при 60–80 °С протягом кількох годин, що дозволяє знизити внутрішні напруження, зміцнити структуру та покращити змочуваність поверхні. Цей метод ефективний при виготовленні комбінованих плівкових матеріалів [16].

Обробка в електричному полі використовується для поліолефінів, фторопластів і целофану. Попередньо поверхню можуть очищати, окиснювати або піддавати термічній дії. Одним із найбільш поширених способів є обробка коронним розрядом, яка широко застосовується для активації поверхні поліетиленових плівок перед нанесенням зображень методами шовкотрафаретного, флексографічного та інших видів друку.

Оскільки полімерні плівки широко застосовуються у виробництві товарів народного споживання, вони повинні відповідати ряду експлуатаційних вимог. Для отримання гладкої, блискучої поверхні використовують суміші розчинників із низькою швидкістю випаровування, що забезпечує краще розтікання лаку, хоча при цьому збільшується час висихання [17].

Зменшенню налипання та покращенню характеристик термосклеювання сприяє введення до лаків кремнійорганічних сполук, зокрема силоксанового каучуку СКТ. Це дозволяє підвищити якість обробки, знизити адгезію між шарами при намотуванні та покращити морозостійкість матеріалів [18].

Ефективним способом модифікації є орієнтація плівок, що формується під дією механічних і теплових навантажень. У результаті зростає впорядкованість макромолекул і посилюється міжмолекулярна взаємодія [19]. Орієнтація сприяє

					БР 5826.00.000 ПЗ	Арк.
						20
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

підвищенню міцності, зменшенню дефектності та крихкості матеріалу. Нагрівання орієнтованих полімерів у вільному стані викликає їх усадку, пов'язану з процесами розорієнтації та рекристалізації. Величина усадки залежить від ступеня орієнтації та температури [20]. Це явище використовується при виробництві термоусадочних плівок.

Важливим напрямом є надання плівкам бактеріостатичних властивостей, особливо для матеріалів, що контактують із харчовими продуктами або використовуються в медицині [21]. Для цього застосовують консервуючі добавки, зокрема хімічні консерванти та антибіотики, які вводять у полімер за умов, що запобігають їх термічному розкладу.

Липкі плівкові матеріали являють собою стрічки з одностороннім або двостороннім клейовим шаром, який протягом певного часу зберігає свої властивості. У простих конструкціях клей наносять безпосередньо на плівку-основу, яку потім намотують у рулон. Завдяки попередній обробці досягається необхідна ступінь спорідненості, що запобігає переходу клею на зворотний бік.

У складніших конструкціях основа являє собою багатошаровий пакет із двох або більше полімерних плівок, з'єднаних між собою, а також додаткових декоративних чи функціональних шарів (лак, фарба, метал), нанесених у процесі виготовлення [22].

Липкі плівки знаходять широке застосування як електроізоляційні матеріали, антикорозійні покриття для трубопроводів, пакувальні матеріали, засоби захисту документів, а також у виробництві самоклеючих інформаційних та конструкційних елементів.

1.4. Висновки і формулювання завдань досліджень

Однією з ключових проблем у виробництві плівкових матеріалів є вибір оптимального способу обробки поверхні, спрямованого на покращення зовнішнього вигляду виробів, підвищення їх інформаційної цінності шляхом

					БР 5826.00.000 ПЗ	Арк.
						21
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

нанесення написів і зображень, а також надання необхідних додаткових властивостей і покращення експлуатаційних характеристик.

До сучасних процесів поверхневої обробки полімерних виробів належать попередня активація поверхні, фарбування, а також декорування із застосуванням трафаретного друку для нанесення написів, товарних знаків та кольорових зображень на плівкові матеріали. Серед поширених полімерів особливе місце займають поліолефіни, вироби з яких характеризуються високою стійкістю до дії лугів, кислот і розчинників, що зумовлено їх хімічною природою. Водночас така хімічна інертність, яка є перевагою під час експлуатації, ускладнює процеси поверхневої обробки через низьку адгезійну здатність до покриттів. Тому для її підвищення застосовують попередню активацію поверхні.

Існує кілька методів обробки полімерних виробів, серед яких одним із найбільш перспективних є обробка коронним розрядом. У результаті такої обробки поверхня набуває необхідних фізико-хімічних властивостей, що забезпечує ефективне виконання подальших технологічних операцій.

Реалізація зазначених підходів можлива за умови комплексного вирішення завдань, пов'язаних як із дослідженням процесів плівкоутворення, так і з удосконаленням методів поверхневої обробки, зокрема поліетиленових плівок методом коронного розряду.

У зв'язку з цим у роботі було поставлено такі теоретичні та прикладні завдання:

- визначити оптимальний склад поліетиленової плівки, що забезпечує необхідні міцнісні та технологічні властивості для використання в харчовій промисловості;

- дослідити вплив технологічних параметрів виготовлення на фізико-механічні характеристики полімерних плівок.

- вивчити вплив умов мікросередовища (вологості, температури) на технологічні властивості плівок;

					БР 5826.00.000 ПЗ	Арк.
						22
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

— оцінити вплив коронного електричного розряду на міцнісні характеристики полімерних плівок.

РОЗДІЛ 2

МЕТОДИКИ ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ХАРАКТЕРИСТИКА МАТЕРІАЛІВ

2.1. Характеристика вибраних матеріалів

					БР 5826.00.000 ПЗ	Арк.
						23
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Як базовий полімер для виготовлення плівкових матеріалів використовували поліетилен високого тиску (низької густини), що відповідає чинним вимогам технічних умов і стандартів на поліетилен низької густини (зокрема діючим EN/ISO-гармонізованим нормативам), марок 15303-003, 10803-020 та інших аналогічних, а також матеріал словацького виробництва марки Bralen P B2-30 з подібними властивостями.

Для отримання наповнених поліетиленових плівок застосовували наповнювачі у вигляді суперконцентратів марки СКП-001 або Kutilen whit 140 виробництва компанії Plastika (таблиця 2.1).

Як основну сировину, напівпродукти та допоміжні матеріали для реалізації процесу флексографічного друку при виготовленні плівки для пакування молока та мішків з вирубними ручками, а також для пакування готової продукції, використовували поліетиленову плівку, флексографічні друкарські фарби, етилацетат, розчинники для фарб, а також прискорювачі та сповільнювачі висихання. Як додатковий розчинник застосовували етиловий спирт.

Для визначення величини крайового кута змочування використовували суміш формаміду та моноетилового ефіру етиленгліколю з варіюванням складу: формамід – від 0 до 97 об. %, моноетиловий ефір етиленгліколю – від 100 до 93 об’ємних %.

Таблиця 2.1 – Характеристика сировини для виробництва поліетиленової плівки

Найменування сировини,	Показники, обов’язкові для перевірки	Регламентовані значення показників з
------------------------	--------------------------------------	--------------------------------------

матеріалів, напівпродуктів		допустимими відхиленнями
Поліетилен високого типу марок 15303-003	1. Густина, $г/см^3$ 2. Показник текучості розплаву 3. Розходження показників текучості в межах партії, % не більше 4. Кількість включень	0,9205±0,0015 0,3±30 ±2 2...8
Поліетилен високого типу марок 15803-020	1. Густина, $г/см^3$ 2. Показник розплаву 3. Розходження показників текучості в межах партії, % не більше 4. Кількість включень	0,9190±0,0015 2,30±30 ±12 2...8
Bralen P B2-30	1. Густина, $г/см^3$ 2. Показник текучості розплаву, $г/10хв$	0,922 2,0
Суперконцетрат	1. Колір зафарбованого поліолефіну 2. Термостійкість фарбування при температурі 250°С	Відповідає зразку узгодженому між виготовлювачем і споживачем Колір не змінюється

2.2. Методи дослідження властивостей полімерних плівок

					БР 5826.00.000 ПЗ	Арк.
						25
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Для визначення властивостей матеріалів застосовують відповідні методи досліджень. Зазвичай вони спрямовані на перевірку коректності встановлених технологічних режимів одержання плівок, однак не завжди забезпечують повноцінний інженерний аналіз матеріалу, зокрема оцінку його поведінки в умовах експлуатації.

Інженерна оцінка властивостей матеріалів дозволяє отримати не лише базові параметри, що характеризують їхні властивості, але й встановити залежності цих параметрів від різних зовнішніх чинників, які змінюються в процесі експлуатації виробів. До таких чинників належать температура, механічні навантаження, тривалість дії, інтенсивність впливу, а також вплив навколишнього середовища.

Залежно від призначення плівкові матеріали піддають загальним дослідженням для визначення їх геометричних, масових та механічних характеристик. Основними параметрами є довжина, ширина та товщина плівки.

Для проведення випробувань із кожного відібраного рулону по всій ширині плівки вирізають по дві смужки довжиною не менше 0,2 м та площею 0,5...5 м² кожна, розташовані на відстані не менше 1 м одна від одної. Товщину плівки вимірюють відповідно до чинних національних стандартів (гармонізованих з ISO), у кімнатних умовах, по всій ширині зразка. Перше вимірювання виконують на відстані 10...12 мм від краю смужки, подальші – через кожні 50...55 мм для плівок шириною до 1500 мм. Для вимірювання використовують прилади відповідного класу точності (аналогічні вимірювачі товщини плівок за стандартами ISO/EN), залежно від товщини матеріалу.

За результатами вимірювань визначають максимальне та мінімальне значення товщини плівки в рулоні, а також відхилення від номінального значення.

Ширину плівки визначають у двох контрольних точках на відстані 5...7 см від країв кожної смужки. Вимірювання виконують металевою лінійкою з ціною поділки 1 мм (або аналогічним вимірювальним інструментом відповідної точності). За результатами чотирьох вимірювань встановлюють максимальне та

					БР 5826.00.000 ПЗ	Арк.
						26
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

мінімальне значення ширини плівки в рулоні, а також відхилення від номінального значення [23].

Початок форми

Кінець форми

Довжину плівки вимірюємо в процесі виготовлення.

Кількість плівки в квадратних метрах вираховуємо за формулою:

$$S = L \times B - \text{для полотна} \quad (2.1)$$

$$S = L \times 2B - \text{для рукава і напіврукава} \quad (2.2)$$

$$S = L(2B + 4F) - \text{для рукава з фальцовкою} \quad (2.3)$$

$$S = L \times 4B - \text{для рукава складеного вдвоє} \quad (2.4)$$

де B – номінальна ширина плівки в рулоні, м;

L – довжина плівки, виміряна в процесі виготовлення, м;

F – глибина фальцовки, м.

Зовнішній вигляд плівки визначають візуальним методом шляхом огляду всієї її поверхні під час виробництва, перемотування або при аналізі окремих ділянок. До основних дефектів відносять дірки, сторонні вclusions, масляні плями, проколи та інші порушення суцільності матеріалу.

Механічні властивості плівок належать до ключових характеристик, які дають змогу оцінити доцільність їх використання в різних галузях народного господарства. Для визначення необхідних показників застосовують відповідні методи дослідження, що наведені нижче.

Міцність при розриві та відносне видовження визначаємо відповідно до чинних національних стандартів України, гармонізованих з міжнародними нормами (ДСТУ ISO/EN, що регламентують методики випробувань полімерних плівок на розтяг) без попереднього кондиціонування плівок на розривній машині типу РМІ 60, шкала навантажень – 0,30 кг/с, а відстань між зажимами не менше 500 мм. Дослідження проводимо в кімнатних умовах на зразках шириною $15,0 \pm 0,2$ мм, вирізаних в повздовжньому і поперечному напрямках із плівки. Зразок вирізаємо будь-яким ріжучим інструментом, дозволяючи отримати зразок

					БР 5826.00.000 ПЗ	Арк.
						27
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

з прямими паралельними сторонами і рівними, гладкими краями без зазубрин і інших видимих дефектів. Швидкість руху зажимів досліджуваної машини $500,0 \pm 50,0$ мм/хв, розрахована і зажимна довжина складають $50,0 \pm 1,0$ мм.

За результат вимірювань приймають середнє арифметичне значення п'яти окремих визначень, виконаних у поздовжньому та поперечному напрямках. При цьому мінімальне значення в кожному з напрямків не повинно бути нижчим за встановлену норму. У разі відхилення хоча б одного показника від допустимого значення випробування повторюють, подвоюючи кількість зразків, відібраних з того ж рулону.

За результат повторних випробувань приймають середнє арифметичне значення десяти визначень. Остаточний результат випробування встановлюють як узагальнене середнє значення показників міцності при розтязі та відносного видовження при розриві [20].

Відносний поверхневий електричний опір визначаємо на плівці товщиною від 0,03 мм і більше відповідно до чинних національних стандартів України, гармонізованих з міжнародними нормами (ДСТУ ISO/IEC, що регламентують методики вимірювання поверхневого електричного опору полімерних матеріалів), на зразках у формі диска діаметром 100 мм за кімнатних умов та при напрузі 100 В. Вимірювання проводять із використанням електродів, виготовлених із нержавіючої сталі, латуні або дорогоцінних металів. Контакт електрода зі зразком утворюється тиском. Дослідження проводимо на трьох зразках, виготовлених після витримування плівки на протязі доби в кімнатних умовах. Перед дослідженням поверхню не можна протирати і промивати. За результат вимірювання плівки в рулоні приймаємо середнє арифметичне значення трьох вимірювань. За результат досліджень приймаємо максимальне із середніх арифметичних значень відносного поверхневого опору.

Визначення максимальної робочої температури плівки здійснюють шляхом нагрівання зразка, закріпленого з вантажем, у термостаті. Умови випробувань (швидкість нагрівання, температура та навантаження) встановлюють відповідно

					БР 5826.00.000 ПЗ	Арк.
						28
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

до діючих національних стандартів України (ДСТУ, гармонізованих з ISO), що регламентують методики випробувань полімерних плівок. На основі отриманих експериментальних даних будують термомеханічну криву в координатах «температура – деформація». Температуру, що відповідає гранично допустимій деформації, приймають за показник теплостійкості плівки.

Визначення мінімальної робочої температури є важливою характеристикою, яка використовується для оцінки морозостійкості плівки [21]. Морозостійкість, як правило, оцінюють за зменшенням деформації зразка під дією заданого навантаження до встановленої межі за умови, що швидкість деформації відповідає умовам експлуатації.

Усадка плівки. Поступове нагрівання плівкових матеріалів може спричиняти релаксацію зафіксованих внутрішніх напружень, що призводить до скорочення їх розмірів. Усадка має суттєве значення при зварюванні або склеюванні плівок, оскільки може викликати появу зморшок і складок.

Лінійну усадку визначають за зміною довжини та ширини зразка протягом заданого часу при встановленій температурі [21].

Корозійну стійкість отриманих матеріалів оцінюють шляхом занурення зразків у воду, нафту та бензин А-76. Тривалість витримки залежить від форми та маси зразка. Зразки зважують до і після впливу агресивного середовища на аналітичних вагах ВЛР-200 з точністю до 0,0001 г. Початок форми

Кінець форми

При збільшенні маси зразків розраховуємо за формулою:

$$x = \frac{b - a}{a} 100, \quad (2.5.)$$

а при зменшенні маси за формулою:

$$x = \frac{a - b}{a} 100, \quad (2.6.)$$

де x – корозійна стійкість, %;

a – маса зразка до випробувань, г;

					БР 5826.00.000 ПЗ	Арк.
						29
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Крайовий кут змочування визначали методом „нерухомої краплі”, що на від інших методів, характеризує використання меншої кількості матеріалу при точному вимірюванні, а також є відносно простим [22].



Суть методу полягає в обробці поверхневого шару поліетиленової плівки коронним розрядом, який являє собою різновид електричного розряду в газовому середовищі, що виникає між електродами, які перебувають під високою напругою (рисунок 2.2).

Під дією високого градієнта потенціалу, зумовленого неоднорідністю електричного поля поблизу електродів, відбувається іонізація повітря. Заряджені частинки плазми, прискорені електричним полем коронного розряду, бомбардують поверхню плівки, утворюючи активні центри, що забезпечує появу полярних груп і підвищення адгезійних властивостей матеріалу. Джерелом енергії коронного розряду та електричного поля є генератор змінного струму. Залежно від типу та розмірів оброблюваної плівки потужність генератора зазвичай не перевищує 10...20 кВт [22].

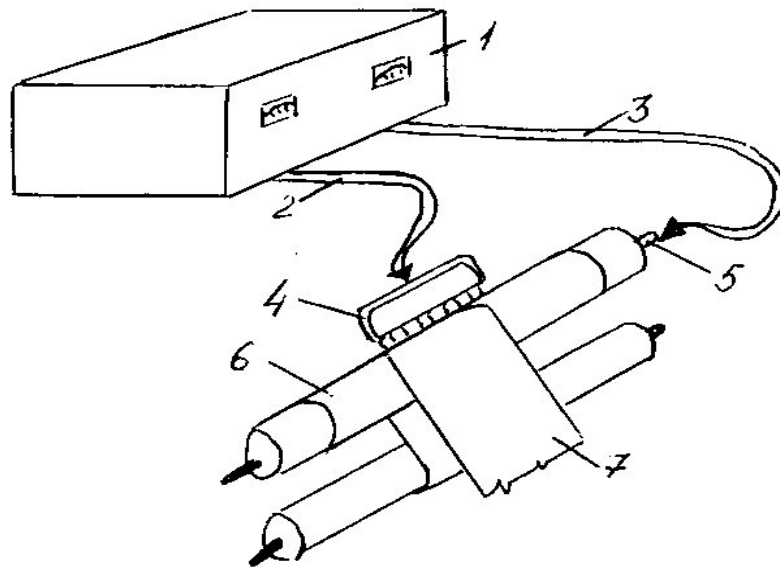


Рисунок 2.2 – Схема процесу обробки поліетиленової плівки коронним розрядом:

- 1 – високовольтна установка;
- 2, 3 – високовольтний і заземлений провід;
- 4,5 – високовольтний і заземлений електроди;
- 6 – діелектричне покриття; 7 – оброблювальна плівка

Робочий орган пристрою складається з пари електродів, між якими проходить оброблювана плівка. Один електрод є «холодним», розташовується з тильної сторони та заземлюється. Другий електрод – «гарячий» – виконує функцію випромінювача і виготовляється у вигляді однієї або декількох вузьких металевих смуг прямокутного перерізу, довжина яких менша за ширину на 1,0...1,5 см.

Для забезпечення можливості обробки плівок різної ширини без заміни електродного блоку «гарячий» електрод виконується у вигляді конструкції типу розсувних ножиць або з'єднаних зустрічно вил.

Як заземлений електрод застосовують металевий барабан або транспортний ролик, який одночасно підтримує та розпрямляє плівку під час її транспортування.

При зменшенні товщини плівки можливе виникнення електричних пробойів, тому для їх запобігання необхідно знижувати прикладену напругу. Активацію поверхні доцільно здійснювати при оптимальній відстані між електродами 1...2 мм. За різних режимів обробки ефективність активації зростає зі збільшенням струму і практично не залежить від товщини плівки.

2.3. Обробка результатів досліджень

Під час визначення міцності та інших показників спостерігається значний розкид отриманих значень. Це зумовлено тим, що, окрім об'єктивних чинників (зокрема технологічних), на результати впливають численні випадкові та ймовірні похибки. Застосування статистичної обробки експериментальних даних дає змогу більш точно встановити характерні величини та оцінити їх достовірність. Для визначення типової характеристики розраховували середнє арифметичне значення M :

$$M = \frac{\sum x}{n},$$

де: $\sum x$ – сума окремих вимірів;

n – число вимірів.

Для вирішення питання про те, при яких умовах дуже велике значення $x_{\max}$ виключити і в яких умовах його необхідно враховувати, використовували апарат теорій ймовірностей, що дозволяє досить точно і просто провести такий аналіз.

Визначали величину:

					БР 5826.00.000 ПЗ	Арк.
						32
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$S = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - M)^2}$$

і складали безрозмірний дріб типу Стюдента:

$$V = \frac{x_{\max} - M}{S}$$

По залежності числа замірів від ймовірності $p = 0,05$ знаходили квантілі розподілу V_0 . Якщо $V > V_0$, то $x_{\max}$ слід відкинути як замір, що містить грубу помилку.

Аналогічно проводили розрахунок, якщо розглядали мінімальне значення $x_{\min}$, тільки в цьому випадку:

$$V = \frac{m - x_{\min}}{S}$$

Границі коливань досліджуваних властивостей характеризують середньоквадратичне відхилення S , рівне:

$$s = \sqrt{\frac{\sum x^2}{n - 1}}$$

де: $\sum x^2$ – сума квадратів відхилень всіх варіантів від арифметичного:

$$m = \pm \frac{s}{\sqrt{n}}$$

Результати рахували надійними, якщо частка від ділення середньостатистичного на середню помилку більша середньоквадратичного відхилення:

$$\frac{M}{m} > s$$

Показники точності досліджень p знаходили по формулі:

$$p = \frac{m}{M} \times 100. \quad (2.7)$$

					БР 5826.00.000 ПЗ	Арк.
						33
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Для визначення числа зразків, необхідних для отримання результатів досліджень з заданим ступенем точності, користуються формулою (2.7), звідки знаходять n :

$$p = \frac{m}{M} \times 100 = \frac{G \times 100}{\sqrt{n} \times M},$$

звідки:

$$n = \frac{s^2 \times 100}{p^2 \times M^2}. \quad (2.8)$$

Виражаючи середньоквадратичне відхилення в процентах середньоарифметичного M , отримаємо варіаційний коефіцієнт:

$$V = \pm \frac{G}{M} \times 100.$$

Знаючи варіаційний коефіцієнт і показник точності, число зразків також можна визначити по формулі:

$$n = \pm \frac{s}{M} \times 100, \quad (2.9)$$

або:

$$n = \frac{V^2}{p^2}.$$

Формули (2.8) і (2.9) забезпечують надійність отримання результату з ймовірністю 0,683 [23].

РОЗДІЛ 3

ЗАКОНОМІРНОСТІ ФОРМУВАННЯ ПОЛІМЕРНИХ ПЛІВОК

3.1. Технологія одержання полімерних плівок

Технологічність полімерних матеріалів, зокрема термопластів, є однією з їх ключових характеристик, оскільки забезпечує можливість швидкого та

					БР 5826.00.000 ПЗ	Арк.
						34
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ефективного отримання виробів заданої форми, розмірів і властивостей. У світовій та вітчизняній практиці для переробки термопластів широко застосовують такі основні методи, як екструзія, лиття під тиском та стікання.

Поліетиленову плівку виготовляють методом екструзії, який полягає у формуванні виробів або напівфабрикатів необхідної конфігурації шляхом продавлювання розплаву полімеру через формуючий отвір. Як сировину використовують поліетилен високого тиску (низької густини), при цьому отримана плівка характеризується відповідними властивостями (таблиця 3.1).

Технологічний процес виготовлення полімерних матеріалів включає кілька послідовних етапів, кожен з яких має свої особливості. Зокрема, процес виробництва полімерної плівки охоплює підготовку сировини, налаштування екструдера до роботи, формування плівкового рукава, а також контроль і оцінювання отриманого матеріалу.

Технологія отримання полімерних плівок із подальшою обробкою коронним розрядом наведена в таблиці 3.2.

Підготовка сировини. Для отримання наповненої поліетиленової плівки наповнювач дозують у кількості 2 % від маси основної сировини. Попередньо зважений наповнювач завантажують у ємність і ретельно перемішують до отримання однорідної суміші.

Таблиця 3.1 – Показники поліетиленової плівки

Досліджувані характеристики плівки	Значення фізичної величини з граничним відхиленням		
Товщина, мм	0,060 $+ 0,020$ $- 0,010$		
Ширина, мм	200 ± 5 217 ± 5	300 ± 5 305 ± 5	320 ± 5

Довжина окремих відрізків, м, не менше	30
Зовнішній вигляд	В плівці не допускається тріщини, запресовані складки, розривні і наскрізні отвори. Малюнок нанесений методом друку повинен бути чітким без перекосів, підтікань і недодруку.
Колір плівки	Натуральний або білий, відтінки не нормуються
Кількість включань $1\text{ м}^2_{\text{шт}}$, не більше розміром 0,5 - 1,00 мм 1,1 - 2,00 мм	25 5
Міцність при розтягу в повздовжньому і поперечному напрямках, МПа не менше	13,7
Внутрішнє видовження при розриві 6%, не менше: в повздовжньому напрямку в поперечному напрямку	300 400
Коефіцієнт тертя (статичний)	0,1-0,25
Міцність зварного шва в повздовжньому і поперечному напрямках	10,8(110)

Таблиця 3.2 – Ілюстрація технологічного процесу отримання полімерних плівок з наступною обробкою матеріалу коронним розрядом

Номер операції	Назва операції	Структура операції	Обладнання, матеріали
1	2	3	4

005	Заготівельна	1.Підібрати необхідні компоненти. 2.Визначити процентний вміст компонентів. 3.Провести змішування вихідних матеріалів.	Ваги лабораторні, ГОСТ 19491-74 ПЕВТ, ГОСТ16337-77 Суперконцентрат СКП-001 Змішувач роторного типу
010	Формувальна	1. Підготувати екструдер до роботи. 2. Ввімкнути вимикач головного приводу і виставити регулятори температур. 3. Протерти робочі поверхні спиртом. 4. Включити вентилятор для дозування сировини в бункер екструдера. 5. Виставити оберти шнека. 6. Намотати рукав на намотувальний пристрій.	Екструдер РОТЕКС Р40 Етиловий спирт ПЕВТ, ГОСТ16337-77 Суперконцентрат СКП-001

Продовження таблиці 3.2

1	2	3	4
015	Контрольна	1.Підготувати контрольний зразок.	Штангенциркуль Щ Ц - І - 8 5 0 ГОСТ 166-80

					БР 5826.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		37

		2.Перевірити розміри згідно методики випробувань.	Мікрометр
020	Обробна	1.Подати плівку в зону обробки. 2.Обробити плівку коронним розрядом.	Коронуючий пристрій типу PE 100
025	Фарбувальна	1.Підготувати установку для фарбування. 2.Нанести фарбу на плівку.	Машина „Поліграф Ультрафлекс”
030	Сушка	1. Ввімкнути вентилятор. 2. Просушити зразок. 3. Подати плівку до пристрою розрізання.	Машина „Поліграф Ультрафлекс” Пристрій проміжної сушки
035	Контрольна	1. Перевірити ступінь адгезії фарби до плівки.	Клейова стрічка Мікрометр

Підготовка екструдера до роботи. Перед запуском екструдера необхідно перевірити правильність встановлення всіх його функціональних вузлів.

1. Відкрити вентиль подачі холодної води для забезпечення охолодження зон черв'яка.

2. Увімкнути головний привід екструдера на розподільчій шафі та встановити задані значення температури по зонах циліндра. Попередній прогрів обладнання становить приблизно 3...4 години.

3. Очистити валки, робочі елементи намотувального пристрою та вузол коронної обробки за допомогою спирту.

4. Увімкнути вентилятор для подачі та дозування сировини в бункер екструдера.

5. Встановити необхідну швидкість обертання шнека.

Після досягнення та стабілізації заданих температурних режимів екструдера та формувальної головки здійснюють завантаження сировини в бункер екструдера (екструдер РОТЕКС Р40). На початковій стадії процесу частоту обертання шнека встановлюють на мінімальному рівні. Одночасно плавно відкривають шибер бункера, здійснюючи контроль навантаження за показаннями амперметра. При досягненні граничного значення струму шибер частково прикривають з метою стабілізації технологічного процесу.

Сировина з бункера під дією власної ваги надходить у матеріальний циліндр, де відбувається її термомеханічна обробка. Під впливом теплової енергії нагрівальних елементів та механічної дії шнека матеріал поступово плавиться, гомогенізується та транспортується в напрямку формувальної головки. Після виходу стабільного потоку розплаву з формувальної головки шибер бункера переводять у повністю відкритий стан. Температурний режим головки підтримують на рівні, близькому до температури шнека, що є важливою умовою для забезпечення рівномірної орієнтації та стабільності плівкового рукава. Розплав полімеру проходить через канали формувальної головки та спрямовується до вихідного кільцевого зазору, де відбувається злиття потоків матеріалу з утворенням суцільної двошарової плівкової заготовки у вигляді рукава.

Отриману рукавну заготовку подають через систему приймальних та проміжних валків до намотувального вузла. Далі вмикають систему повітряного охолодження, подаючи повітря всередину рукава за допомогою вентилятора. Інтенсивність повітряного потоку регулюють дросельними клапанами, що дозволяє контролювати ступінь роздуву плівки. Формувальну головку центрують відносно осі технологічної лінії. Роздув рукавної заготовки здійснюють до заданих геометричних параметрів (ширини та товщини), при цьому швидкість відтягування регулюють відповідно до режиму роботи намотувального

					БР 5826.00.000 ПЗ	Арк.
						39
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

обладнання. Остаточні розміри плівки формуються за рахунок подачі стисненого повітря через кільцеве сопло формувальної головки.

Процес роздування та витягування плівкового рукава відбувається одночасно з його зовнішнім охолодженням повітряним потоком, що подається через кільцеву щілину охолоджувального пристрою. У ході охолодження здійснюється фазовий перехід полімерного матеріалу з розплавленого стану у твердий, який супроводжується процесом кристалізації. Положення лінії кристалізації суттєво впливає на стабільність формування плівки: її підвищене розташування зумовлює збільшення довжини пластичної ділянки рукава, що може призводити до нерівномірності товщини та підвищує ризик термічного злипання шарів. Натомість надто низьке положення лінії кристалізації може спричиняти утворення складок унаслідок різкого переходу геометрії рукава від конічної до циліндричної форми. Оптимальне розташування лінії кристалізації по всьому периметру рукава на однаковій висоті є необхідною умовою отримання плівки з рівномірною товщиною. Далі плівковий рукав транспортується через шахтний стовбур системою напрямних валків до намотувального пристрою. У складі намотувального вузла передбачено охолоджувальний валок, який забезпечує додаткове зниження температури плівки перед її намотуванням на втулку.

У випадках подальшого нанесення друкованого зображення на плівкову основу необхідною є попередня модифікація її поверхні, оскільки поліетилен характеризується гідрофобними властивостями та низькою адгезією до фарбових матеріалів. У зв'язку з цим у роботі проведено аналіз відповідності технологічного процесу виготовлення плівок чинним нормативним вимогам та вимогам до їх подальшої переробки.

Встановлено, що оптимальні значення міцності при розтязі у поздовжньому та поперечному напрямках становлять відповідно 25,5 МПа та 29,6 МПа, що не перевищує допустимих нормативних значень для даного типу матеріалів (таблиця. 3.3). Проведені дослідження відносно показників відносного

					БР 5826.00.000 ПЗ	Арк.
						40
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

видовження при розриві показали їх зміну в межах 30,8...50,4 МПа у поздовжньому напрямку та 47,5...59,2 МПа у поперечному напрямку, що перевищує встановлені технологічні вимоги до аналогічної продукції.

Таблиця 3.3 – Динаміки зміни характеристик в процесі серійного виробництва

№ п/п	Міцність вздовж екструзії, МПа	Міцність поперек екструзії, МПа	Видовження вздовж екструзії, МПа	Видовження поперек екструзії, МПа
1	24,6	25,5	38,3	50,6
2	22,9	23,7	40,0	51,8
3	24,0	22,4	34,0	47,5
4	29,5	22,5	50,4	58,2
5	23,1	21,8	23,8	45,0
6	25,3	22,9	37,0	59,2
7	22,6	25,0	37,4	53,2
8	23,0	25,4	39,4	50,4
9	22,4	22,3	41,0	49,0

Отримані результати свідчать про те, що запропонована технологічна схема є ефективною та забезпечує одержання полімерних плівок із підвищеними міцнісними характеристиками за рахунок регулювання якісних і кількісних параметрів технологічного процесу.

3.2. Підвищення адгезійно-міцнісних властивостей плівкових матеріалів за рахунок їх обробки в електричному полі

Полімерні матеріали, що використовуються для виготовлення пакувальної продукції харчового призначення, потребують відповідного зовнішнього оформлення шляхом нанесення зображень із застосуванням лакофарбових матеріалів. Зокрема, при виробництві плівок для молока та молочної продукції застосовують вітчизняні та імпорتنі фарби, які наносяться методом флексографічного друку. Водночас отримання якісного друкованого зображення ускладнюється рядом факторів, серед яких гідрофобність полімерної основи та наявність забрудненої («засаленої») поверхні.

З метою усунення зазначених недоліків у роботі запропоновано метод модифікації поверхневого шару полімеру шляхом обробки коронним розрядом (див. розділ 2.2). Експериментально встановлено, що при обробці плівкового матеріалу коронним розрядом за оптимального значення сили струму 2,5 А суттєво покращуються адгезійно-міцнісні характеристики, а поверхня набуває гідрофільних властивостей (рисунок 3.1).

При цьому важливим є дотримання оптимального режиму обробки, оскільки за знижених значень сили струму (1,0...1,5 А) якість нанесення зображення погіршується. Підвищення сили струму понад 3,2 А призводить до зниження експлуатаційних властивостей плівки, зокрема міцності, ударної в'язкості та теплофізичних характеристик, що пов'язано з частковим руйнуванням міжмолекулярних зв'язків і утворенням мікротріщин у полімерній структурі.

Якість друкованого зображення значною мірою визначається адгезійно-міцнісними характеристиками поверхні, які безпосередньо залежать від її змочувальних властивостей. У зв'язку з цим у роботі проведено оцінювання впливу режимів обробки на величину крайового кута змочування двокомпонентною системою, що складається з формаміду та моноетилового ефіру

					БР 5826.00.000 ПЗ	Арк.
						42
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

етиленгліколю. За результатами експериментальних досліджень (табл. 3.4) встановлено, що оптимальному значенню крайового кута змочування 40° відповідає співвідношення компонентів 63,5 % та 36,5 % об'ємних відповідно.

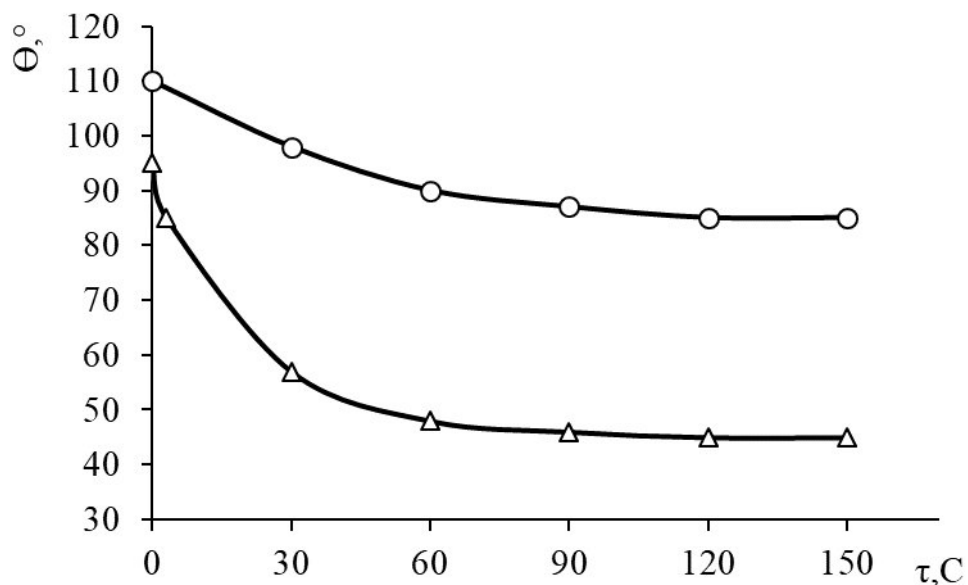


Рисунок 3.1 – Вплив обробки в електричному полі на змочуваність:

1 – необроблена плівка, 2 – оброблена плівка

Під час дослідження залежності величини крайового кута змочування від співвідношення компонентів робочої суміші (рис. 3.2) встановлено, що мінімальне значення крайового кута змочування (30°) спостерігається у разі використання 100 % моноетилового ефіру етиленгліколю. Натомість максимальне значення (50°) характерне для системи, в якій переважає формамід (90,7 об'ємних %).

Порівняльний аналіз поверхні необроблених та оброблених у електричному полі зразків показав, що при значеннях сили струму в діапазоні 2...3 А на поверхні плівкового матеріалу забезпечується рівномірний розподіл фарбового шару.

Водночас на поверхні необробленої плівки спостерігаються локальні скупчення фарби, що свідчить про низькі змочувальні властивості матеріалу та недостатній рівень адгезії. Це, у свою чергу, негативно впливає на якість нанесеного зображення та загальну якість друку.

Таблиця 3.4 – Показники змочуваності досліджуваної суміші

Величина крайового кута змочування	Формамід, об'єм %	Моноетиловий ефір етиленгліколю, об'єм %
30	0	100
31	2,5	97,5
32	10,5	89,5
33	19,0	81,0
34	26,5	73,5
35	35,0	65,0
36	42,5	57,5
37	48,5	51,5
38	54,0	46,0
39	59,0	41,0
40	63,5	36,5
41	67,5	32,5
42	71,5	28,5
43	74,5	25,5
44	78,0	22,0

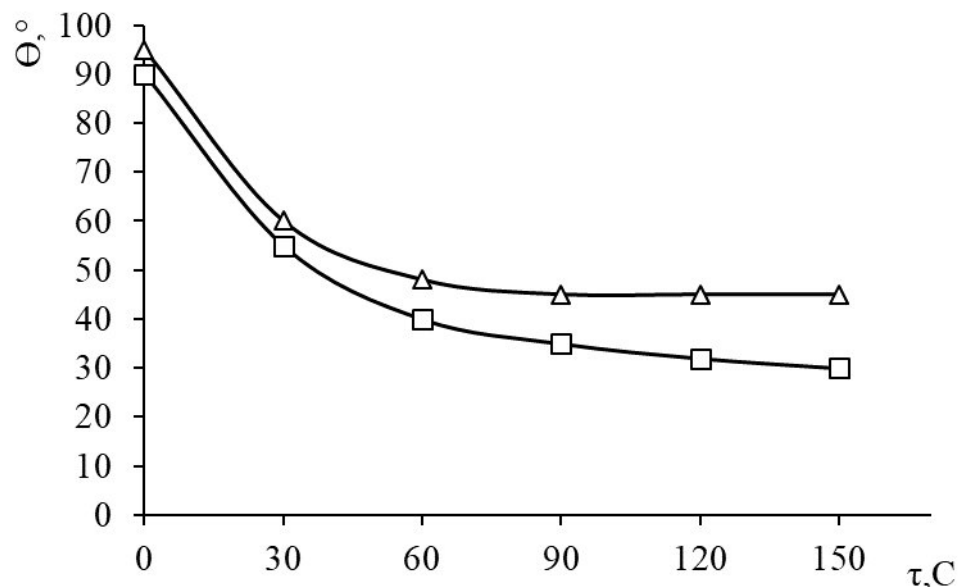


Рисунок 3.2 – Зміна значення крайового кута змочування при нанесенні суміші формаміду та моноетилового ефіру етиленгліколю

Після обробки поверхні коронним розрядом матеріал набуває виражених гідрофільних властивостей. При цьому спостерігається однорідна, практично монолітна структура плівки, без утворення ділянок, що не змочуються фарбою, що свідчить про високу якість нанесеного зображення.

На необробленій поверхні, навпаки, виявлено наявність локальних кристалічних агрегацій фарбувальної суміші, структурну неоднорідність та мікротріщини. У зазначених зонах також фіксується відсутність рівномірного фарбового покриття. Низька змочуваність поверхні підтверджує недостатній рівень адгезійної взаємодії, що свідчить про неефективність нанесення друкарського шару на необроблену (гідрофобну) полімерну основу.

РОЗДІЛ 4

ЗАСТОСУВАННЯ ПОЛІТЕРНИХ ПЛІВКОВИХ СИСТЕМ

4.1. Особливості застосування адгезійно-зміцнених плівок для пакування молочної продукції

Поліетиленова плівка широко застосовується у харчовій промисловості як пакувальний матеріал. Вона може виготовлятися як прозорою, так і з нанесеним кольоровим зображенням або без нього. Друк на поверхні плівки здійснюється методом флексографічного друку з використанням спеціальних фарб.

Флексографічні друкарські фарби являють собою дисперсні системи неорганічних та органічних пігментів у розчинах нітроцелюлозних смол і восків, доведених до необхідної в'язкості за допомогою відповідних розчинників. Як розчинники застосовують етиловий спирт та етилацетат.

Для виготовлення молочної пакувальної плівки з нанесеним зображенням на приватному підприємстві «Іола» (м. Луцьк) використовується друкарська машина «Brotech FFX», яка призначена для нанесення багатокольорового зображення на поліетиленову плівку з подальшим її поздовжнім різанням та намотуванням у рулони заданого формату.

Технологічний процес на даному обладнанні включає такі основні операції: розмотування плівкового полотна; флексографічний друк з одностороннім нанесенням зображення; проміжне та кінцеве сушіння фарбового шару; поздовжнє різання плівки та обрізання кромek; намотування готової продукції у рулони на втулки. Рулон поліетиленової плівки встановлюється на вал розмотувального пристрою та фіксується механічними затискачами. За допомогою регулювального механізму забезпечується стабільне натягнення полотна, що запобігає його просіданню під час роботи. Перед початком процесу відбувається видалення дефектної частини плівки з подальшим її відрізанням.

					БР 5826.00.000 ПЗ	Арк.
						46
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Друкарська машина містить чотири друкарські секції. Кожна секція включає фарбову ванну, дозувальний валик, друкарський валик та опорний валик. Фарбова система забезпечує перенесення фарби від ванни до формного циліндра з кліше. Інтенсивність перенесення фарби регулюється зусиллям притиску валиків. Залежно від дизайну зображення на формному валу можуть бути встановлені декілька кліше як у поздовжньому, так і в поперечному напрямках. Максимальна передача фарби становить близько $26 \text{ см}^3/\text{м}^2$, що забезпечує якісне заповнення великих друкарських елементів.

Після кожної друкарської секції плівка проходить проміжну сушку. Для цього використовуються нагрівальні елементи потужністю 1,5 кВт та вентиляційна система продуктивністю $1080 \text{ м}^3/\text{год}$, що забезпечує інтенсивне випаровування розчинників і стабілізацію фарбового шару.

Далі плівка надходить у тунель остаточного сушіння, де відбувається завершальне видалення залишкових розчинників. У кінцевій зоні встановлено охолоджувальний валок, який забезпечує стабілізацію температури матеріалу перед намотуванням. Обрізані кромки плівки збираються та можуть повторно використовуватися у виробничому процесі. Готові рулони повинні мати рівномірну намотку без складок та деформацій.

Контроль якості передбачає перевірку адгезії фарбового шару методом клейкої стрічки: у разі відсутності відшарування фарби продукція вважається придатною. При необхідності коригується швидкість процесу та режим сушіння для забезпечення нормативної якості друку.

Перед запуском процесу визначається сторона плівки, оброблена коронним розрядом, оскільки саме на неї наноситься друк. Це забезпечує кращу адгезію фарби до поверхні. Необроблена сторона характеризується гіршою змочуваністю, що призводить до утворення крапель фарби. Якість друку визначається рівномірністю притиску кліше до плівкового полотна: недостатній або нерівномірний притиск може негативно впливати на чіткість зображення.

					БР 5826.00.000 ПЗ	Арк.
						47
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

У результаті застосування описаної технології отримують поліетиленові пакети з друкованим зображенням для пакування молока та молочної продукції, які відповідають чинним стандартам якості, мають конкурентоспроможні характеристики та ефективно застосовуються у харчовій промисловості.

4.2. Технологічні особливості транспортування та зберігання плівкової продукції

Однією з ключових проблем у виробництві плівкових матеріалів є обґрунтований вибір способів поверхневої обробки з метою покращення їхнього зовнішнього вигляду та функціональних властивостей. Зокрема, це дозволяє підвищити інформаційну цінність виробів шляхом нанесення текстових елементів і зображень, а також забезпечити додаткові експлуатаційні характеристики.

Розробка нових видів продукції безпосередньо пов'язана з формуванням концепції упаковки. Упаковка являє собою місткість або оболонку для товару, що включає тару, етикетку та вкладиш. Як складова товарної політики вона потребує системного підходу до проєктування, планування та організації виробництва, а також постійного вдосконалення.

У структурі упаковки виділяють три основні рівні:

- внутрішня упаковка, яка безпосередньо контактує з продукцією;
- зовнішня упаковка, що виконує захисну функцію для внутрішньої та видається перед використанням товару;
- транспортна упаковка, призначена для зберігання, ідентифікації та транспортування продукції.

Важливою складовою упаковки є маркування та друкована інформація, які забезпечують інформування споживача.

Функціональне призначення упаковки є багатограним. По-перше, вона забезпечує можливість формування товару у зручному для транспортування та зберігання вигляді (рідкі, сипучі, гранульовані матеріали тощо), а також виконує

					БР 5826.00.000 ПЗ	Арк.
						48
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

захисну функцію, запобігаючи механічним пошкодженням, витіканню, впливу світла та інших зовнішніх факторів.

По-друге, упаковка сприяє зручності використання продукції відповідно до її властивостей та потреб споживача.

По-третє, вона виконує комунікаційну функцію, формуючи імідж виробника через дизайн, колір, форму та матеріали, впливаючи на сприйняття бренду як під час придбання, так і в процесі використання продукції.

По-четверте, адаптація упаковки до вимог цільових сегментів ринку дозволяє змінювати її конструкцію, розміри та оформлення з метою підвищення привабливості та функціональності.

По-п'яте, упаковка повинна відповідати вимогам логістичних і збутових каналів, забезпечувати зручність транспортування, зберігання та обліку продукції, а також сприяти розвитку самообслуговування в торгівлі.

По-шосте, упаковка є важливим елементом інноваційного розвитку продукції, оскільки її вдосконалення може продовжити життєвий цикл товару та розширити сфери його застосування.

На вибір типу упаковки впливає комплекс факторів, серед яких:

- дизайн, що формує імідж продукції та підприємства;
- відповідність груповій або торговельній марці та сегментації ринку;
- дотримання національних і міжнародних стандартів, що забезпечує конкурентоспроможність;
- ціновий фактор, який визначає економічну доцільність виробництва;
- властивості пакувальних матеріалів та їх відповідність умовам експлуатації;
- конструктивні параметри (форма, розміри, колір), що залежать від умов зберігання, транспортування та споживання;
- виробничі та ринкові можливості підприємства;
- необхідність нанесення маркувальної інформації та етикеток;

					БР 5826.00.000 ПЗ	Арк.
						49
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

– вимоги до попереднього друку цінової інформації залежно від каналів збуту.

Таким чином, підвищення рівня життя споживачів зумовлює зростання вимог до якості, зручності, естетики та надійності упаковки, що, у свою чергу, стимулює інноваційні процеси у її розробці та виробництві.

Невід’ємним елементом упаковки є етикетка, ярлик або бірка, які виконують функцію маркування та забезпечують споживача необхідною інформацією про продукт.

Водночас використання упаковки супроводжується низкою проблем, серед яких слід відзначити достовірність інформації на маркуванні, вартість виробництва, використання ресурсів та екологічні наслідки. Якщо економічні аспекти переважно стосуються виробника та споживача, то питання впливу на довкілля набуває глобального значення. Саме тому посилення вимог до екологічності та якості упаковки є обґрунтованим і закономірним процесом розвитку сучасного виробництва.

					БР 5826.00.000 ПЗ	Арк.
						50
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ВИСНОВКИ

У результаті проведених досліджень щодо вибору оптимального складу композиції та технологічних режимів обробки полімерних плівок встановлено наступне:

– визначено склад композицій та проаналізовано технологічні підходи до одержання полімерних плівок, а також досліджено вплив особливостей формування на їх фізико-механічні властивості;

– для підвищення адгезійно-міцнісних характеристик плівкових матеріалів запропоновано метод попередньої обробки поверхні в електричному полі;

– досліджено вплив коронного розряду на реологічні та міцнісні характеристики плівок;

– встановлено, що застосування даного методу забезпечує підвищення змочуваності поверхні при нанесенні зображення на 30...35 %.

вивчено вплив агресивних середовищ на технологічні та експлуатаційні характеристики полімерних матеріалів.

					БР 5826.00.000 ПЗ	Арк.
						51
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Ebnesajjad S. Surface Treatment of Materials for Adhesion Bonding. 2nd ed. Amsterdam : Elsevier, 2014. 412 p.
2. Kinloch A. J. Adhesion and Adhesives: Science and Technology. London : Chapman & Hall, 1987. 356 p.
3. Mittal K. L. Polymer Surface Modification: Relevance to Adhesion. Utrecht : VSP, 2000. 490 p.
4. Strobel M., Lyons C. S., Mittal K. L. Plasma Surface Modification of Polymers: Relevance to Adhesion. Utrecht : VSP, 1994. 372 p.
5. Kumar A., Gupta R. K. Fundamentals of Polymer Engineering. New York : Marcel Dekker, 2003. 512 p.
6. Ebnesajjad S. Plastic Films in Food Packaging: Materials, Technology and Applications. Amsterdam : Elsevier, 2013. 280 p.
7. Wypych G. Handbook of Odors in Plastic Materials. Toronto : ChemTec Publishing, 2013. 520 p.
8. Brydson J. A. Plastics Materials. Oxford : Butterworth-Heinemann, 1999. 864 p.
9. Sperling L. H. Introduction to Physical Polymer Science. Hoboken : Wiley, 2006. 848 p.
10. Li J., Zhang Y. Effect of corona discharge treatment on surface energy of polyethylene films // Polymer Engineering and Science. 2017. Vol. 57(6). P. 612-618.
11. Park S. J., Kim K. S. Plasma treatment of polymer surfaces for adhesion improvement // Journal of Adhesion. 2016. Vol. 92(4). P. 301-320.
12. Yousif E., Haddad R. Corona treatment of polymer films and its effect on adhesion properties // Surface and Coatings Technology. 2013. Vol. 205. P. 522-530.
13. Сорокін В. О. Технологія полімерних плівкових матеріалів. Київ : Вища школа, 2001. 368 с.

					БП 5826.00.000 ПЗ	Арк.
						52
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

14. Гулевський В. А. Полімерні матеріали та вироби. Харків : ХНУ, 2010. 420 с.
15. Березюк О. В. Полімерні матеріали в пакувальній промисловості. Київ : НУХТ, 2015. 310 с.
16. Топільницький П. Я. Полімерні композиційні матеріали. Львів : ЛП, 2018. 256 с.
17. Пахолюк О. В. Технологія переробки полімерів. Київ : КПІ ім. І. Сікорського, 2020. 312 с.
18. Капустяненко В. О. Фізико-хімія полімерів. Харків : ХПІ, 2019. 340 с.
19. Помпій О. О., Ткаченко В. А. Сучасні підходи до розвитку адгезійних систем у полімерних матеріалах // Вісник ЛНТУ. 2023. №12. С. 45-52.
20. Макеев В. Ф., Гуньовський Я. Р. Особливості адгезії полімерних матеріалів залежно від обробки поверхні // Via Stomatologiae. 2025.
21. ASTM D2578-17. Standard Test Method for Wetting Tension of Polyethylene and Polypropylene Films. West Conshohocken : ASTM International, 2017.
22. Felton L. A. Mechanisms of adhesion in polymer films // Journal of Adhesion Science and Technology. 2015. Vol. 29(10). P. 987-1005.
23. Ferreira M. et al. Surface modification of polyethylene films for improved printing adhesion // Applied Surface Science. 2018. Vol. 427. P. 1130-1138.