

ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет технологій і дизайну
Кафедра хімії та хімічної інженерії

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

ДОСЛІДЖЕННЯ ФІЗИКО-МЕХАНІЧНИХ ПОКАЗНИКІВ БАР'ЄРНОЇ
ПЛІВКИ ДЛЯ ПАКУВАННЯ ХАРЧОВИХ ПРОДУКТІВ

Галузь знань 16 – «Хімічна та біоінженерія»

Спеціальність 161 – «Хімічні технології та інженерія»

Освітня програма – «Хімічна технологія та інженерія»

ДРХТІ.020108.01.102.00

Виконала: здобувач 2 курсу група ХТІм-20-1

Н. Г. Чала

Керівник

15.12.2021

О. А. Параска

Нормоконтролер

18.12.2021

О. І. Стремецький

До захисту допускаю:

21.12.2021

Т. В. Іванішена

Зав. кафедри хімії та хімічної інженерії

21.12.2021 р.

Хмельницький 2021

ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет Технологій та дизайну
Кафедра Хімії та хімічної інженерії
Освітній рівень Магістр
Галузь знань 16 Хімічна та біоінженерія
Спеціальність 161 Хімічні технології та інженерія
Спеціалізація Хімічні технології та інженерія
Освітня програма Хімічна технологія та інженерія

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри
к. т. н., доц. Іванішена Т. В.

25 серпня 2021 р.

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

Чалої Наталії Григорівни

Прізвище, ім'я, по батькові

1. Тема роботи Дослідження фізико-механічних показників бар'єрної плівки для пакування харчових продуктів

Керівник роботи д. т. н., проф. Параска Ольга Анатоліївна
Прізвище, ім'я, по батькові

Затверджено наказом ректора університету від 25 серпня 2021 р. № 102

2. Термін подання здобувачем роботи на кафедру 21 грудня 2021 р.

3. Вихідні дані до роботи Звіт з переддипломної практики. Методичні рекомендації до переддипломної практики. Стандарти ХНУ Текстові документи. Загальні вимоги СОУ 201.01:2017, СОУ 202.02:2017.

4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)
Сучасні вимоги до бар'єрних плівок для пакування харчових продуктів, характеристики фізико-механічних показників бар'єрних плівок, основні технології виробництва бар'єрних плівок для пакування харчових продуктів.

5. Перелік графічного матеріалу (із зазначенням обов'язкових креслень) 15 слайдів програми презентації Power Point

6. Консультанти розділів кваліфікаційної роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв
1. Огляд джерел науково-технічної інформації	Параска О. А., д.т.н., професор	25.08.2021	15.10.2021
2. Об'єкти та методи дослідження	Параска О. А., д.т.н., професор	25.08.2021	17.11.2021
3. Експериментальна частина	Параска О. А., д.т.н., професор	25.08.2021	1.12.2021

7. Дата видачі завдання 25.08.2021 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

Назва етапів (розділів) кваліфікаційної роботи	Терміни виконання етапів роботи	Примітка
Вступ	15.10.2021	Виконано
1. Літературний огляд джерел науково-технічної інформації	15.10.2021	Виконано
2. Характеристика об'єктів, предмету та методів дослідження	17.11.2021	Виконано
3. Експериментальні дослідження фізико-механічних показників бар'єрної плівки	1.12.2021	Виконано
Висновки	1.12.2021	Виконано
Перелік джерел посилань	1.12.2021	Виконано

Здобувач

Підпис

Н. Г. Чала

Керівник проекту

Підпис

О. А. Параска

РЕФЕРАТ

Кваліфікаційна магістерська робота на тему «Дослідження фізико-механічних показників бар'єрної плівки для пакування харчових продуктів».

Автор роботи – студентка гр. ХТІМ-20-1

Н. Г. Чала

Керівник роботи – д. т. н, професор

О. А. Параска

Обсяг магістерської роботи 84 сторінки, 29 таблиць, 31 рисуноків, 50 джерел посилань, 15 слайдів графічної частини виконаних у програмі презентацій.

Ключові слова: бар'єрна плівка, фізико-механічні показники, пакування, харчові продукти.

Мета роботи: аналіз фізико-механічних показників бар'єрної плівки для пакування харчових продуктів. Об'єкт дослідження: фізико-механічні показники. Предмет дослідження: бар'єрні плівки.

Проведено дослідження фізико-механічних показників бар'єрних плівок для пакування харчових продуктів. Експериментальні дослідження проводили згідно стандартів, які розроблені американською організацією випробувань матеріалів ASTM. Визначили вплив бар'єрних компонентів на фізико-механічні показники: міцність при розтягуванні, відносне видовження, стійкість до проколу, сила зварного з'єднання, киснепроникність, паропроникність.

ЗМІСТ

	С.
СКОРОЧЕННЯ ТА УМОВНІ ПОЗНАЧЕННЯ.....	7
ВСТУП.....	8
РОЗДІЛ 1 ОГЛЯД ДЖЕРЕЛ НАУКОВО-ТЕХНІЧНОЇ ІНФОРМАЦІЇ.....	9
1.1 Розвиток виробництва полімерних матеріалів для бар'єрних плівок.....	9
1.2 Полімерні пакувальні матеріали, їх призначення та функції.....	12
1.3 Сучасні вимоги до бар'єрних плівок у харчовій промисловості.....	17
1.4 Використання полімерних матеріалів для виробництва бар'єрних плівок для пакування харчових продуктів.....	21
1.5 Основні види та способи виробництва бар'єрних багатошарових плівок.....	26
РОЗДІЛ 2 ОБ'ЄКТИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ	28
2.1 Об'єкти досліджень бар'єрних плівок.....	28
2.2 Методи досліджень бар'єрної плівки.....	32
2.3 Характеристика технологічного процесу виробництва бар'єрних плівок для пакування харчових продуктів	34
2.3.1 Виробництво плівки екструзійним методом з видувом	37
2.3.2 Виробництво плівки плоскощільною екструзією.....	39
2.4 Опис лабораторного обладнання.....	41
2.4.1 Принцип роботи розривальної машини Tinius Olsen H5K-T	41
2.4.2 Тестування плівки на стійкість до проколу.....	46
2.4.3 Характеристика приладу Seal Tester ST-10.....	49
РОЗДІЛ 3 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ЧАСТИНА.....	52
3.1 Дослідження складу та структури бар'єрних плівок.....	52
3.2 Аналіз впливу товщини ПА шару на основні фізико-механічні показники бар'єрних плівок.....	56
3.3 Вплив товщини EVOH шару на основні фізико-механічні показники.....	60

3.4 Рекомендації створення комбінованих пакувальних матеріалів на основі бар'єрних полімерних матеріалів.....	64
ВИСНОВКИ.....	77
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ.....	79

СКОРОЧЕННЯ ТА УМОВНІ ПОЗНАЧЕННЯ

EVON	Співполімер етилен-вініловий спирт
БОПП	Біаксально-орієнтований поліпропілен
ЛПЕНГ	Лінійний поліетилен низької густини
ПА	Поліамід
ПВХ	Полівінілхлорид
ПЕ	Поліетилен
ПЕВГ	Поліетилен високої густини
ПЕНГ	Поліетилен низької густини
ПЕТФ	Поліетилентерафталат
ПП	Поліпропілен
ПС	Полістирол
ПУ	Поліуретан

ВСТУП

Полімерні матеріали та вироби з них надійно увійшли в усі галузі промисловості. Багато полімерів володіють винятково цінними фізико-механічними і хімічними властивостями, що робить їх абсолютно незамінними при використанні в області харчових технологій, медицині, машинобудівній, будівельній, сільськогосподарській сфері. Однак у галузі харчової промисловості неприпустимо використання випадкових полімерних матеріалів. Можливість застосування полімерів для пакування харчових продуктів визначається наявністю відмінних фізико-механічних показників, відповідність сучасним вимогам, відсутність токсичного, канцерогенного, мутагенного та іншого впливу.

Завдання, які ставить харчова промисловість в галузі широкого і різнобічного практичного застосування полімерних матеріалів, входять у рамки вдосконалення технологій отримання та переробки полімерів шляхом інженерного конструювання та рішень технічного характеру [1].

Одним з найпоширеніших виробів з полімерних матеріалів є плівка. Методи випробувань полімерних плівок розвивалися не тільки на основі прийомів традиційних технологій і матеріалів. Виробники і споживачі використовували лабораторні випробування, щоб отримати можливість керувати властивостями плівок або визначати застосування плівки для того чи іншого процесу. Організації, які займаються розробкою стандартів, запропонували методи випробувань, прийнятні у всіх галузях промисловості.

Американським товариством випробувань і матеріалів (ASTM) розроблено методи випробувань, які використовують для полімерних плівок в залежності від галузі їх застосування [2].

Отже, полімерні плівки та вироби з них, які призначені для пакування харчових продуктів, повинні задовольняти високі вимоги щодо якісних фізико-механічних показників, якості і чистоти, їх виробництво та переробка повинні здійснюватися при особливих умовах [1].

РОЗДІЛ 1 ОГЛЯД ДЖЕРЕЛ НАУКОВО-ТЕХНІЧНОЇ ІНФОРМАЦІЇ

1.1 Розвиток виробництва полімерних матеріалів для бар'єрних плівок

Полімерні матеріали є важливими і універсальними в промисловому застосуванні та в повсякденному житті. Вони мають широке функціональне призначення у різних сферах життєдіяльності людини

Бурхливе зростання виробництва полімерних матеріалів почалося з 1960-х р. Це пов'язано зі створенням виробничих ліній, процесу ламінування, появою рулонного друку. В Європі обсяги випуску і переробки полімерів стабілізувалися на початку 2000-х, але він істотно зростає за рахунок азіатських країн, насамперед Китаю. Виробництво полімерних матеріалів у світі наведено на рисунку 1.1.

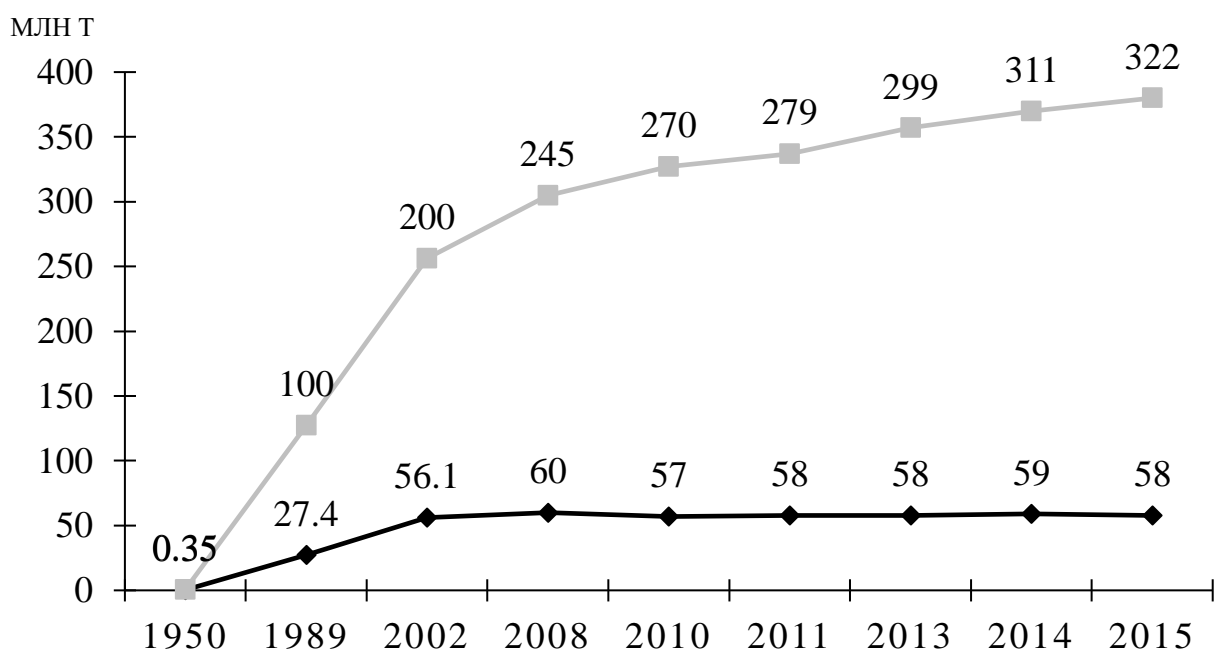


Рисунок 1.1 – Глобальне виробництво полімерних матеріалів: ■ – у світі; ◆ – в Європі протягом 1950–2016 р.

За даними рисунку 1.1 з 1960-х років світове виробництво полімерних матеріалів збільшилось у двадцять разів, досягнувши 359 млн т в 2018 р. За

прогнозами [3] очікується, що в найближчі 20 років воно збільшиться вдвічі. В ЄС у 2018 р. в секторі виробництва полімерів працювало 1,6 млн осіб, обіг виробництва склав 360 млрд євро. За рахунок низької щільності полімерні матеріали перебільшили лиття сталі ще на початку 90-х років, а в теперішній час, в перерахунку на літри або кубометри, полімерних матеріалів виробляють більше, ніж всіх металів. У регіональному аспекті виробництва полімерних матеріалів Європа займає третє місце у світі (17 %) після Азії (51 %) та Північної Америки (18 %).

З урахуванням обсягу виробництва волокон і штучних тканин, обсяг виробництва виробів з високомолекулярних сполук вже досягає 400 млн т на рік. На першому місці зі значним відривом пакувальні матеріали [4, 5]. Використання полімерних матеріалів у країнах ЄС наведено на рисунку 1.2.

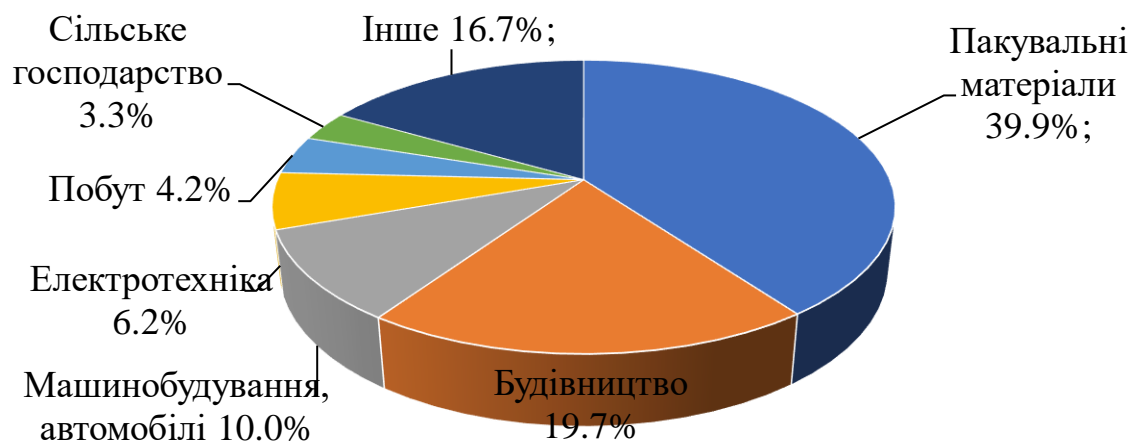


Рисунок 1.2 – Використання полімерних матеріалів у країнах ЄС

За даними рисунку 1.2 близько 39,9 % полімерних матеріалів у світі використовують для виробництва пакувальних матеріалів. Потім йде будівництво, вироби побутового та індустріального призначення, транспортна галузь, електротехніка та ін.

Найбільше в Європі використовують вироби з ПП – 19,3 %, ПЕНГ та ЛПЕНГ – 17,5 %, ПЕВГ – 12,2 %, ПА – 12,1%, ПВХ – 10 %, ПУ – 7,9 %, ПЕТФ

– 7,7 %, ПА – 6,4 %. Обсяги використання полімерних [6] матеріалів в Європі наведено на рисунку 1.3.

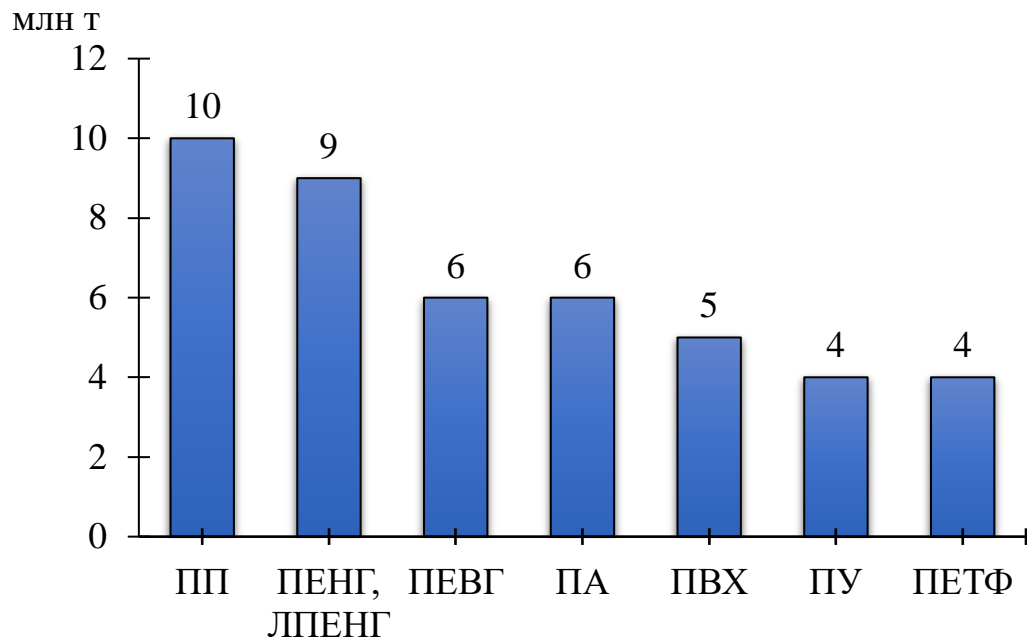


Рисунок 1.3 – Обсяги використання полімерів за видом у Європі, млн т в рік

Потреба у полімерних матеріалах обумовлена зростанням населення планети, споживанням предметів домашнього вжитку, техніки та інших товарів, а також заміною традиційних матеріалів на полімерні, розвитком переробки полімерних відходів [6].

Згідно з численними дослідженнями [7, 8] в світі ринок пакувальних матеріалів є найбільш важливим сектором у сфері застосування полімерних матеріалів. Цей сектор становить третину від загальної кількості полімерних матеріалів (рисунок 1.3). Спостерігається стрімке зростання виробництва та споживання пакувальних матеріалів. Його темпи становлять від 5 % до 6 % за рік. Зростання ринку пакувальних матеріалів залежить від функцій, які вони виконують [9].

1.2 Полімерні пакувальні матеріали, їх призначення та функції

Пакувальні матеріали відіграють все далі більшу роль в діяльності промислових та торговельних підприємств. В першу чергу – це оболонка готового продукту, яка повинна одночасно виконувати декілька важливих для нього функцій [10, 11].

Захисна функція полягає у здатності зберігати харчові продукти від дії зовнішніх чинників. Це одна з найважливіших функцій пакувальних матеріалів. Вона забезпечується надійністю, безпекою та сумісністю з продуктами харчування.

Захисна функція повинна передбачати в конструкції пакувального матеріалу заходи щодо захисту упакованого продукту від впливу кліматичних факторів, від пошкоджень, псування під час транспортування, зберігання, а також захист навколишнього середовища і людини від негативного впливу упакованого продукту. Особливу актуальність і важливість захисна функція має під час пакування харчових продуктів. Вплив кліматичних факторів на зниження якості харчових продуктів наведено в таблиці 1.1 [12].

Таблиця 1.1 – Вплив кліматичних факторів на властивості харчових продуктів

Кліматичний фактор	Реакція, яка виникає	Зміна якості
1	2	3
Кисень, повітря	Окиснення	Зміна кольору овочів та фруктів, руйнування ефірних олій, окиснення жирів

Продовження таблиці 1.1

1	2	3
Волога	Абсорбція, каталіз	Утворення комків, розм'якшення, гідролітичне окиснення жирів, ензимологічне та мікробіологічне псування
Світло	Фотодеструкція	Руйнування вітамінів А, Е, К, В2, В6, В12, С. Знебарвлення харчових продуктів, окиснення жирів
Температура	Зміна швидкості реакції	Підвищення температури збільшує швидкість хімічних реакцій та знижує термін зберігання продукції

За даними таблиці 1.1 на якісні властивості продуктів харчування впливають зовнішні чинники. В зв'язку з цим, постійно відбувається пошук нових багатофункціональних пакувальних матеріалів. Основні види захисту і нові пакувальні матеріали для деяких харчових продуктів наведені в таблиці 1.2 [9, 10].

Таблиця 1.2 – Основні види захисту для харчових продуктів

Продукти, які упаковуються	Вид захисту	Основні типи пакувальних матеріалів
1	2	3
Гігроскопічні та сипучі (сіль, цукор та ін.)	Захист від зволоження	Папір з поліетиленовим покриттям, текстильні мішки з поліетиленовими вставками.
Продукти сублимаційної сушки	Захист від вологи, кисню, світла, сторонніх запахів, бажано в атмосфері інертного або захисного газу	Непрозорі багатошарові ламінати, які містять алюмінієву фольгу або шари металізованих полімерних плівок
Прянощі, приправи	Захист від втрат ароматичних властивостей та від окислення летких органічних з'єднань	Ламінат типу БОПП; ламінати, які містять алюмінієву фольгу або металізовані полімерні шари
Рибна або м'ясна кулінарія, сир, ковбаси	Захист від всіх факторів зовнішнього середовища	Бар'єрні ламінати, які містять алюмінієву фольгу. використовують співполімери EVOH

Продовження таблиці 1.2

1	2	3
Прянощі, приправи	Захист від втрат ароматичних властивостей та від окислення летучих органічних з'єднань	Ламінати типу БОПВДХ або БОПП (для короткочасного зберігання); ламінати, які містять алюмінієву фольгу або металізовані полімерні шари
Рибна або м'ясна кулінарія, сир, ковбаси	Захист від всіх факторів зовнішнього середовища	Бар'єрні ламінати, які містять алюмінієву фольгу. Якщо передбачене розігрівання в упаковці, то замість фольги використовують кополімери ЕВС та ПВДХ
Заморожені готові продукти	Захист від вологи, кисню; забезпечення морозостійкості	Картонні лотки з полімерним покриттям, лотки з кристалічного ПЕТФ, пакети з полімерних комбінованих плівок
Консерви, стерилізовані при температурі вище 100 °С	Забезпечення герметичності, термостійкість не нижче 120 °С	Ламінати з максимально можливими бар'єрними властивостями, які містять алюмінієву фольгу

Транспортна функція характеризується здатністю пакувального матеріалу до зручного перевезення пакувальної продукції певним видом транспорту на задану відстань протягом встановленого часу в певних умовах.

Виконуючи функцію маркетингу, пакувальний матеріал ефективно використовують як засіб просування товару на споживчий ринок.

Нормативно-законодавча функція пакувального матеріалу є похідною від інших функцій. Так, в процесі виконання функцій захисту і зберігання складено комплекс санітарно-гігієнічних вимог до упаковки граничний вміст в пакувальних матеріалах компонентів і домішок, які можуть мігрувати в продукт.

Дозувальна функція нерозривно пов'язана із залученням до пакувального матеріалу нормативного закону мір і ваг. Для найбільш поширених типів пакувального матеріалу розроблені відповідні нормативні документи.

Екологічну функцію пакувального матеріалу можна розглядати як наукове і практичне спрямування раціонального використання споживачами і взаємодії його з навколишнім середовищем. Екологічна функція в останні роки набуває все більшого значення.

Здійснюють вирішення екологічних проблем використаного пакувального матеріалу різними шляхами: збільшенням обсягів зворотної споживчої тари; збором і вторинною переробкою традиційними способами; використанням полімерних матеріалів, здатних розчинятися і в розчині піддаватися вторинній переробці: спалюванням з використанням фільтрів і апаратів, що вловлюють шкідливі леткі продукти; розробкою і використанням для пакування харчових продуктів.

Експлуатаційна функція пакувального матеріалу передбачає легкість поводження в процесі сортування, зберігання, переміщення та збуту, а також зручність для споживача при використанні запакованої продукції [5].

Виконання вище перерахованих функцій можливе при застосуванні у якості пакувального матеріалу бар'єрної плівки [13]. В даний час, бурхливе

зростання харчової промисловості призвело до різкого підвищенню попиту до бар'єрних матеріалів з різними властивостями захисту продуктів. Багатошарові полімерні плівки домінують серед бар'єрних матеріалів, що використовують у харчовій промисловості, а також, знаходять все більше застосування в інших галузях завдяки своїм унікальним якостям та низькій вартості [14].

1.3 Сучасні вимоги до бар'єрних плівок у харчовій промисловості

Вимоги до бар'єрних плівок визначають їх функціональним призначенням, обумовлені експлуатаційними характеристиками [15]. Умовно їх можна розділити на зовнішні і внутрішні. Зовнішні фактори мають різну природу:

- механічну (статичні і ударні навантаження, вібрація);
- кліматичну (температура, вологість повітря і їх різкі коливання);
- біологічну (дія мікроорганізмів, комах, гризунів);

До внутрішніх факторів належать хімічна стійкість матеріалу, внутрішній тиск, а також зношування бар'єрної плівки під дією її вмісту. Бар'єрні плівки для харчових продуктів мають відповідати санітарно-гігієнічним, експлуатаційним, технологічним та іншим вимогам. Наведено основні з них:

Санітарно-гігієнічні вимоги характеризуються відсутністю низькомолекулярних складових, слідів або залишків мономерів, стабілізаторів, пластифікаторів, модифікаторів, деяких пігментів, солей важких металів. При цьому розраховують відношення максимально-допустимої концентрації певних сполук для людини (мг/кг) до кількості харчових продуктів середньодобового її раціону. Для всіх токсичних речовин встановлені свої нормативи. До складу пакувального матеріалу не повинні входити високотоксичні речовини, що мають акумулятивні властивості та специфічну дію на організм (канцерогенність, мутагенність, алергенність).

Також пакувальний матеріал не повинен змінювати органолептичні і фізіологічні властивості продукції, а також виділяти шкідливі речовини в кількостях, що перевищують допустимі з гігієнічної точки зору рівні міграції.

У процесі санітарно-гігієнічного дослідження сертифікованими організаціями визначається, які сполуки і в якій кількості мігрують з пакувального матеріалу в харчову продукцію. При дотриманні усіх санітарно-гігієнічних вимог видається Сертифікат на пакувальний матеріал. У Сертифікаті повинна бути вказана назва товару із зазначенням товарних кодів виробника, назву фірми-виробника і власника Сертифіката, перелік документів про якість товару, наданих виробником, висновок Органу охорони здоров'я, що видає Сертифікат, дата видачі Сертифікату і термін його дії. У висновку повинні бути перераховані області застосування й умови використання товару, які були підтверджені в результаті досліджень [16].

Надійність означає здатність бар'єрної плівки зберігати механічні властивості та герметичність протягом тривалого часу [17]. Завдяки цій властивості забезпечується зберігання продуктів тривалий час. Для реалізації забезпечення захисту вмісту від дії комплексу руйнуючих факторів, плівка повинна мати високі бар'єрні властивості, тобто мати достатню механічну міцність, герметичність, хімічну стійкість, мати оптимальні показники проникності (за відношенням до газів, води та її парів, жирів та інших середовищ, зокрема агресивних).

Стійкість до механічних впливів характеризується формостійкістю під час статичних навантажень, вібростійкістю і стійкістю до ударних навантажень, оптимальними значеннями фізико-механічних властивостей (міцності, деформації, стійкості до проколів). Вимога до формостійкості зумовлена декількома причинами: необхідністю тривалого зберігання в рядах, коли нижні ряди відчують значні деформації; впливом рідких і летких речовин, що знаходяться всередині пакувального матеріалу, особливо в умовах підвищеної температури і супутнього набухання матеріалу; наявністю гострих граней і твердих частинок всередині пакувального матеріалу. Плівки,

що знаходяться в умовах постійного виникнення ударів і коливань, які часто мають випадковий характер і викликають в матеріалі збурення різної амплітуди, вимоги механічної міцності і стійкості до деформацій є домінуючими. Характер деформації, поява поверхневих тріщин, зміна структури напруженого матеріалу (особливо в умовах контакту з агресивним середовищем), що залежать від інтенсивності напруги та активності середовища, повинні завжди враховуватися під час вибору складових компонентів бар'єрної плівки. Механічні показники пакувального матеріалу визначаються за стандартними методиками.

Хімічна стійкість бар'єрних плівок для харчових продуктів визначається стійкістю щодо конкретного середовища. При цьому не відбувається набухання та втрата продукції, її властивості залишаються стабільними. Зміна фізико-хімічних і механічних властивостей матеріалу під дією агресивного середовища може призвести до руйнування плівки: розтріскування, втрати формостійкості, герметичності, тобто до передчасного зносу. Наприклад, під час оцінки хімічної стійкості полімерного матеріалу, що представляє собою багатокомпонентну систему, необхідно визначити стійкість до агресивних середовищ пластифікаторів, наповнювачів, барвників, антиоксидантів, світлостабілізаторів та інших добавок, що вводять в полімерну композицію [18.19].

Герметичність означає відсутність обміну між вмістом упаковки і зовнішнім середовищем. Розрізняють абсолютно, щільно і добре закупорену тару. Абсолютно закрита упаковка непроникна для газів; щільно закрита – для парів води; добре закрита – захищає продукцію від випадкового проливання або висипання. Наприклад, під час виготовлення упаковки з полімерних і комбінованих матеріалів найбільш доцільна герметизація із застосуванням зварювання; неодмінною вимогою при цьому є міцність і щільність зварного шва.

Проникність відображає можливість переходу компонентів через стінки пакувального матеріалу, а також перенесення речовин (газ, пара) через

матеріал, обумовленого перепадом тиску, концентрації або температури по різні сторони матеріалу. Для більшості товарів загальними вимогами є: мінімальна проникність для води і водяної пари, кисню, агресивних газів; відсутність міграції мікроорганізмів і продуктів їх життєдіяльності; забезпечення радіонуклідного захисту. Поширеною вимогою часто є непроникність для УФ-променів. Проникність визначається, насамперед, структурою і щільністю матеріалу і, залежно від цього, може змінюватися в широких межах [3].

Сучасна бар'єрна плівка, крім санітарно-гігієнічних, захисних вимог, враховує також екологічні, інформативні вимоги.

Екологічні вимоги зумовлюють застосування дешевих, екологічно чистих доступних пакувальних матеріалів, високопродуктивного обладнання, досконалих способів зберігання та транспортування, впровадження і створення національних систем щодо поводження з полімерними відходами виробника і споживача на основі розширеного раціонального роздільного збирання, подальшого сортування і переробки [4]. Інформативні вимоги характеризуються наявністю обов'язкових даних за уніфікованою формою: найменування продукту з чітко відображеною природою або фізичним станом (мед натуральний, кава розчинна тощо); перелік інгредієнтів, які використані під час виробництва даного товару, включаючи різні добавки, що наводяться у порядку поступового зниження; маса нетто; максимальний термін придатності; особливі умови зберігання і використання; назва фірми-виробника чи постачальника; район виробництва (для виноградних вин, коньяків та ін.). Обов'язково наводиться номер (шифр) поставки конкретного товару, а в роздрібній торгівлі – також його ціна. Передбачено спеціальні правила фасування продовольчих товарів у роздрібній торгівлі, а також допустимі відхилення від маси, що вказано на етикетці. Вимоги до інформативності покращують інформованість споживачів про якість продукції, яка реалізується. Найбільш детально регламентується торгівля продовольчими товарами, що надходять у закритих пакувальних матеріалах.

Етикетки продукції не повинні вводити в оману споживачів, не містити медичних приписів (за виключенням мінеральної води, зубної пасти, функціональних і дієтичних продуктів). Також інформативна вимога включає екологічне маркування, що інформує споживачів про екологічні особливості товару [3].

Для дотримання відповідно встановлених вимог використовують різні полімерні матеріали, які комбінують між собою для отримання бар'єрної плівки.

1.4 Використання полімерних матеріалів для виробництва бар'єрних плівок для пакування харчових продуктів

Бар'єрні плівки широко використовують для пакування різноманітних харчових продуктів. Існує велика кількість полімерних матеріалів, які використовують для виготовлення бар'єрних пакувальних матеріалів. Деколи їх застосовують як єдиний матеріал у плівках, але часто їх поєднують для покращення фізико-механічних властивостей. Частіше всього у виробництві використовують ПЕНГ, ЛПЕНГ, ПА, ЕВС, ПП, ПВХ [20].

ПЕНГ і ЛПЕНГ – найпоширеніші полімерні матеріали у виробництві пакувальної плівки. ПЕНГ переробляють при високій температурі, що обумовлює наявність великої кількості коротких та довгих бічних молекулярних ланцюгів. ЛПЕНГ переробляють при такій температурі, що стимулює формування лінійних молекул. Зниження густини виникає через присутність співполімерів, які утворюють бічні групи від головного ланцюга і, діючи як розгалуження, знижують кристалічність. Плівки з ПЕНГ і ЛПЕНГ являють собою м'які, гнучкі пакувальні матеріали, мутнуваті на вигляд. При однаковій щільності і товщині ЛПЕНГ має більш високу ударну міцність, міцність при розтягуванні, стійкість до проколу і граничне розтягування, ніж ПЕНГ. ПЕНГ володіє кращими властивостями для гарячої герметизації, ніж

ЛПЕНГ. Його зварюють при нижчій температурі, має більш широкий температурний діапазон зварювання і краще гаряче зчеплення. ПЕНГ і ЛПЕНГ мають чудові бар'єрні властивості захисту від проникнення водяної пари, але мають погані показники проти проникнення кисню, карбону діоксиду і багатьох сполук, відповідальних за аромати і запахи. Вони стійкі до жирів і досить інертні. Ці матеріали зберігають гнучкість при дуже низьких температурах, а розм'якшуються і плавляться при помірно підвищених температурах, тому вони не придатні, для процесів, де присутнє значне нагрівання. ПЕНГ є найдешевшим матеріалом для виробництва полімерної плівки, виходячи з вартості однієї одиниці маси. Характерні фізико-механічні властивості ПЕНГ та ЛПЕНГ наведено у таблиці 1.3.

Таблиця 1.3 – Характерні фізико-механічні властивості поліетиленових плівок

Властивості	Полімерний матеріал	
	ПЕНГ	ЛПЕНГ
Температура кристалізації, °С	-120	-120
Температура плавлення, °С	від 105 до 115	від 122 до 124
Густина, г/см ³	від 0,915 до 0,940	від 0,915 до 0,935
Модуль розтягування, ГПа	від 0,2 до 0,5	від 0,4 до 0,9
Міцність при розтягуванні, МПа	від 8 до 31	від 20 до 45
Відносне видовження, %	від 100 до 965	від 350 до 850

ПП – це лінійний полімер з пропілену, використовується в основному для пакування харчових продуктів в ізотактичній формі. ПП має найнижчу щільність з великотоннажних полімерів. Плівки з ПП зручні для швидкої упаковки, яка вимагає досить жорсткого матеріалу; ПП жорсткий і має кращу прозорість. Неорієнтовані плівки з ПП досить крихкі, особливо при низьких температурах. У багатьох процесах пакування перевагу надають БОПП. Орієнтація підвищує жорсткість плівок. ПП, а особливо БОПП, погано

піддається гарячій герметизації. Тому він зазвичай покривається матеріалом, який поліпшує зварювання.

ПВХ плівки отримують з комбінації полімеру ПВХ, виробленого за полімеризацією вінілхлориду, з пластифікаторами та іншими хімікатами-добавками, що дозволяють отримати гнучку плівку. Немодифіковані плівки ПВХ насилу піддаються переробці незважаючи на високу чутливість до нагрівання. Однак завдяки полярній природі ПВХ має сильну спорідненість з пластифікаторами, і тому його можна легко модифікувати. Пластифікатори, в основному, складаються з органічних рідин з високою температурою кипіння, які виконують в полімері функцію мастила. Деякі м'які і гнучкі плівки ПВХ містять приблизно 50 % пластифікатора. При використанні плівки для пакування харчових продуктів пластифікатори та інші складові контактують з продуктами харчування. Властивості ПВХ залежать від типу і кількості модифікаційних складових, особливо від пластифікаторів. В цілому, плівки м'які та гнучкі, легко піддаються гарячій герметизації і зварюванню, мають відмінну ударну в'язкість, еластичність і прозорість, високу проникність. Виробляють як орієнтовані, так і неорієнтовані плівки. Характерні фізико-механічні властивості ПП і ПВХ плівок наведено в таблиці 1.4.

Таблиця 1.4 – Характерні фізико-механічні властивості ПП, БОПП та ПВХ плівок

Властивості	Полімерний матеріал	
	ПП	ПВХ
Температура кристалізації, °С	-10	-10
Температура плавлення, °С	від 160 до 175	212
Густина, г/см ³	від 0,89 до 0,91	від 1,35 до 1,41
Модуль розтягування, ГПа	від 1,1 до 1,5	до 4,1
Міцність при розтягуванні, МПа	від 31 до 43	від 10 до 55
Відносне видовження, %	від 500 до 650	від 14 до 450

ПЕТФ використовують у виробництві біаксіально-орієнтованої плівки, Володіє відмінною прозорістю та прекрасними механічними властивостями. Процес термофіксації дозволяє отримати плівку, придатну для використання протягом тривалого часу укладання при температурах від $-70\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $+150\text{ }^{\circ}\text{C}$. Протягом короткого часу матеріал витримує високі температури. ПЕТФ має гарні бар'єрні властивості, особливо захист від ароматів і запахів. Бар'єрні властивості можна поліпшити металізацією. Для отримання властивостей, необхідних для гарячої герметизації, наносять спеціальне покриття. Типові фізико-механічні властивості наведено в таблиці 1.5.

Таблиця 1.5 – Характерні фізико-механічні властивості ПЕТФ плівок

Властивості	Полімерний матеріал	
	неорієнтована	орієнтована
Температура кристалізації, $^{\circ}\text{C}$	від 73 до 80	від 73 до 80
Температура плавлення, $^{\circ}\text{C}$	від 245 до 265	від 245 до 265
Густина, $\text{г}/\text{см}^3$	від 1,29 до 1,40	1,40
Модуль розтягування, ГПа	від 2,8 до 4,1	-
Міцність при розтягуванні, МПа	від 48 до 72	від 220 до 270
Відносне видовження, %	від 30 до 3000	від 70 до 110

EVON формальний співполімер етилену та вінілового спирту. Присутність етилену робить полімер придатним для обробки в розплавленому вигляді [21]. Наявність груп $-\text{OH}$ в структурі призводить до появи сильних міжмолекулярних водневих зв'язків. З огляду на те, що EVC – статистичний співполімер, групи $-\text{CH}_2$, і $-\text{CHON}$ є ізоморфними, вони входять в одні і ті ж кристалічні структури, тому полімер легко кристалізується. Поєднання великих сил міжмолекулярних взаємодій і кристалічності створює бар'єр проти проникнення газів, запахів і ароматів. Однак, за рахунок водневих зв'язків матеріал є чутливим до вологи. Плівки на основі EVC використовують як бар'єрний шар проти кисню. EVC має можливість взаємодіяти з вологою у навколишньому середовищі, тому зазвичай його використовують в якості

внутрішнього шару під час виробництва плівки. Характерні фізико-механічні властивості EVOH наведено в таблиці 1.6.

Таблиця 1.6 – Характерні фізико-механічні властивості плівок з EVOH

Властивості	Полімерний матеріал	
	32 % мол. етилену	44 % мол. етилену
Температура кристалізації, °C	69	55
Температура плавлення, °C	181	164
Густина, г/см ³	1,19	1,14
Модуль розтягування, ГПа	2,6	2,1
Міцність при розтягуванні, МПа	77	59
Відносне видовження, %	230	380

ПА використовують в пакувальних матеріалах в спеціальних додатках, де високі вимоги до властивостей обґрунтовують їх високу вартість. ПА має високотемпературні властивості. Крім того плівки з ПА створюють відмінний бар'єр для запахів, ароматів, є непоганим бар'єром для кисню. Вони володіють низькими бар'єрними властивостями проти проникнення водяної пари. Спостерігають тенденцію до погіршення бар'єрних властивостей ПА плівок при контакті з великою кількістю вологи. Однак їх властивості не настільки залежні від впливу вологи, як властивості EVOH. Більшість ПА мають кристалічну будову [11]. Ступінь кристалічності залежить від умов переробки, оскільки матеріал має вузький діапазон температур для кристалізації. Плівки зазвичай зберігають хорошу гнучкість при низьких температурах і чудові властивості міцності. Зважаючи на відносно високу вартість матеріалу плівки часто отримують екструзією з іншими полімерами. ПА, отримані з амінів з нерозгорнутим ланцюгом і карбоксильних кислот, зазвичай позначаються номерами, що представляють число атомів карбону в кожному з початкових мономерів. Наприклад, ПА 6.10 виготовлений з шестикарбонового аміну і десятикарбонової карбоксильної кислоти. Полімерний матеріал ПА-6 є

широко поширеними в США, а в Європі – це ПА 11 [2]. Характерні фізико-механічні властивості деяких плівок ПА наведено в таблиці 1.7.

Таблиця 1.7 – Характерні фізико-механічні властивості ПА плівок

Властивості	Полімерний матеріал	
	ПА 6	ПА 11
Температура кристалізації, °С	60	-
Температура плавлення, °С	від 210 до 220	від 180 до 190
Густина, г/см ³	від 1,13 до 1,16	від 1,03 до 1,05
Модуль розтягування, ГПа	від 0,69 до 1,7	1,3
Міцність при розтягуванні, МПа	від 41 до 165	від 55 до 65
Відносне видовження, %	300	від 300 до 400

Таким чином, пакувальна харчова плівка, що містить у своїй структурі лише один вид полімерного матеріалу не може повністю задовільняти усі фізико-механічні вимоги, тому доцільно використовувати різноманітні полімерні матеріали, комбінуючи їх один з одним для створення бар'єрних плівок з відмінними фізико-механічними показниками [12].

1.5 Основні види та способи виробництва бар'єрних багатошарових плівок

Складно переоцінити важливість надійного, технологічного та привабливого пакувального матеріалу для продуктів харчування. Зараз особливий інтерес викликає бар'єрна багатошарова плівка. В процесі виробництва багатошарової бар'єрної плівки використовують корисні властивості різних матеріалів [13,14]. Це дає необмежені можливості варіювання властивостей за рахунок:

- вибору складу композиційного матеріалу;
- встановлення порядку чергування шарів;

- забезпечення необхідного рівня адгезійних взаємодій між шарами;
- вибору оптимального обладнання та технології виробництва для отримання конкретного матеріалу.

Структуру композиційного пакувального матеріалу визначають його функціональним призначенням. Зовнішній шар (субстрат) здійснює захист від зовнішнього впливу. Внутрішній шар забезпечує зварювання плівки. Багатошарові плівки володіють експлуатаційними характеристиками, якими не володіє жоден шар окремо [22].

За типом бар'єрного шару багатошарові плівки поділяють на:

- високобар'єрні;
- середньобар'єрні;

Середньобар'єрні плівки забезпечують захист завдяки шару ПА, в той час як у високобар'єрних застосовується ЕВОН. Комбіноване застосування ПА та ЕВОН у плівці дозволяє досягти високих фізико-механічних показників.

Бар'єрні багатошарові плівки виробляють наступними способами: ламінування, каширування, екструзія (видувна, плоскощілинна).

Бар'єрні багатошарові плівки володіють наступними перевагами: еластичність, можливість зварювання, мала вага, можливість термоформування, абразивна та хімічна стійкість, зберігання смакових якостей та запахів, висока міцність, захист від вологи, кисню, вуглекислого газу, сонячного світла, прозорість, витримування високих та низьких температур, стійкість до деформацій [16, 17].

Таким чином, дані переваги забезпечують постійний попит на багатошарові бар'єрні плівки в різних галузях промисловості, зокрема у харчовій.

РОЗДІЛ 2 ОБ'ЄКТИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ

2.1 Об'єкти досліджень бар'єрних плівок

Для визначення властивостей полімерних плівок можна використовувати декілька стандартних методів. Розрізняють фізичні, фізико-хімічні, хімічні і механічні. В процедурі стандартного методу важливо визначити правильний підбір параметрів. Крім того, потрібне спеціальне налаштування обладнання. В цілому, узгодження досягається при підготовці вимірювань конкретних механічних властивостей. До методів випробувань обов'язковому порядку застосовують наступні вимоги:

- метод повинен бути швидким, щоб його результати можна було використовувати для контролю якості в умовах роботи високопродуктивних машин без створення затримок у виробництві і відправлення продукції;

- результати повинні бути відтворюваними і мати кореляцію в різних випробувальних лабораторіях, на різних випробувальних машинах, тобто це означає, що тест повинен бути нечутливим до невеликих варіацій в отриманні зразка, зносу або інших дрібних відмінностей випробувальної апаратури;

- точність результатів не повинна перевищувати необхідну. Важливість високої точності рідко буває виправданою в промисловості;

- результати мають бути науково обґрунтованими. Обов'язково, щоб вони мали технологічну значимість і давали ясність реальних функціональних властивостей плівки [2].

Тому, дотримуючись даних вимог для проведення необхідних досліджень вибрано основні фізико-механічні показники.

Об'єктом визначення властивостей бар'єрних плівок є фізико-механічні методи досліджень.

Механічні властивості вказують на здатність полімерного матеріалу чинити опір руйнуванню під дією навантажень. До механічних об'єктів

дослідження віднесено міцність при розтягуванні, відносне видовження, стійкість до проколу, сила зварного з'єднання.

Міцність плівки – це напруга, що відповідає найбільшому навантаженню перед руйнуванням зразка. Визначають за формулою:

$$\sigma_B = \frac{F_{\max}}{S_0}, \quad (2.1)$$

де σ_B – міцність плівки, МПа;

F_{\max} – найбільше навантаження, яке витримується перед руйнуванням зразка, Н;

S_0 – площа поперечного перерізу зразка, мм²;

$$S_0 = B \cdot \tau, \quad (2.2)$$

де B – ширина зразка, мм;

τ – товщина зразка плівки, мм;

Відносне видовження – це показник пластичності матеріалу, здатність розтягуватися, визначають за формулою:

$$\delta = \frac{l_1 - l_0}{l_0} \cdot 100\%, \quad (2.3)$$

де δ – відносне видовження, %;

l_1 – довжина зразка під час розриву, мм

l_0 – розрахункова довжина, мм;

Сила опору – найбільша сила для досягнення проколу плівки і визначають формулою:

$$N = R \cdot \frac{D}{W} \cdot L, \quad (2.4)$$

де N – сила опору, Н;

R – відсоткове зчитування діаграми виражене в одиницях;

D – фактична довжина діаграми по вертикальній осі, мм;

W – фактична ширина діаграми, мм

L – повномасштабне навантаження, Н;

Сила зварного з'єднання – максимальна сила, яка необхідна при розриві зварного шва плівки, Н;

Фізичні властивості характеризують фізичний стан бар'єрних плівок і визначаються здатністю реагувати на зовнішні фактори, що не впливають на хімічний склад бар'єрних плівок. До фізичних методів дослідження відносять киснепроникність та паропроникність

Паропроникність – показник, що визначає властивість плівки пропускати через себе пари води в результаті різниці парціального тиску.

Газопроникність – показник, що визначає властивість плівки пропускати через себе повітря та гази (кисень, вуглекислий газ, азот) за наявності перепаду атмосферного тиску.

Для визначення показників паропроникності та киснепроникності для розрахунку використано коефіцієнт проникності полімерного матеріалу (таблиця 2.1).

Таблиця 2.1 – Коефіцієнти проникності полімерних матеріалів при температурі 25 °С

Показник	Одиниці вимірювання	Коефіцієнт проникності, K_p		
		ПА	EVON	ПЕ
Киснепроникність	$\text{см}^3/(\text{м}^2 \cdot 24 \text{ год} \cdot \text{атм})$	1,02	0,006	214,57
Паропроникність	$\text{г}^3/(\text{м}^2 \cdot 24 \text{ год})$	8,66	1,50	0,47

Для обчислення проникності для шару плівки використано формулу:

$$K_{p1} = \frac{l_1}{K_p}, \quad (2.5)$$

де K_{p1} – проникність шару плівки парів води, або кисню при температурі 25 °С, $\text{см}^3/(\text{м}^2 \cdot 24 \text{ год} \cdot \text{атм})$;

l_1 – товщина шару, мкм;

K_p – коефіцієнт проникності полімерного матеріалу парів води або кисню при температурі 25 °С, $\text{см}^3/(\text{м}^2 \cdot 24 \text{ год} \cdot \text{атм})$;

$$K = \frac{1}{K_{p1} + K_{p2} + \dots + K_{pn}}, \quad (2.6)$$

де K – проникність плівки парів води або кисню при температурі 25 °С, $\text{см}^3/(\text{м}^2 \cdot 24 \text{ год} \cdot \text{атм})$;

Для полімерних плівок, які використовують для пакування харчових продуктів поширюється дія ТУ У 25.2.30960327-001:2009. Фізико-механічні показники бар'єрних плівок повинні відповідати нормам, що наведенні в таблиці 2.2.

Таблиця 2.2 – Технічні умови для бар'єрної плівки

Показник	Одиниці вимірювання	Значення
Міцність при розтягуванні - у повздовжньому напрямку (MD) - у поперечному напрямку (TD)	МПа	не менше 25 22
Відносне видовження - у повздовжньому напрямку (MD) - у поперечному напрямку (TD)	%	не менше 200 250
Сила зварного з'єднання - у повздовжньому напрямку (MD) - у поперечному напрямку (TD)	Н/25 мм	не менше 5
Стійкість до проколу - сила опору - енергія	Н Дж	не менше 5 0,03
Паропроникність	$\text{г}^3/(\text{м}^2 \cdot 24 \text{ год})$	від 0,5 до 15,0
Газопроникність	$\text{см}^3/(\text{м}^2 \cdot 24 \text{ год} \cdot \text{атм})$	від 1 до 150

Основні фізико-механічні показники визначають різними методами випробувань: DIN, ISO, ГОСТ, ASTM. Для визначення властивостей бар'єрних плівок використано метод дослідження розроблений Американським товариством випробувань матеріалів (ASTM).

2.2 Методи досліджень бар'єрної плівки

Перед випробуванням зразки плівок витримували не менше 2-х годин в умовах лабораторії при температурі від 21 °C до 25 °C та відносній вологості від 55 % до 75 %.

Товщину плівки виміряно згідно з ASTM 2251-03 у трьох точках на приладі, що забезпечує точність до ± 1 мкм. За результат вимірювань приймається середнє арифметичне трьох значень [23].

Міцність при розтягуванні та відносьне видовження визначено згідно стандарту ASTM D 882-02 при швидкості розсування затискачів випробувальної машини 500 мм/хв. Випробування проведено на зразках, які вирізані в повздовжньому (MD – machine direction) та в поперечному (TD – transverse direction), що мають форму прямокутників шириною 25 мм і довжиною 100 мм. За результат приймається середнє арифметичне усіх вимірів окремо у кожному напрямку [24].

Міцність зварного з'єднання визначено згідно з стандартом ASTM F 88-00 на зразках прямокутної форми довжиною 100 мм та шириною 25 мм, вирізаних в напрямку перпендикулярному зварному з'єднанню. Робоча довжина ділянки із зварним з'єднанням (відстань між затискачами) – 50 мм, швидкість руху затискача – 200 мм/хв. За результат приймається середнє арифметичне трьох вимірів окремо у кожному напрямку [25].

Стійкість до проколу визначено методом ASTM F 1306-90. Для випробувань вирізано зразки плівки прямокутної форми шириною 76 мм та довжиною 150 мм. Для випробувань використано універсальну машину випробувань на розтягування з додатковим пристосуванням для проколу.

Швидкість руху траверси 25 мм/хв. За результат приймається середнє арифметичне усіх вимірів окремо у кожному напрямку [26].

Паропроникність та киснепроникність визначено теоретичним методом масопереносу через окремі шари плівки [27].

У таблиці 2.3 наведено стандарти на методи випробувань бар'єрної плівки

Таблиця 2.3 – Стандарти на методи випробувань бар'єрної плівки

Властивість матеріалу	Код стандарту	Назва стандарту
Товщина	ASTM 2251-03	«Стандартний метод вимірювання товщини гнучкого пакувального матеріалу»
Міцність при розтягуванні, відносне видовження	ASTM D 882-02	«Стандартний метод визначення властивостей тонких полімерних листів при розтягу»
Міцність зварного з'єднання	ASTM F 88-00	«Стандартний метод випробування міцності зварного з'єднання гнучких матеріалів»
Стійкість до проколу	ASTM F 1306-90	«Стандартний метод визначення опору проколу гнучких плівок та ламінатів на малій швидкості»
Паропроникність, газопроникність	-	Метод визначення показників газопроникності багат шарових плівок методом масопереносу.

Наведені методи досліджень, використовують для тестування плівок різної бар'єрності, товщина яких становить від 10 мкм до 250 мкм. Для плівок, що не входять в діапазон, використовують інші методи тестувань.

2.3 Характеристика технологічного процесу виробництва бар'єрних плівок для пакування харчових продуктів

Екструзія – це безперервний метод формування, в основному, погонажних виробів, який полягає в перетисканні розплаву полімеру через профільний отвір відповідної конфігурації (екструзійна головка) з наступною фіксацією форми виробу. Тиск в екструзійному агрегаті створюється за рахунок примусового, безперервного переміщення матеріалу вздовж гвинтової нарізки шнека при його обертанні. Основна перевага екструзійних процесів – безперервність виробництва, велика одинична потужність, висока технологічність при низькому рівні технологічних відходів, можливість автоматизації процесу і створення замкнених циклів, керованих за допомогою комп'ютерного забезпечення. Основним обладнанням для екструзії є одно- і двошнекові екструдери, а також комбіновані дисково-шнекові екструдери [28].

У процесі екструзії сировина переходить із твердого стану (гранули, порошок) у розплав, а потім після виходу з філь'єри відбувається охолодження знову перехід у твердий стан. У циліндрі екструдера розрізняють три зони: завантаження, стискання і дозування. У зону завантаження надходять тверді гранули, які за допомогою шнека стискаються в монолітний корок. Твердий матеріал перетискається спіральним каналом, який утворений поверхнями циліндра й гвинтовою нарізкою шнека. Тертя полімеру зі стінками циліндра повинно бути більшим, ніж зі шнеком. Воно регулюється за рахунок забезпечення вищої чистоти поверхні шнека в порівнянні зі стінкою циліндра, а також температурою (циліндр нагрівається, а шнек охолоджується). Плавлення полімеру відбувається за рахунок теплоти, що надходить від нагрівачів, а також за рахунок теплоти від внутрішнього тертя. Для екструзії використовують термопласти з високим значенням ефективної в'язкості, відповідно з низьким значенням показника текучості розплаву, який, як правило, знаходиться в межах від 0,02 г/10 хв до 12 г/10 хв. Можуть також

використовуватись реакційноздатні олігомерні композиції та газонаповнені композиції. У дискових екструдерах тиск створюється за рахунок ефекту Вайсенберга, який полягає у зворотній до відцентрової сили течії розплаву до центра при обертанні диска. Екструзія супроводжується лише фізичними процесами: деформація полімеру, плавлення, в'язка течія і кристалізація. Схему одношнекового екструдера з горизонтальним розташуванням циліндра наведено на рисунку 2.1.

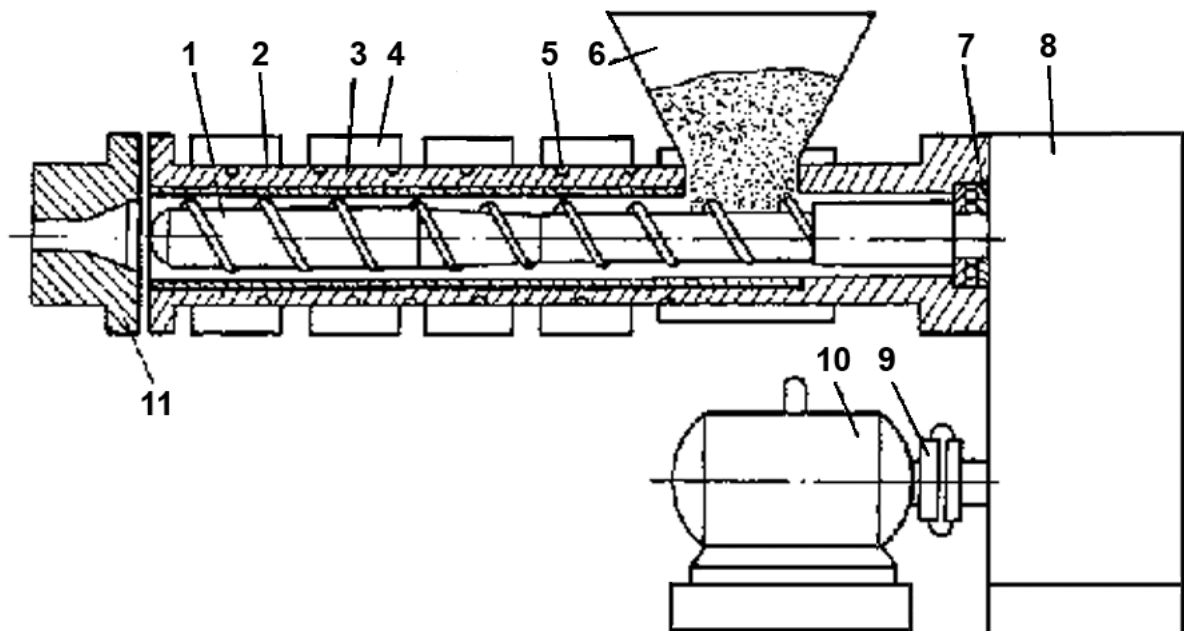


Рисунок 2.1 – Одношнековий екструдер з горизонтальним розташуванням циліндра: 1 – шнек; 2 – гільза; 3 – циліндр; 4 – електронагрівач; 5 – система охолодження; 6 – завантажувальна лійка; 7 – вузол опорного підшипника; 8 – редуктор; 9 – муфта; 10 – електродвигун; 11 – філь'єра;

Існує два основних способи екструзії плівок, які відрізняються формувальним елементом – екструзійною фільєрою. Вид плівки залежить від конфігурації формувального елемента (від профілю його щілини). При використанні фільєри з кільцевою щілиною отримують рукавну (подвійну) плівку (рисунок 2.2). Коли для екструзії використовується плоскощілинна головка (рисунок 2.3), одержують пласку (одинарну) плівку.

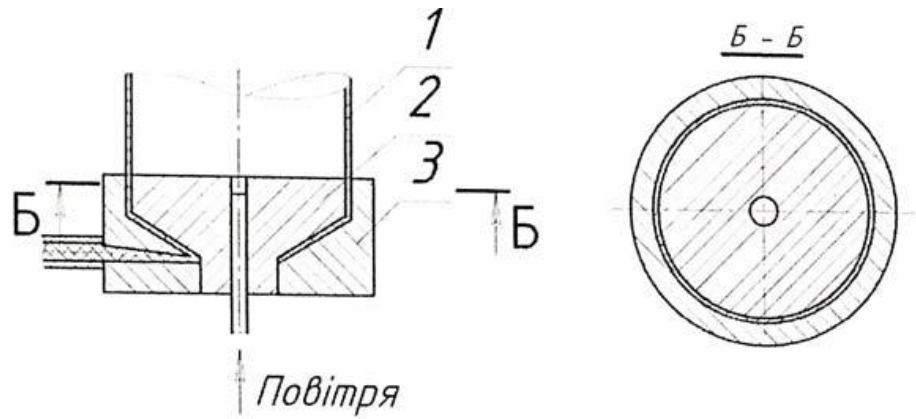


Рисунок 2.2 – Схема кільцевої фільєри: 1 – трубна заготовка (екструдат); 2 – дорн; 3 – циліндр;

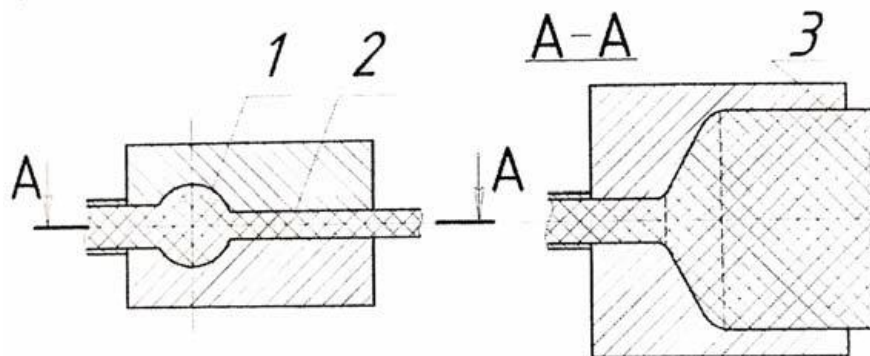


Рисунок 2.3 – Схема плоскощільної фільєри: 1 – колектор; 2 – щілина; 3 – плівка;

До плівок відносять суцільні пласкі вироби, які мають товщину меншу, ніж 300 мкм. Розміри плівок визначають природою полімеру, методом одержання плівок. В даний час виготовляють плівки товщиною від 2 мкм до 300 мкм і шириною від 0,3 до 24 м. Для виготовлення плівок екструзійним методом придатні – ПП, ПЕ, ПС, ПВХ, ПЕТФ, деякі марки ПА, співполімер етилену та вінілацетату, естери целюлози [1].

2.3.1 Виробництво плівки екструзійним методом з видувом

Метод формування плівки екструзією з роздуванням рукава - простий, високопродуктивний і економічний. Можливі три схеми одержання рукавних плівок екструзією з наступним роздувом:

- з подачею рукава вгору;
- з прийманням рукава вниз;
- з горизонтальним відбором рукава;

Найпоширеніша перша схема. Вона економічна з невеликими технічними ускладненнями, агрегат займає малу площу. При формуванні плівки методом рукавної екструзії з подачею рукава вгору лінія включає такі стадії:

- 1) підготовка розплаву: завантаження сировини, плавлення, гомогенізація і нагнітання розплаву полімеру;
- 2) перетискання розплаву через кільцеву головку; роздув рукава і його охолодження;
- 3) складання рукава;
- 4) намотування плівки на шпулі;

У процесі формування плівки можлива іонізаційна обробка (для зняття статичної електрики), активація поверхні. Проводиться періодичний або постійний контроль товщини і якості плівки. Схема екструзійної установки подана на рисунку 2.4.

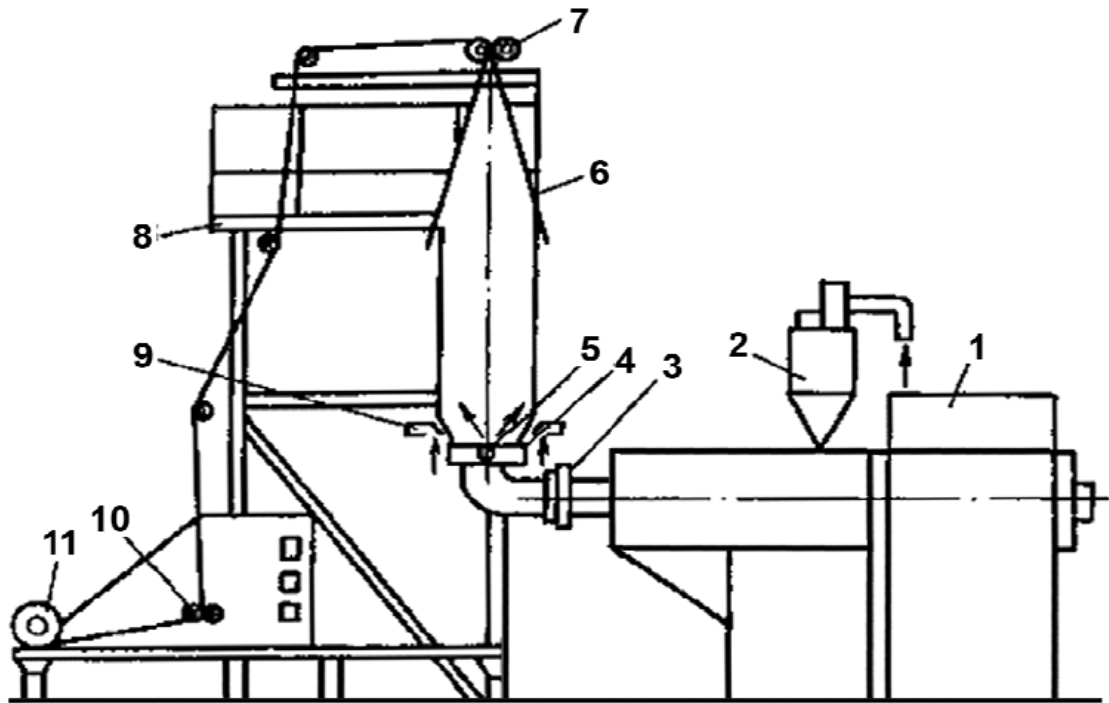


Рисунок 2.4 – Схема агрегату для одержання плівок рукавним методом з подачею рукава вгору: 1 – екструдер; 2 – бункер; 3 – фільтр; 4 – фільтера; 5 – трубопровід для подачі повітря; 6 – щоки для складання трубчастого рукава; 7 – тягові валки; 8 – естакада; 9 – охолоджувальне кільце; 10 – направляючі валки; 11 – намотувальний пристрій;

При формуванні багатошарових бар'єрних плівок використовують спарену екструзію, коли працюють три й більше екструдери, які нагнітають розплав в одну головку. При екструзії рукавної плівки визначають такі параметри:

- 1) температуру на зонах циліндра екструдера, переходу і фільтери; кількість обертів шнека;
- 2) тиск у кінці зони дозування та фільтери;
- 3) температуру і кількість повітря, яке йде на обдування (охолодження) рукава;
- 4) ступінь видування рукава;
- 5) ступінь поздовжньої витяжки;

Якщо перші три параметри визначають продуктивність екструдера і якість екструдованого розплаву, то наступні параметри – характеристику (властивості) отриманої плівки (її товщину, оптичні і фізико-механічні властивості). Ступінь роздуву визначають за формулою:

$$n_p = \frac{D_p}{d_{\text{сер}}}, \quad (2.7)$$

де D_p – діаметр рукава після роздування;

$d_{\text{сер}}$ – середній діаметр екструзійної щілини.

Величина ступеня роздуву перебуває в межах від 1,5 до 4,5 та залежить від тиску і температури повітря, яке подається в рукав (прямо пропорційно), кількості повітря для обдування на охолодження (обернено пропорційно).

Ступінь поздовжньої витяжки залежить від співвідношення швидкості намотування (відведення плівки) і швидкості екструдкування розплаву, а також залежить від швидкості твердіння (тобто інтенсивності обдування), температури розплаву й теплофізичних характеристик полімеру. На якість плівки суттєво впливає температура розплаву й швидкість його екструдкування, а також коефіцієнт (ступінь) видування [29, 30].

2.3.2 Виробництво плівки плоскощілинною екструзією

При плоскощілинній екструзії розплав полімеру подається через фільтеру, формотворною поверхнею якої є дві паралельні плити. Плівка проходячи через щілину витягується за допомогою каландр. Каландри охолодженні на них відбувається застигання розплаву. Завдяки каландрам плівка має дуже гладку поверхню. Гладка поверхня сприяє залипанню плівки. Для зменшення ефекту до складу полімерного матеріалу вводять добавки, що запобігають злипанню. Процес каландрування не збільшує ширину і не зменшує товщину плівки. Для забезпечення прозорості плівки, повинна

формуватися однорідна аморфна або дрібнокристалічна структура, що досягається різким охолодженням розплаву відразу після виходу з фільери.

Використовують агрегати двох типів: з охолодженням формуючої плівки у водяній ванні і з поливом розплаву на охолоджувальний барабан. Для товстих плівок охолодження менш різке, іноді навіть використовується додатковий вальний прогрів для зниження залишкових напружень в плівці. Температуру ванни необхідно підтримувати постійною (рисунок 2.5).

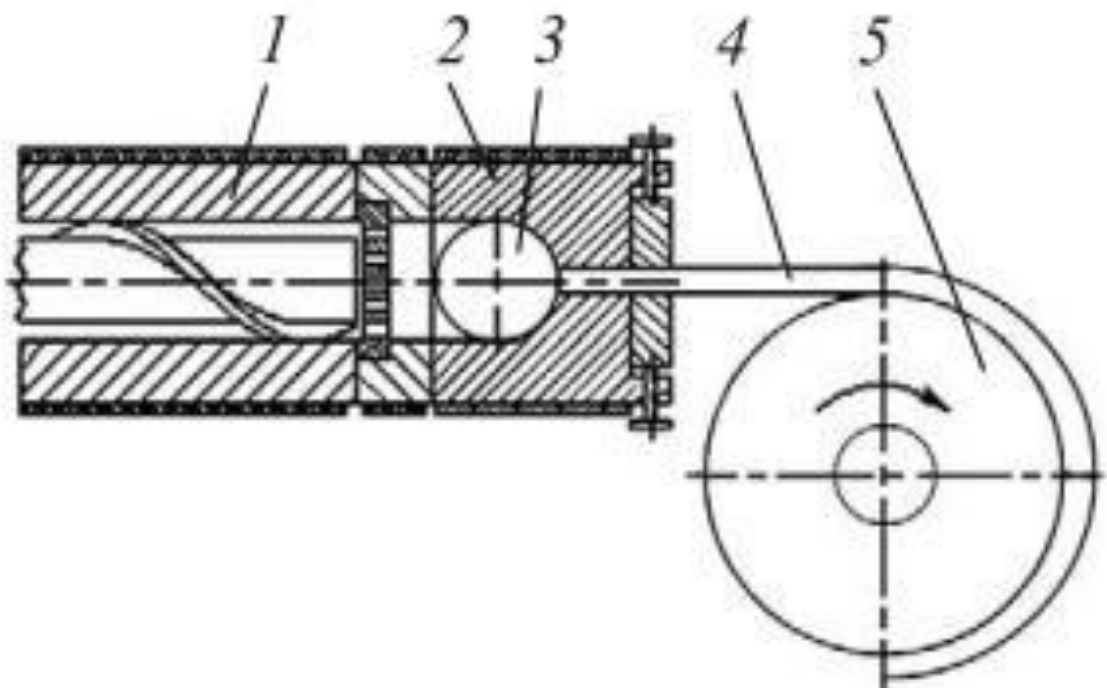


Рисунок 2.5 – Схема формування пласкої плівки на поливному барабані:
1 – екструдер; 2 – плоскощільова фільера; 3 – колектор; 4 – плівка; 5 – охолоджувальний барабан;

Важливо підтримувати однорідність температури розплаву. Фільера завжди має кілька зон нагріву. Для зведення до мінімуму коливання температури і флуктуації якості плівки температура вздовж фільери повинна бути в жорстких межах, з точністю 1 °С. Для запобігання розривів і дефектів плівки внутрішня поверхня фільери і поверхня валків повинні підтримуватися

в ідеальному стані. Незначні нерівності поверхні призводять до різнотовщинності і появи інших дефектів [30, 31].

Плоскощілинним методом екструзії отримують плівку шириною до 5 м і товщиною від 2 мкм до 600 мкм. Плівки товщиною від 2 мкм до 10 мкм називають ультратонкими, а з товщиною більшою 10 мкм – товстими. На відміну від рукавної екструзії метод плоскощілинної екструзії дозволяє отримувати плівки високої якості, прозорі, без складок, зі значно вищою, ніж при екструзії з видувом рукава швидкістю екструзії.

Коекструзію використовують для виготовлення багатошарових плівок безпосередньо екструзією одночасно декількох шарів полімерного матеріалу через одну складну фільтру. Кожен окремий полімер надходить від власного екструдера на головну головку. Полімер може входити в кілька шарів, навіть якщо він надходить від одного екструдера. Незважаючи на складність обладнання багатошарові плівки дуже поширені, так як для одного полімерного матеріалу неможливо досягти всіх вимог механічних, дифузійно-бар'єрних властивостей, адгезії з підкладкою і між шарами, термічної усадки. Для забезпечення необхідних властивостей підбирають найбільш відповідні полімери, що утворюють багатошарову структуру [1].

2.4 Опис лабораторного обладнання

2.4.1 Принцип роботи розривальної машини Tinius Olsen H5K-T

Настільна розривальна електромеханічна машина Tinius Olsen H5K-T призначена для проведення випробувань зразків металів, пластмас, гуми, текстилю, деревини, плівки, паперу, клеїв на:

- розтягування;
- стиснення;
- розшарування;
- прокол;

Машина повністю відповідає вимогам ГОСТ, ASTM, DIN, ISO, BS, EN та іншим національним і міжнародним стандартам. Точність вимірювання навантаження: $\pm 0,5\%$ в діапазоні від 1% до 100% від максимальної ємності датчика сили (рисунок 2.6).

У настільній розривній машині Tinius Olsen, число в назві моделі вказує граничне навантаження в кН, що розвивається машиною в режимі розтягування, стиснення.



Рисунок 2.6 – Зовнішній вигляд розривальної машини Tinius Olsen H5K

Технологічні характеристики розривальної машини Tinius Olsen H5KT з навантаженням до 500 кг (5 кН):

- максимальне навантаження 5 кН (500 кг);
- діапазон робочих швидкостей від 0,001 мм/хв до 1000 мм/хв;
- швидкість повернення від 0,001мм/хв до 500 мм / хв;
- максимальний хід траверси 750;

Машина Т-серії забезпечує: точність вимірювання навантаження 0,5 %, точність вимірювання деформації 0,0001 мм, похибка встановленої швидкості 0,005 %.

Технічні характеристики: максимальне навантаження 5кН (500 кг), жорсткість рами 2 кН/мм при нормальних точках навантаження, високоточний електропривід з живленням постійного струму, регульовані кінцеві мікровимикачі обмеження максимального ходу рухомого захвату, кнопка екстреної зупинки руху рухомого захвату.

Система вимірювання навантаження: силовимірювальний осередок Z-типу, відповідність вимогам EN10002-2, ASTM E4, DIN51221, похибка вимірювання навантаження 0,5 % в діапазоні від 2 % до 100 % від максимальної ємності тензодатчика, автоматична ідентифікація тензодатчика і автоматичне налаштування робочих параметрів машини, здатність тензодатчика 1/32000 (розтягнення або стиснення), вимірювання навантаження з частотою 200 разів на секунду, одиниці виміру навантаження (ньютони, кілограми, фунти), система захисту осередки від перенавантаження, програмовані межі робочих параметрів навантаження, програмоване попереднє навантаження зразка;

У таблиці 2.4 представлена технічна характеристика приладу Tinius Olsen H5KT [32].

Таблиця 2.4 – Технічні характеристики приладу Tinius Olsen H5KT

Показник	Одиниці вимірювання	Значення
1	2	3
Максимальний хід	мм	750
Максимальний діаметр зразка	мм	200
Потужність	Вт	500
Робоча температура	°C	від 0 до 38

Продовження таблиці 2.1

1	2	3
Температура зберігання	°C	від -10 до 45
Вологість	%	від 10 до 90
Розміри В×Д×Ш	мм	1140×450×450
Вага	кг	50

Алгоритм тестування бар'єрної плівки на машини Tinius Olsen НК5-Т:

Підготовка і встановлення зразка до випробування (зразок повинен бути на краях повздовжніх розрізів рівним, якість зразка в основному залежить від гостроти лез, які використовують, тому, перед нарізкою зразків перевіряти гостроту лез методом проб різання плівки, не допускається використовувати зразки з зазубринами та надрізами на краях стрічки).

За допомогою лінійки виставити відстань між захватами 50 мм.

Обережно вставити зразок плівки між гумовими затискачами верхнього та нижнього захвата та зафіксувати його, за допомогою гвинтів (зразок після затиснення в захватах не повинен провисати й не бути досить натягнутим).

Вибрати в стартовому меню зону тестування або натиснути в Меню QMat на іконку (рисунок 2.7).



Рисунок 2.7 – Меню QMat

Вибрати шаблон тестування «ASTM D882» (рисунок 2.8).

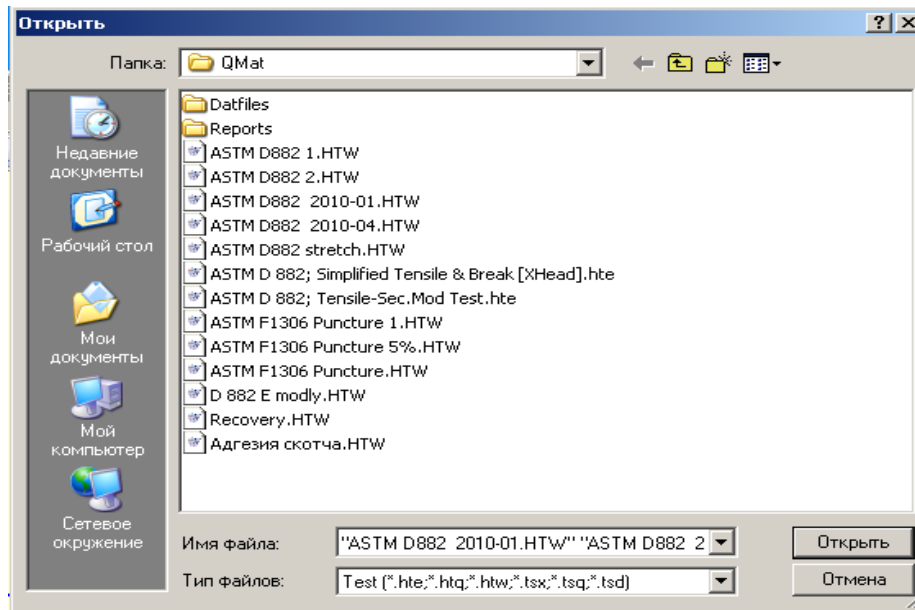


Рисунок 2.8 – Вікно вибору шаблону

Ввести товщину і ширину зразка бар'єрної плівки та її маркування. Ширина зразка плівки є постійним параметром – 25 мм (рисунок 2.9).

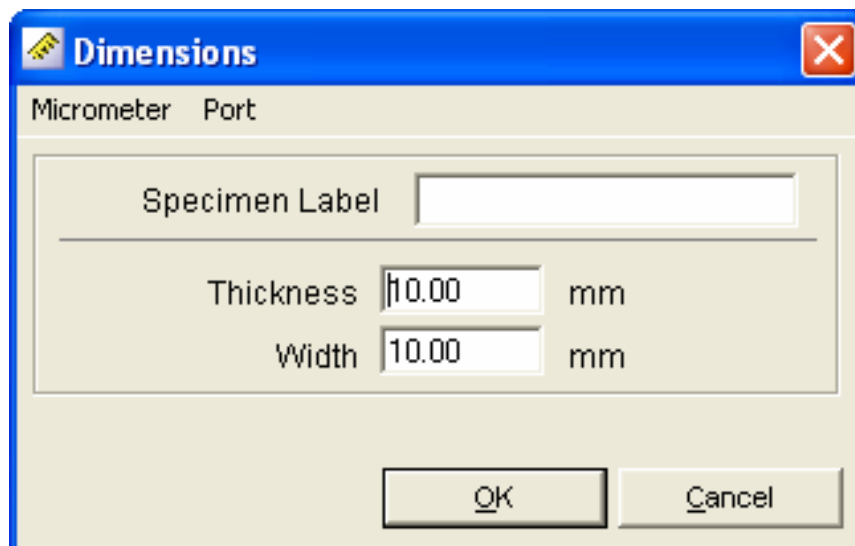


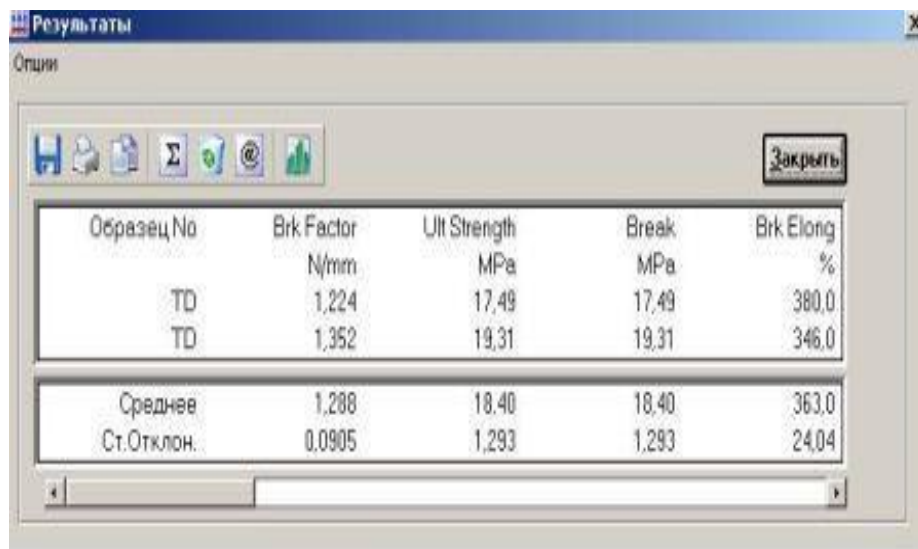
Рисунок 2.9 – Вікно параметрів зразка плівки

Натиснути «ОК», після чого розпочнеться тестування зразка плівки на розтягування: траверса почне переміщатися згідно установки випробування. На дисплеї і у вікні монітора комп'ютера «Консоль» з'являться значення

навантаження та деформації. В процесі тестування значення будуть змінюватися на моніторі комп'ютера у вікні «Граф тест на розрив» буде побудовано графік.

Після закінчення випробування зразка (його повний розрив), верхній захват машини автоматично повернеться в початкове положення, де було проведено занулення.

Відкрити вікно «Сторінка результатів». Результати тестування вказані у цьому вікні (рисунок 2.10). [11]



Образец No	Brk Factor N/mm	Ult Strength MPa	Break MPa	Brk Elong %
TD	1,224	17,49	17,49	380,0
TD	1,352	19,31	19,31	346,0
Среднее	1,288	18,40	18,40	363,0
Ст.Отклон.	0,0905	1,293	1,293	24,04

Рисунок 2.10 – Вікно отриманих результатів тестування

2.4.2 Тестування бар'єрної плівки на стійкість до проколу

На машині Tinius Olsen H5K-T за допомогою додаткового обладнання проводять тестування бар'єрної плівки на її стійкість повільному втискуванню та проколюванню (рисунок 2.11).



Рисунок 2.11 – Установка машины Tinius Olsen H5K-T для тестування бар'єрної плівки на стійкість до проколу

Алгоритм тестування полімерної плівки на стійкість до проколу:

З середньої частини полотна плівки вирізають зразок для тестування розміром 76 мм × 76 мм.

Зафіксувати зразок плівки в пристрій для тестування плівки таким чином, щоб поверхня плівки не мала зморшок. Затиснути зразок у пристрої за допомогою тумблера для затискання зразка для максимального затискання плівки необхідно користуватися кнопками, які знаходяться з обох сторін панелі управління тестуванням, їх необхідно одночасно затиснути (рисунок 2.12).



Рисунок 2.12 – Кнопки для затискання зразка між плитами

З переліку файлів з тестами виділити тест «ASTM F 1306 puncture» і відкрити його (рисунок 2.8).

Відкрити таблицю з «Налаштування шаблону для випробувань» (рисунок 2.13). Ввести товщину і партію плівки. Натиснути «ОК».

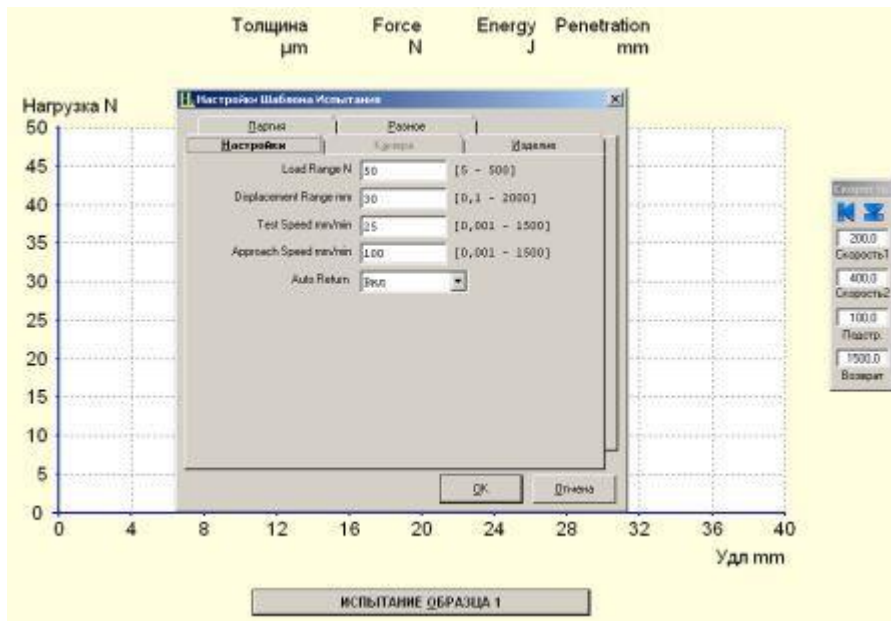


Рисунок 2.13 – Налаштування шаблону для випробувань

5. Відкрити вікно «Розміри» (рисунок 2.14) для введення інформації про зразок плівки, що тестується. Ввести маркування та товщину зразка. Натиснути «ОК» [12].

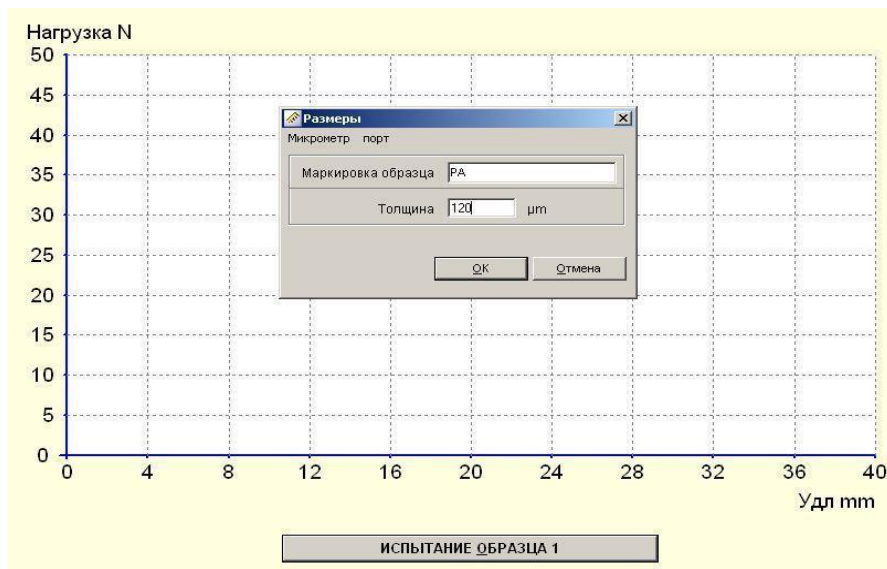


Рисунок 2.14 – Введення маркування і товщини зразка

Почати тестування (рисунок 2.15).

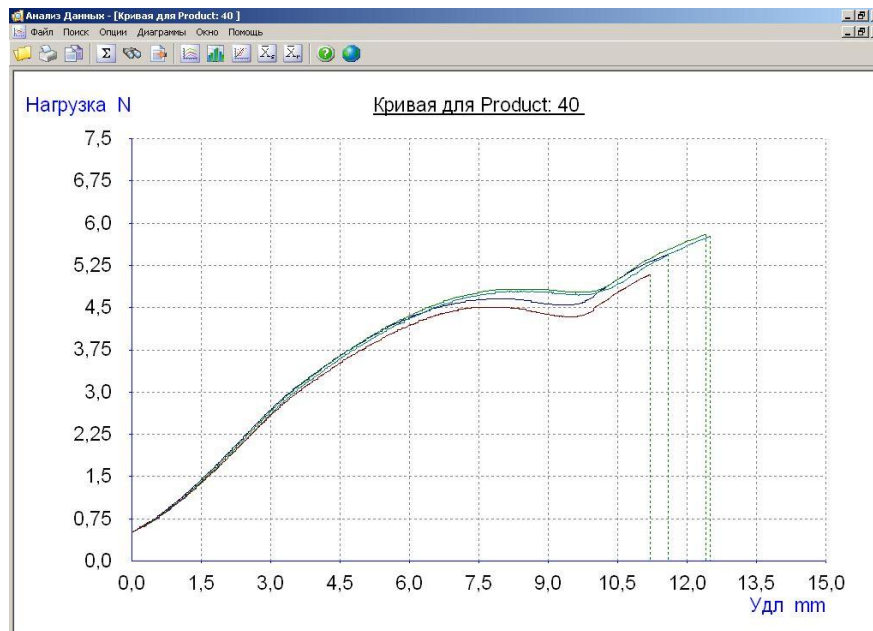


Рисунок 2.15 - Графік тесту на прокол

Після закінчення тестування відкрити вікно «Сторінка результатів». Результати тесту вказані у цьому вікні.

2.4.3 Характеристика приладу Seal Tester ST-10

Термозварювальна машина Seal Tester SL-10 призначена для термозварювання матеріалів і визначення найкращих параметрів температури, часу і тиску термозварювання різних плівок для промислового виробництва. Прилад має спеціальні розроблені термопластини, які відповідають різним національним та міжнародним стандартам [33, 34]. Спеціальна технологія регулювання температури забезпечує досягнення необхідної температури. Широкий діапазон контролю температури, тиску і часу, ручне або педальне управління, а також механізм, що захищає від опіків, забезпечують зручну і безпечну роботу з обладнанням. Автономний контроль температури верхньої і нижньої пластин надає різні умови для тестування, забезпечує стабільний тиск. Деталі зварювальної поверхні можуть бути встановлені або демонтовані

для більш зручного використання. Широка поверхня зварювальних пластин може тестувати великі зразки. Термозварювальна машина складається з верхнього і нижнього термозварювальних затискачів. Перед тестуванням необхідно встановити температуру, тиск і час, помістити зразок між пластинами, потім натиснути кнопку пуску. Процес термозварювання завершується автоматично (рисунок 2.16).



Рисунок 2.16 – Зовнішній вигляд термозварювальної машини Seal Tester

У таблиці 2.5 представлена технічна характеристика приладу Seal Tester SL-10

Таблиця 2.5 – Технічна характеристика приладу Seal Tester SL-10

Показник	Одиниці вимірювання	Значення
Температура нагрівання	°C	350
Точність	%	0,1
Час термозварювання	с	від 0,2 до 99,99
Тиск	кПа	від 137,9 до 2758
Площа нагріву Д×Ш	мм	20,32×25,4
Розміри Д×Ш×В	см	50,8×58,4×83,8
Потужність	Вт	1000
Вага	кг	90,7

Даний прилад відповідає наступним стандартам: ASTM F 2029-00, ASTM F 1921, ASTM F 88-00.

Термозварювальну машину Seal Tester SL-10 застосовують для зварювання пластикових, композитних плівок, плівки з нанесеним друком, геомембранних, алюмінієвих плівок.

Технологія зварювання зразка [33, 34]:

Вирізати зразок шириною 25 мм.

Полотно плівки, з якого відбирається зразок, повинно бути без бруду та пилу, не мати на поверхні механічних ушкоджень, а також слідів мастильних матеріалів.

Задати відповідну температуру, тиск, час і натиснути на екрані Cycle Machine (рисунок 2.17).

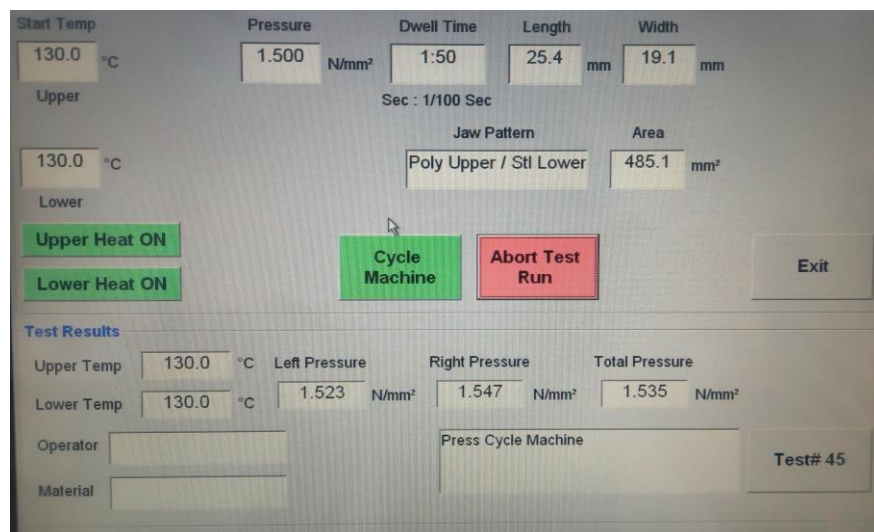


Рисунок 2.17 – Головне меню термозварювальної машини Seal Tester SL-10

РОЗДІЛ 3 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ЧАСТИНА

3.1 Дослідження складу та структури бар'єрних плівок

За даними огляду джерел науково-технічної інформації одним з основних полімерних матеріалів при виробництві бар'єрних плівок для пакування харчових продуктів є ПА. Для дослідження структури бар'єрних плівок застосовано цифровий мікроскоп Ахіоскор 40 німецької фірми Carl Zeiss. Для перевірки наявності бар'єрних шарів зроблено зріз під мікроскопом дослідних зразків. Дослідження структури проведено з індикаторним 5 % спиртовим розчином йоду при збільшенні у 100 раз. Забарвлення шару у світло-коричневий колір свідчить про присутність ПА. На рисунку 3.1 наведено цифрове зображення зрізів бар'єрних плівок.

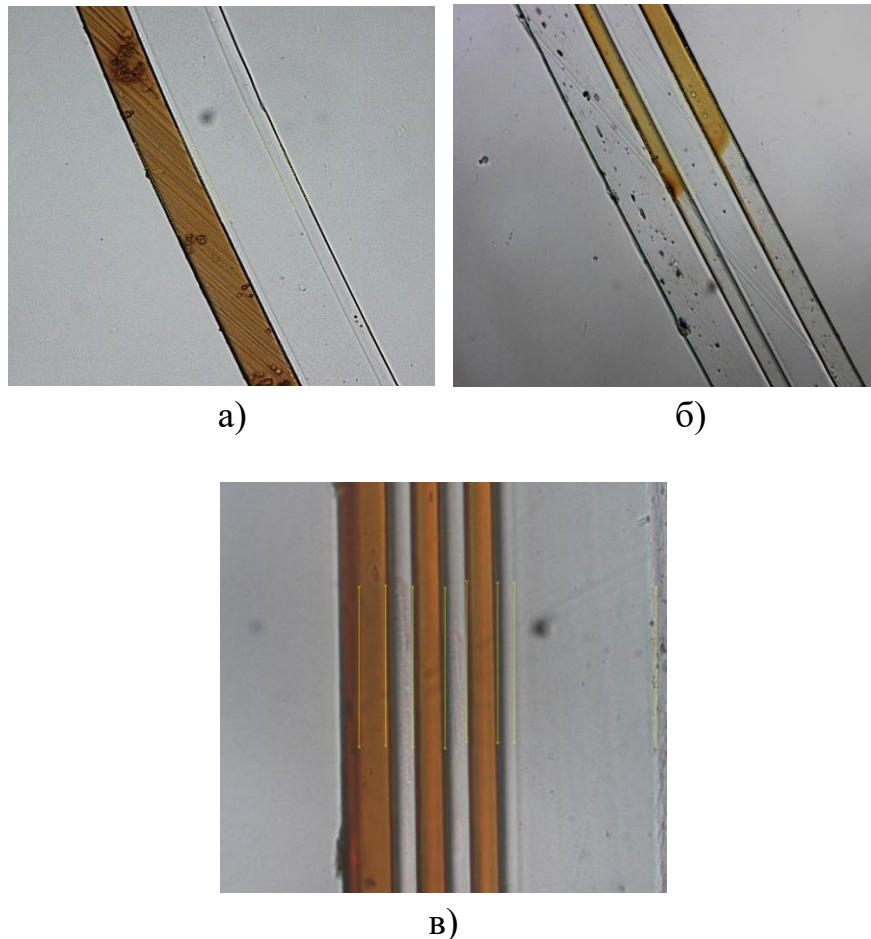


Рисунок 3.1 – Цифрові зображення зрізів бар'єрних плівок: а) зразок №1; б) зразок №2; в) зразок №3;

За допомогою програмного забезпечення ВідеоТесТ-Розмір 5.0, що призначене для роботи з мікроскопом, отримано дані товщини шарів бар'єрних плівок. У таблиці 3.1 наведено результати складу плівок і товщину шарів.

Таблиця 3.1 – Склад зразків бар'єрних плівок

Шар	Зразок №1		Зразок №2		Зразок №3	
	Склад плівки	Товщина, мкм	Склад плівки	Товщина, мкм	Склад плівки	Товщина, мкм
А	ПА	20	ПА	31	ПА	20
В	Адгезив	11	Адгезив	8	Адгезив	10
С	ПЕ	58	ПЕ	37	ПА	20
Д	ПЕ	31	Адгезив	6	Адгезив	10
Е	-	-	ПА	22	ПА	18
Ф	-	-	Адгезив	9	Адгезив	10
Г	-	-	ПЕ	57	ПЕ	82
Всього	-	120	-	170	-	170

Дослідження складу бар'єрних плівок, свідчить про те, що дослідні зразки містять у своєму складі ПА, ПЕ, адгезив. Товщина зразків бар'єрних плівок становить від 120 мкм до 170 мкм. За отриманими даними, що наведені у таблиці 3.1, розраховано масові та об'ємні частки (%) шарів зразків. Результати визначення об'ємних та масових часток (%) складових зразків наведено у таблицях 3.2–3.4.

Таблиця 3.2 – Об’ємні та масові частки (%) складових компонентів зразка №1

Шар	Зразок №1					
	Склад плівки	Товщина, мкм	Густина шару, г/см ³	Маса шару, г *	Об’ємна частка, %	Масова частка, %
А	ПА	20	1,14	22,8	16,6	19,8
В	Адгезив	11	0,926	10,2	9,2	8,8
С	ПЕ	58	0,926	53,7	48,4	46,5
Д	ПЕ	31	0,926	28,7	25,8	24,9
Всього		120	-	115,4	100,0	100,0

Примітка * – для розрахунку маси за об’єм взято 1 см³ плівки.

Згідно таблиці 3.2 товщина бар’єрного шару становить 20 мкм, об’ємна частка – 16,6 %, масова частка – 19,8 %.

Таблиця 3.3 – Об’ємні та масові частки (%) складових компонентів зразка №2

Шар	Зразок №2					
	Склад плівки	Товщина, мкм	Густина шару, г/см ³	Маса шару, г *	Об’ємна частка, %	Масова частка, %
1	2	3	4	5	6	7
А	ПА	31	1,14	32,1	18,2	19,4
В	Адгезив	8	0,926	7,4	4,7	4,5
С	ПЕ	37	0,926	34,3	21,8	20,7

Продовження таблиці 3.3.

1	2	3	4	5	6	7
D	Адгезив	6	0,926	5,6	3,5	3,4
E	ПА	22	1,14	25,1	12,9	15,2
F	Адгезив	9	0,926	8,3	5,3	5,0
G	ПЕ	57	0,926	52,8	33,6	31,8
Всього		170	-	165,6	100,0	100,0

Примітка * – для розрахунку маси за об'єм взято 1 см³ плівки.

За даними таблиці 3.3, загальна товщина бар'єрного шару становить 53 мкм, об'ємна частка – 31,1 %, масова частка – 34,6 %.

Таблиця 3.4 – Об'ємні та масові частки (%) складових компонентів зразка №3

Шар	Зразок №3					
	Склад плівки	Товщина, мкм	Густина шару, г/см ³	Маса шару, г *	Об'ємна частка, %	Масова частка, %
A	ПА	20	1,14	22,8	11,8	13,4
B	Адгезив	10	0,926	9,3	5,9	5,5
C	ПА	20	1,14	22,8	11,8	13,4
D	Адгезив	10	0,926	9,3	5,9	5,5
E	ПА	18	1,14	20,5	10,6	12,0
F	Адгезив	10	0,926	9,3	5,9	5,5
G	ПЕ	82	0,926	76,0	48,1	44,7
Всього		170	-	170	100,0	100,0

Примітка * – для розрахунку маси за об'єм взято 1 см³ плівки.

Згідно таблиці 3.4 товщина бар'єрного шару становить 58 мкм, об'ємна частка – 34,2 %, масова частка – 38,8 %.

Таким чином, дослідження таблиці 3.2–3.4 показує залежність розрахованої об'ємної та масової частки бар'єрного шару від його товщини та густини.

3.2 Аналіз впливу товщини ПА шару на основні фізико-механічні показники бар'єрних плівок

Дослідження фізико-механічних показників бар'єрних плівок здійснювали згідно методів, розроблених міжнародною організацією ASTM (таблиця 2.4). Випробування проводили в умовах лабораторії при температурі від 21 °С до 25 °С та відносній вологості від 15 % до 75 %. Визначено основні показники бар'єрних плівок – міцність при розтягуванні та відносне видовження у повздовжньому та поперечному напрямках, стійкість до проколу внутрішньої та зовнішньої сторони, силу зварного з'єднання. Отримані результати наведено у таблиці 3.5.

Таблиця 3.5 – Фізико-механічні показники зразків бар'єрних плівок

Показник	Зразок №1	Зразок №2	Зразок №3
	Значення		
1	2	3	4
Товщина поліамідного шару, мкм	20	53	58
Міцність при розтягуванні, МПа			
- повздовжній напрям (MD)	29,3	45,2	49,6
- поперечний напрям (TD)	22,7	41,5	44,5

Продовження таблиці 3.5

1	2	3	4
Відносне видовження, %			
- повздовжній напрям (MD)	313	527	654
- поперечний напрям (TD)	427	538	647
Стійкість до проколу, Н			
- зовнішня сторона	27,4	36,8	45,5
- внутрішня сторона	25,1	28,8	32,7
Сила зварного з'єднання, Н/15мм	29,4	48,8	53,5

Згідно даних таблиці 3.5 спостерігається зміна значень зі збільшенням товщини бар'єрного поліамідного шару. Порівнявши між собою структури плівок та отримані значення, визначено наступні залежності:

- на величину міцності при розтягуванні та відносного видовження впливає структура полімерного пакувального матеріалу і товщина бар'єрного поліамідного шару, що входить до складу плівки. Якщо в структурі полімерного матеріалу збільшити відсоток поліамідного шару від 17 % до 34 %, міцність при розтягуванні та відносне видовження збільшується у 2 рази;

- стійкість до проколу дуже сильно залежить від матеріалу бар'єрного шару та його компонентів. Збільшення товщини поліамідного шару від 20 мкм до 58 мкм збільшує опір до проколу у 2 рази;

- сила зварного з'єднання, прямо пропорційна міцності плівки при розтягуванні.

Важливим показником для бар'єрних плівок є проникність. Киснепроникність та паропроникність важливі фізичні характеристики полімерних плівок. Від вибору виду полімерної плівки для пакування харчових продуктів залежить їх тривалість та стан зберігання, адже

бар'єрність – важлива характеристика, яка захищає продукти харчування від проникнення кисню та водяної пари. Проникність плівки залежить від ступеня гідрофобності та гідрофільності, від природи та густини, від структурних особливостей полімеру [35].

Обчислення проникності через багатошарову структуру здійснюється за рахунок масопереносу через окремі шари структури [36, 37]. Для розрахунку використано коефіцієнти проникності парів води та кисню полімерних матеріалів (таблиця 2.3).

Згідно рівняння 2.6 та 2.7 отримано значення показників паропроникності та киснепроникності дослідних зразків.

У таблиці 3.6 наведено отриманні значення проникності для кожного полімерного матеріалу

Таблиця 3.6 – Проникність кисню та парів води дослідних зразків

Бар'єрна плівка	Товщина ПА шару, мкм	Товщина ПЕ шару, мкм	Киснепроникність $\text{см}^3/(\text{м}^2 \cdot 24 \text{ год} \cdot \text{атм})$	Паропроникність $\text{г}^3/(\text{м}^2 \cdot 24 \text{ год})$
Зразок №1	20	89	48,42	5,19
Зразок №2	53	94	19,12	4,82
Зразок №3	58	82	17,83	5,31

Згідно даних таблиці 3.6 спостерігається зміна показників киснепроникності в залежності від збільшення товщини ПА шару. Збільшення об'ємної частки ПА шару від 16,6 % до 31,1 % зменшує киснепроникність у 2,5 раза.

Залежність киснепроникності від товщини ПА шару наведено на рисунку 3.2.

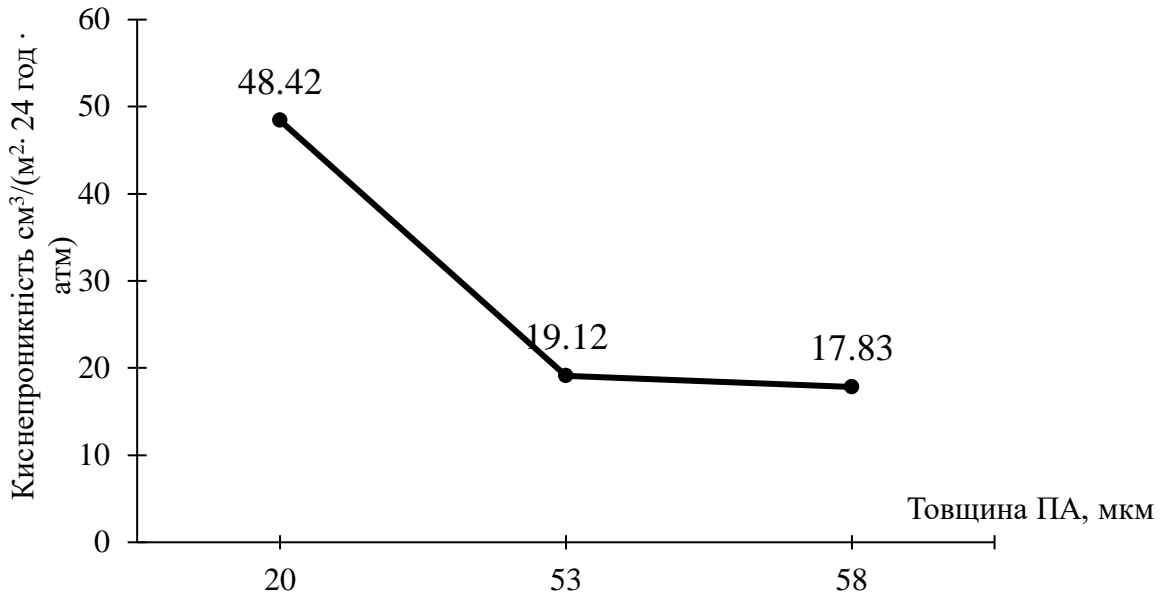


Рисунок 3.2 – Залежність киснепроникності від товщини ПА шару

Отримані результати свідчать про те, що ПА володіє високими бар'єрними властивостями, ступінь покращення киснебар'єрних властивостей змінюється в залежності від вмісту ПА в пакувальному матеріалі. З метою покращення киснебар'єрних властивостей, вміст ПА в структурі пакувального матеріалу повинен складати більше 20 %.

Залежність паропроникності від товщини ПЕ зображено на рисунку 3.3.

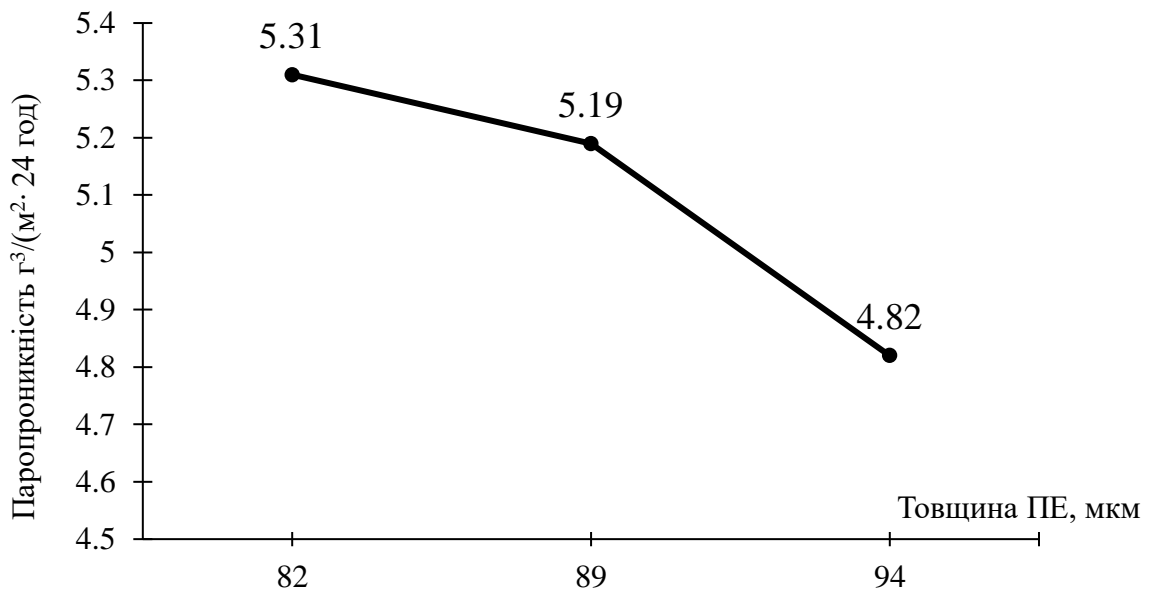


Рисунок 3.3 – Залежність паропроникності від товщини ПЕ шару

За даними рисунку 3.3 збільшення товщини ПЕ шару на 1 мкм знижує паропроникність на $0,06 \text{ г}^3/(\text{м}^2 \cdot 24 \text{ год})$.

Таким чином, збільшення товщини поліамідного шару призводить до зменшення дифузії кисню через багатошарову плівку, проте не впливає на проникність водяної пари. Захисними бар'єрними властивостями проти проникнення водяної пари володіють поліетиленові плівки.

3.3 Вплив товщини EVOH шару на основні фізико-механічні показники

З метою визначення впливу товщини EVOH на фізико-механічні показники досліджено зразки бар'єрних плівок наступних рецептур (таблиця 3.7).

Таблиця 3.7 – Рецептури дослідних бар'єрних плівок

Шар	Полімерний матеріал	Товщина, мкм			
		Зразок №1	Зразок №2	Зразок №3	Зразок №4
А	ПЕ	14	14	14	14
В	Адгезив	10	10	10	10
С	EVOH	5	7,5	10	15
Д	Адгезив	7	7	7	7
Е	ПЕ	10	10	10	10
Всього		46	48,5	51	56

Згідно даним таблиці 3.7 товщина EVOH змінюється від 5 мкм до 15 мкм. Товщини інших компонентів бар'єрної плівки є незмінними, що дає можливість зробити аналіз впливу товщини EVOH на фізико-механічні показники.

Розрахунковим методом знайдено об'ємні та масові частки (%) EVOH у дослідних зразках (рисунок 3.4).

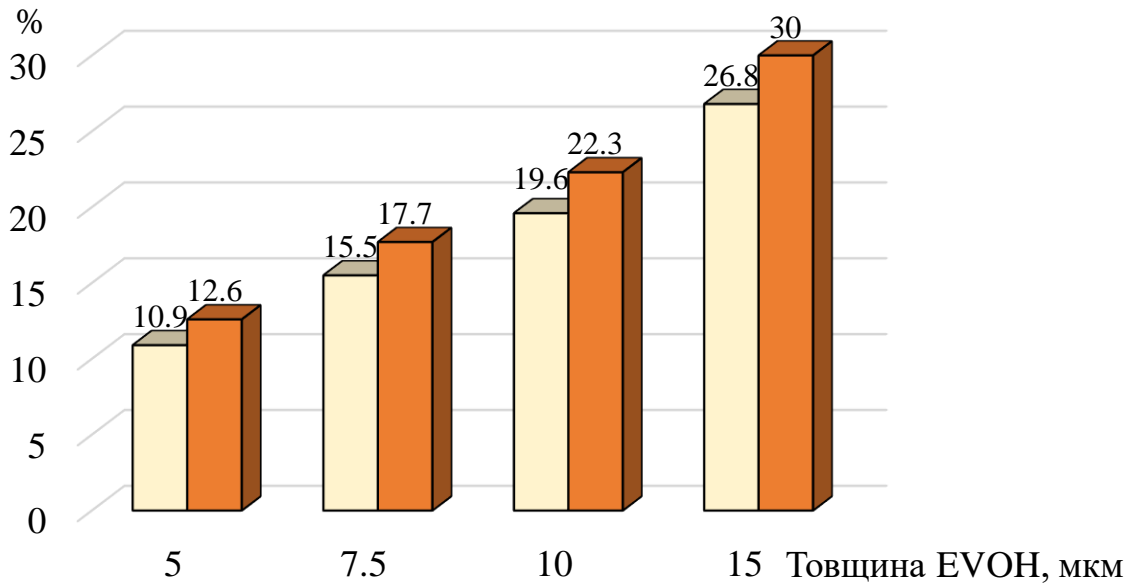


Рисунок 3.4 – Вміст EVON у дослідних зразках: □ – об'ємна частка (%);
 ■ – масова частка, %;

За даними рисунку 3.4 при збільшенні товщини EVON від 5 мкм до 15 мкм спостерігається збільшення об'ємної частки від 10,9 % до 12,6 %, масової частки – від 12,6 % до 30,0 %.

Дослідження фізико-механічних показників бар'єрних плівок здійснювали згідно методів, розроблених міжнародною організацією ASTM (таблиця 2.4). Випробування проводили в умовах лабораторії при температурі від 21 °С до 25 °С та відносній вологості від 15 % до 75 %. Кількість зразків для випробувань по технічній документації не менше трьох, але для більш точного та детального аналізу взято по десять зразків у двох напрямках: повздовжньому (MD) та в поперечному (TD), при цьому зразки для контролю вирізано з середини полотна плівок. Обов'язково перевірено зразки на наявність зазубрин та надрізів. У таблиці 3.8 наведено результати досліджень фізико-механічних показників бар'єрних плівок на основі EVON.

Таблиця 3.8 – Результати досліджень фізико-механічних показників

Показник	Зразок №1	Зразок №2	Зразок №3	Зразок №4
	Значення			
Товщина шару EVON, мкм	5	7,5	10	15
Міцність при розтягуванні, МПа				
- повздовжній напрям (MD)	24,6	25,3	24,9	25,8
- поперечний напрям (TD)	22,3	24,1	22,7	22,1
Відносне видовження, %				
- повздовжній напрям (MD)	386	369	352	349
- поперечний напрям (TD)	402	377	376	364
Стійкість до проколу, Н				
- зовнішня сторона	11,6	11,1	11,3	10,6
- внутрішня сторона	7,3	7,8	6,8	7,0
Сила зварного з'єднання, Н/15мм	15,2	14,4	16,7	15,9

Виходячи з даних таблиці 3.8 збільшення товщини EVON від 5 мкм до 15 мкм на міцність плівок при розтягуванні, стійкість до проколу та силу зварного з'єднання не впливає. Збільшення товщини EVON впливає на відносне видовження у двох напрямках, спостерігається незначне зменшення відносної еластичності плівок. Полімерний матеріал EVON має кристалічну структуру, характерна властивість – низька відносна деформація, відповідно плівки, до складу яких, входить цей полімерний матеріал, мають невеликий показник відносного видовження. Важливе значення має дослідження впливу товщини EVON на киснепроникність та паропроникність [38].

Для розрахунку використано коефіцієнти киснепроникності та паропроникності, що наведені у таблиці 2.1, розрахунок проведено за

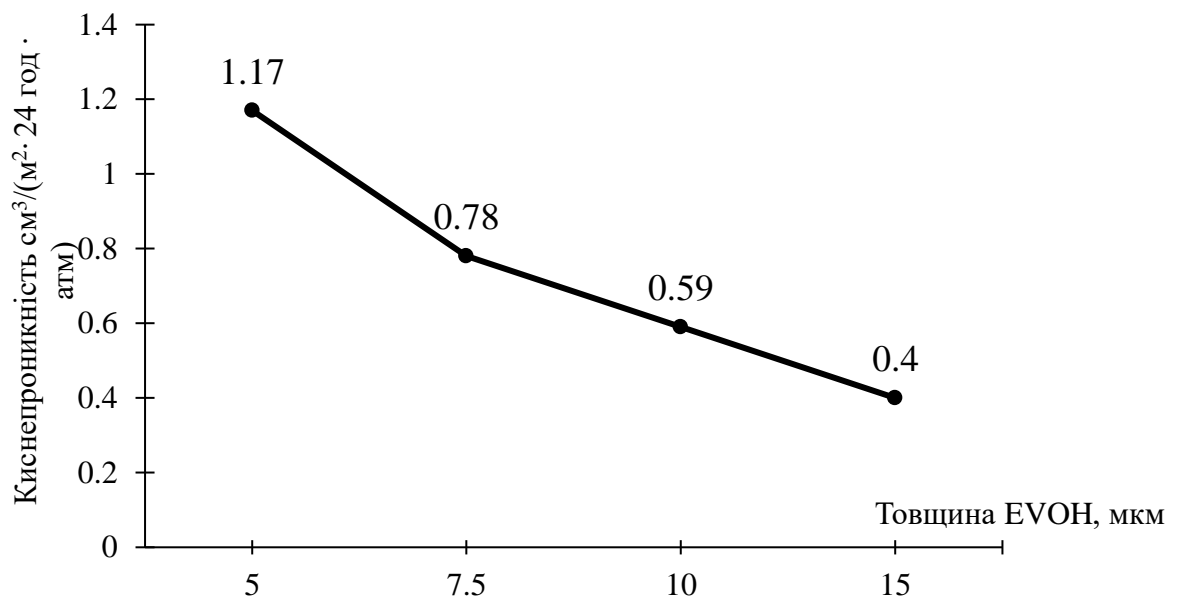
допомогою рівнянь 2.5 та 2.6. Отримані значення проникності кисню та парів води наведено у таблиці 3.9.

Таблиця 3.9 – Проникність кисню та парів води досліджуваних зразків

Зразок	Товщина EVOH, мкм	Товщина PE шару, мкм	Киснепроникність $\text{см}^3/(\text{м}^2 \cdot 24 \text{ год} \cdot \text{атм})$	Паропроникність $\text{г}^3/(\text{м}^2 \cdot 24 \text{ год})$
№1	5	24	1,17	36,52
№2	7,5		0,78	34,43
№3	10		0,59	32,52
№4	15		0,40	29,37

Згідно даних таблиці 3.9 при збільшенні товщини EVOH від 5 мкм до 15 мкм знижується проникність кисню та парів води.

Залежність проникності кисню та парів води від товщини EVOH зображено на рисунку 3.5.



а)

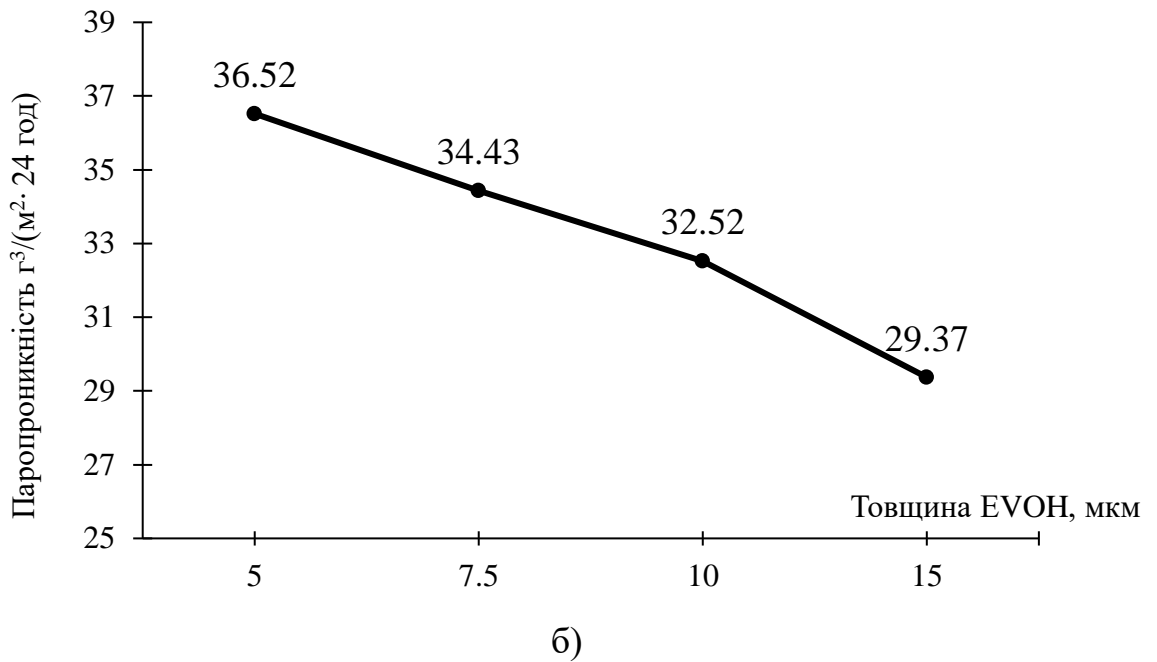


Рисунок 3.4 – Залежність проникності плівок від товщини EVONH
а) кисню; б) водяної пари;

Таким чином, за даними експериментальних досліджень підвищення товщини шару EVONH не впливає на механічні показники плівок, проте має значний вплив на киснепроникність та паропроникність. Збільшення товщини EVONH від 5% до 15% зменшує киснепроникність у 3 рази. Незалежно від товщини бар'єрного шару, отримані значення киснепроникності лежать нижче значення показника, який регламентований згідно ТУ У 25.2-30960327-001:2009, це свідчить про те, що плівки відповідають класу високobar'єрних.

В процесі проникнення відбувається переміщення часток кисню та парів води, що пов'язано з подоланням енергетичних бар'єрів. Чим сильніша міжмолекулярна взаємодія, тим більший енергетичний бар'єр, тим вища енергія дифузії. Отже, сильні міжмолекулярні зв'язки відповідають меншій газопроникності і більшій температурі кристалізації полімеру. Тому на киснепроникність впливає структура полімеру, його густина, сила міжмолекулярних зв'язків та кристалічність.

3.4 Рекомендації створення комбінованих пакувальних матеріалів на основі бар'єрних полімерних матеріалів

Виробництво полімерних бар'єрних плівок для харчової промисловості пов'язано з рядом специфічних особливостей. Основними недоліками є нераціональні умови використання полімерних матеріалів, недостатнім ознайомленням в можливими варіантами отримання плівок [39].

У зв'язку з цим, на теперішній час є актуальним виробництво бар'єрних плівок за технологією комбінування полімерних матеріалів, що володіють комплексом структурних та фізико-механічних характеристик.

Виходячи з теоретичних передумов та практичних досліджень фізико-механічних показників, можливо запропонувати рекомендації створення багатофункціональних пакувальних рішень на основі бар'єрних полімерних матеріалів [40].

Таким чином, запропоновано комбінацію полімерних матеріалів для семиекструзійної лінії виробництва багат шарових плівок із зазначеним розподіленням шарів, а також надано рекомендації використання полімерних матеріалів.

На основі експериментальних досліджень фізико-механічних показників бар'єрних плівок, запропоновано схеми поєднання полімерних матеріалів для отримання бар'єрних семишарових плівок, які призначені для пакування харчової продукції. У таблиці 3.10 наведено варіанти підбору полімерних матеріалів.

Таблиця 3.10 – Варіанти підбору полімерних матеріалів багат шарової структури

Полімерний матеріал	ПЕНГ	ЛПЕНГ	ПП	ПА	EVON
ПЕНГ, ЛПЕНГ	X	X	X	A	A
ПА	A	A	A	A	X
EVON	A	A	A	X	A

Примітка: X – без використання адгезиву; A – адгезив;

Згідно таблиці 3.10 полімерні матеріали, які близькі за своєю природою не потребують введення допоміжного сполучного шару (адгезиву). Але ті, що значно відрізняються за будовою, густиною, структуризацією потребують використання адгезивного матеріалу, яких повинен володіти однаковою адгезією до обох полімерних матеріалів. Тому у якості сполучного шару пропонується використання адгезиву німецького виробництва Admer AT2539E, що створений на основі модифікованого малеїнового ангідриду і демонструє хорошу адгезію з ПА, EVOH, ПЕ [41]

На основі отриманих експериментальних даних пункту 3.2, для збільшення міцності плівки при розтягуванні, стійкості до проколу, сили зварного з'єднання рекомендовано збільшення товщини ПА шару. З метою покращення механічних та фізичних властивостей, вміст ПА в структурі бар'єрної плівки повинен складати більше 20 %. Для виробництва бар'єрних плівок рекомендовано ПА марки Examid FWA [42] з вмістом скловолкна 50 %. Особливий тип полімерного матеріалу, який відповідає санітарним вимогам, не виділяє шкідливих речовин в гарячій і холодній воді, зберігає свої властивості при довгостроковій експлуатації. Характеризується високою міцністю та відносним видовженням, низьким кисне- та паропоглинанням, хімічною стійкістю, стійкістю до гідролізу, легкістю в переробці.

У якості бар'єрного шару проти проникнення кисню використано EVOH, рекомендовано марку EVAL, що призначений для екструзійного виробництва бар'єрних плівок. Характеризується високою стійкістю до проникнення кисню, вуглекислого газу, водяної пари, азоту. Згідно досліджень, збільшення товщини EVOH від 5 мкм до 15 мкм, знижує проникність кисню в 3 рази. Однією з умов використання EVOH при виробництві багат шарової плівки, використання цього полімерного матеріалу всередині структури плівки, так як EVOH має надмірну гігроскопічність. Група -ОН з'єднується з молекулами води утворюючи водневі зв'язки. EVOH має спорідненість з ПА, тому не потребує введення адгезиву між цими полімерними матеріалами [43].

Виходячи з даних літературного огляду, температура плавлення ПА матеріалу становить 180 °С, співполімеру етилен-вініловий спирт більше 164 °С, тому у якості матеріалу для зварювання використовуватиметься ПЕНГ, або ЛПЕНГ. Враховуючи фізико-механічні властивості обох матеріалів, використано ЛПЕНГ. Рекомендовано для використання ЛПЕНГ марки Sabic 2201TH12 з додатком анти-блок для пониження статичного та динамічного коефіцієнтів тертя. Призначений для виробництва плівок, які використовують при ламінації та бар'єрних плівок [44]. Плівка цієї марки, характеризується високою міцністю при розтягуванні, має відмінні оптичні властивості та низький коефіцієнт тертя.

Продукти харчування потребують поєднання відмінних фізико-механічних властивостей декількох полімерних матеріалів (таблиця 3.11).

Таблиця 3.11 – Аналіз полімерних матеріалів

Полімерний матеріал	Продукти харчування				
	Жировмісні продукти	М'ясні продукти	Молочні продукти	Сири	Риба
ПА	+	+	-	-	+
ЕВОН	+	+	+	-	+
ЛПЕНГ, ПЕНГ	+	+	+	+	+

За даними таблиці 3.11 більшість продуктів харчування потребують створення комбінованих пакувальних рішень для поєднання відмінних характеристик різних полімерних матеріалів в одну структуру.

Тому, для харчових продуктів, з урахуванням усіх експлуатаційних вимог (висока міцність, стійкість до проколу та сила зварного з'єднання) запропоновано семишарову середньобар'єрну плівку товщиною 100 мкм на основі ПА, ЛПЕНГ, ПЕ (вторинна сировина) створена рециклінгом, що значно збільшує економічний розвиток підприємства (рисунок 3.5).

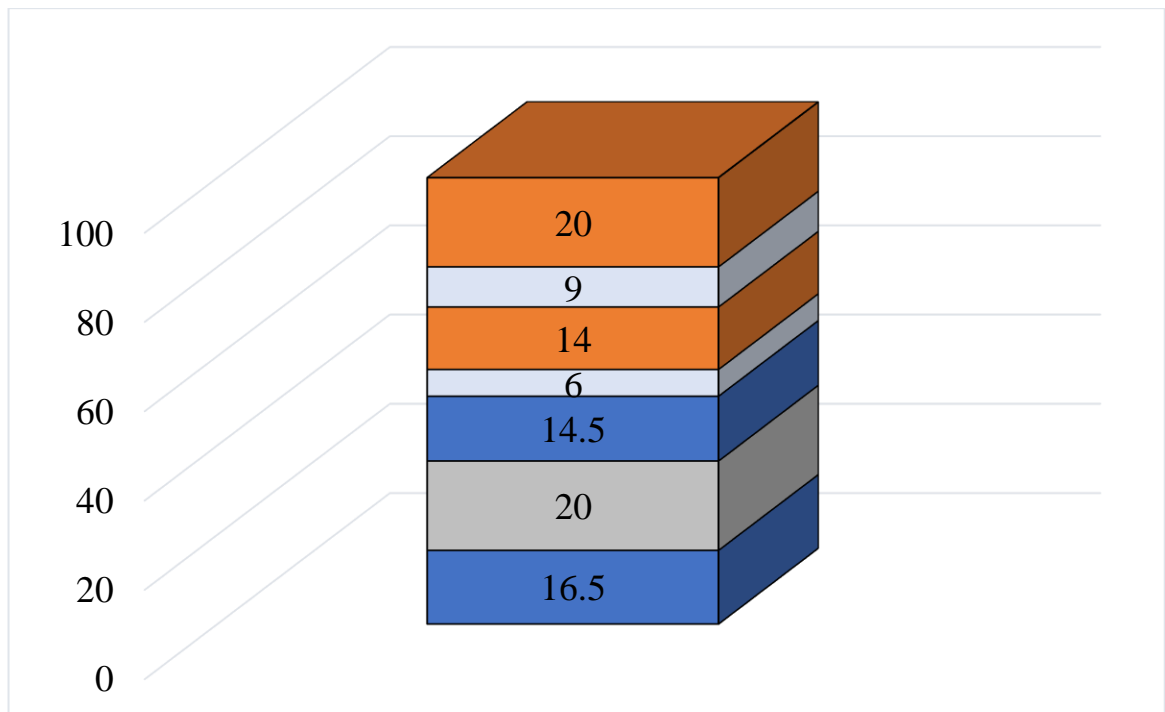


Рисунок 3.5 – Розподілення шарів середньобар’єрної плівки: ■ – ПА; □ – адгезив; ■ – ЛПЕНГ; ■ – ПЕ (вторинна сировина)

За даними рисунку 3.5 запропонована рецептура характеризується наявністю ПА шару, загальна товщина якого становить 34 мкм. Згідно результатів дослідження п. 3.2, для отримання бар’єрної плівки з високими фізико-механічними показниками масова частка (%) ПА в структурі пакувального матеріалу повинна складати більше 20 %.

У таблиці 3.12 наведено рекомендовану рецептуру середньобар’єрної плівки з використанням вторинної сировини.

Таблиця 3.12 – Рецептура середньобар’єрної плівки

Шар	Полімерний матеріал	Товщина, мкм	Густина г/см ³	Маса шару, г *	Об’ємна частка, %	Масова частка, %
1	2	3	4	5	6	7
A	ПА	20	1,140	22,8	20	22,8
B	Адгезив	9	0,926	8,3	9	8,3
C	ПА	14	1,140	16,0	14	16,0
D	Адгезив	6	0,926	5,6	6	5,6

Продовження таблиці 3.12

1	2	3	4	5	6	7
E	ЛПЕНГ	14,5	0,926	13,4	14,5	13,4
F	ПЕ вт.сир.	20	0,926	18,5	20	18,5
G	ЛПЕНГ	16,5	0,926	15,3	16,5	15,3
Всього		100		99,9	100	100

Примітка * – для розрахунку маси за об'єм взято 1 см³ плівки

За даними таблиці 3.12 масова частка (%) вторинної сировини складає 18,5 %, такий вміст вторинної сировини дозволить заощадити значну кількість первинних полімерних матеріалів у виробництві бар'єрних плівок для продуктів харчування [45].

Для харчових продуктів, для пакування яких необхідні високі фізико-механічні показники пакувального матеріалу та захист від проникнення кисню та водяної пари рекомендовано семишарову високобар'єрну плівку товщиною 100 мкм на основі ПА, ЛПЕНГ, EVOH (рисунок 3.6).

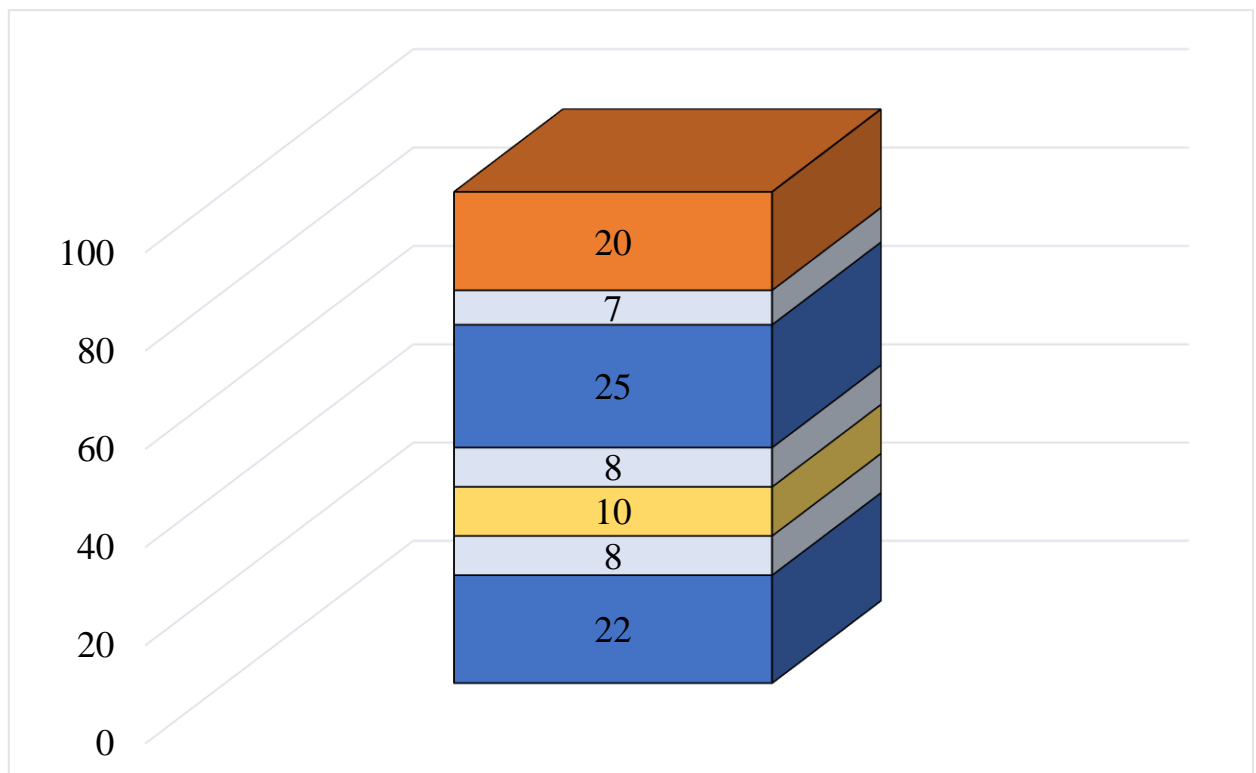


Рисунок 3.6 – Розподілення шарів високобар'єрної плівки №1: ■ – ПА; □ – адгезив; ■ – ЛПЕНГ;

За даними рисунку 3.6 структура запропонованої бар'єрної плівки містить 20 мкм ПА шару, такий вміст ПА шару забезпечить високу механічну стійкість пакувальних матеріалів [46,47]. Згідно експериментальних досліджень п. 3.3 рекомендована товщина EVOH в структурі бар'єрної плівки – 10 мкм, такий вміст забезпечить низьку киснепроникність. Рецептатура високобар'єрної плівки наведена у таблиці 3.13.

Таблиця 3.13 – Рецептатура високобар'єрної плівки №2

Шар	Полімерний матеріал	Товщина, мкм	Густина г/см ³	Маса шару, г *	Об'ємна частка, %	Масова частка, %
1	2	3	4	5	6	7
A	ПА	20	1,140	22,8	20	20,9
B	Адгезив	7	0,926	6,5	7	6,0
C	ЛПЕНГ	25	0,926	23,2	25	21,3
D	Адгезив	8	0,926	7,4	8	6,7
E	EVOH	10	1,170	11,7	10	10,7
F	Адгезив	20	0,926	18,5	20	16,9
G	ЛПЕНГ	22	0,926	20,3	22	18,6
Всього		100		110,4	100	100

Примітка * – для розрахунку маси за об'єм взято 1 см³ плівки

Для харчових продуктів, вимогою яких є відмінні механічні та бар'єрні властивості проти проникнення кисню та парів води запропоновано семишарову високобар'єрну плівку товщиною 100 мкм на основі ПА, EVOH, ЛПЕНГ (рисунок 3.7).

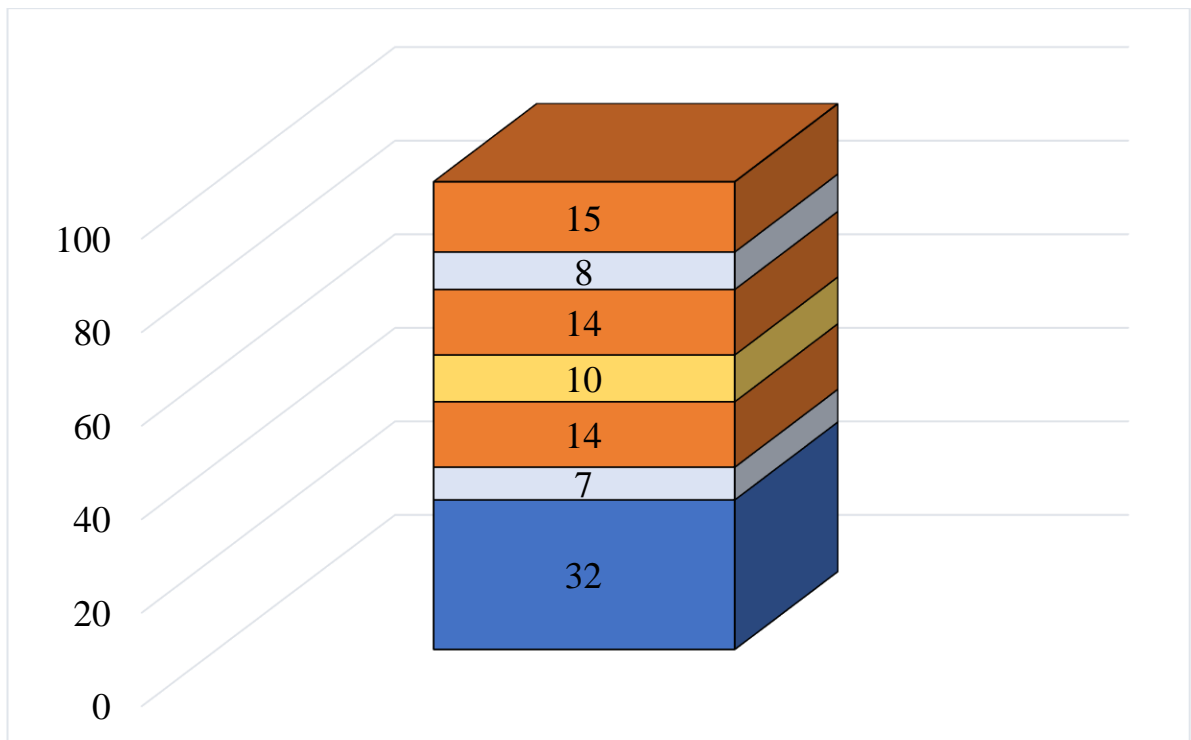


Рисунок 3.7 – Розподілення шарів високобар’єрної плівки №2: ■ – ПА; □ – адгезив; ■ – ЛПЕНГ;

За даними рисунку 3.7, вміст ПА шару високобар’єрної плівки №2 в порівнянні з високобар’єрною плівкою №1 збільшено в 2 рази. За даними експериментальних досліджень теоретично міцність при розтягуванні збільшиться від 20 МПа до 25 МПа, опір до проколу від 10 Н до 15 Н, сила зварного з’єднання від 5 Н/15 мм до 7,5 Н/15 мм. Рецептúra запропонованої високобар’єрної плівки з розподіленням шарів наведена у таблиці 3.14.

Таблиця 3.14 – Рецептúra високобар’єрної плівки №2

Шар	Полімерний матеріал	Товщина, мкм	Густина г/см ³	Маса шару, г *	Об’ємна частка, %	Масова частка, %
1	2	3	4	5	6	7
А	ПА	15	1,140	17,1	15	16,4
В	Адгезив	8	0,926	7,4	8	7,1
С	ПА	14	1,140	16,0	14	15,4

Продовження таблиці 3.14

1	2	3	4	5	6	7
D	ЕVОН	10	1,170	11,7	10	11,2
E	ПА	14	1,140	16,0	14	15,4
F	Адгезив	7	0,926	6,5	7	6,3
G	ЛПЕНГ	32	0,926	29,3	32	28,2
Всього		100		104,3	100	100

Примітка * – для розрахунку маси за об'єм взято 1 см³ плівки

Запропоновано семишарову високобар'єрну плівку товщиною 45 мкм для подальшого ламінування з біаксально-орієнтованою ПЕТФ плівкою. Рекомендований пакувальний матеріал складається з ПА, ЕVОН, ЛПЕНГ. На рисунку 3.8 наведено розподілення шарів запропонованої високобар'єрної плівки №3.

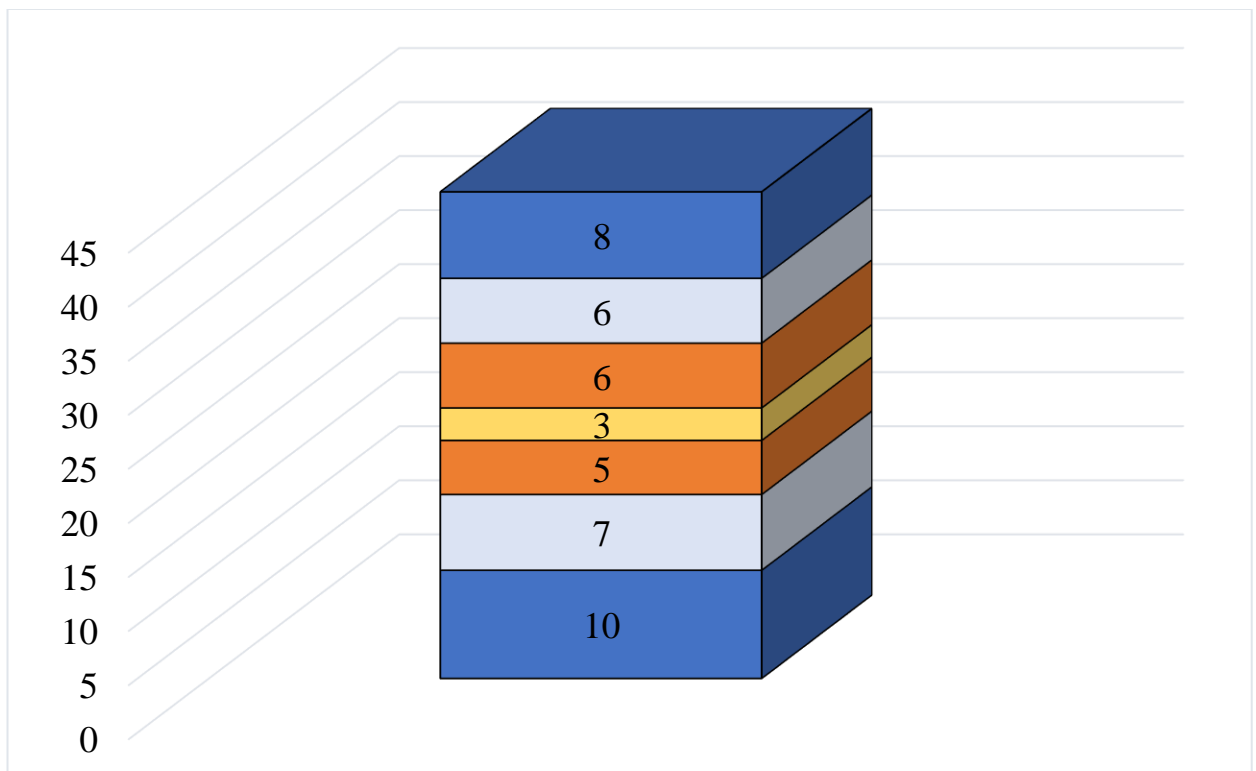


Рисунок 3.8 – Розподілення шарів високобар'єрної плівки №3 :■ – ПА; □ – адгезив;■ – ЛПЕНГ;

Згідно рисунку 3.8 шари ПЕ розміщено як зовнішній шар плівки, причина цього – здатність до адгезивного склеювання з ПЕТФ плівкою. Згідно

джерел науково-технічної інформації орієнтована ПЕТФ плівка володіє високими механічними, бар'єрними властивостями, хімічною стійкістю, високою прозорістю та блиском. [48]. У таблиці 3.15 наведено рецептуру високобар'єрної плівки, призначеної для ламінування з ПЕТФ плівкою.

Таблиця 3.15 – Рецептура високобар'єрної плівки №3

Шар	Полімерний матеріал	Товщина, мкм	Густина г/см ³	Маса шару, г *	Об'ємна частка, %	Масова частка, %
А	ЛПЕНГ	8	0,926	7,4	17,7	16,5
В	Адгезив	6	0,926	5,6	13,3	12,5
С	ПА	6	1,140	6,8	13,3	15,2
Д	ЕВОН	3	1,170	3,5	6,7	7,8
Е	ПА	5	1,140	5,7	11,1	12,7
Ф	Адгезив	7	0,926	6,5	15,6	14,5
Г	ЛПЕНГ	10	0,926	9,3	22,3	20,8
Всього		45	-	44,8	100	100

Примітка * – для розрахунку маси за об'єм взято 1 см³ плівки

В процесі ламінування відбувається склеювання пакувальних матеріалів в одну багатошарову структуру і як результат суміщення властивостей та характеристик двох субстратів. Орієнтовані ПЕТФ плівки використовують для нанесення різних видів друку з подальшим ламінуванням.

Запропоновані семишарові бар'єрні плівки виготовляють [49] видувною та плоскощілинною екструзією. На рисунку 3.9 представлена блок-схема виробництва бар'єрної плівки видувною та плоскощілинною екструзією. На рисунку 3.8 представлена блок-схема виробництва семишарової бар'єрної плівки методом екструзії.



Рисунок 3.9 – Блок-схема виробництва семишарової бар'єрної плівки

Екструзійне виробництво бар'єрних плівок, враховує певні критерії та методи оцінки ефективності [50]. Серед критеріїв оцінки ефективності процесу екструзії розрізняють кількісні, якісні та експлуатаційні [49]. До кількісних критеріїв належать технологічні параметри, що характеризують процес екструзії, такі як ступінь пластифікації, об'ємна та масова продуктивності екструзії. Серед якісних критеріїв виділяють розподіл та коливання температури переробки, ступінь поздовжнього і поперечного

перемішування. Експлуатаційні критерії ефективності характеризують автоматизацію виробництва. У таблиці 3.16 наведено технологічні параметри виготовлення бар'єрних плівок.

Таблиця 3.16 – Технологічні параметри виготовлення плівок

Параметр	Показник	Значення			
		Плівка №1	Плівка №2	Плівка №3	Плівка №4
Швидкість обертання шнека екструдера А	об/хв	60	60	60	40
Швидкість обертання шнека екструдера В	об/хв	40	40	40	40
Швидкість обертання шнека екструдера С	об/хв	60	40	60	50
Швидкість обертання шнека екструдера D	об/хв	40	40	60	50
Швидкість обертання шнека екструдера Е	об/хв	40	60	60	50
Швидкість обертання шнека екструдера F	об/хв	50	40	40	40
Швидкість обертання шнека екструдера G	об/хв	40	40	40	40
Швидкість намотування плівки	м/хв	4,5	4,5	4,5	4,5

У таблиці 3.17 наведено температуру по зонам нагріву екструдерів

Таблиця 3.17 – Температура нагріву по зонам екструдерів

Зона екструдера	Матеріал			
	ПА	ЕVОН	Адгезив	ЛПЕНГ
	Температура нагріву, °С			
1	210	160	130	130
2	220	150	140	140
3	210	150	140	140
4	200	140	140	140

Таким чином, на основі експериментальних досліджень фізико-механічних показників бар'єрних плівок в роботі сформульовані рекомендації створення багатофункціональних пакувальних матеріалів для харчових продуктів. Запропоновані бар'єрні семишарові плівки на основі ПА шару, що надає міцність та стійкість до механічних пошкоджень, ЕVОН характеризується високобар'єрними властивостями проти проникнення кисню, ЛПЕНГ має здатність до термозварювання при низьких температурах зварювання, також володіє високими бар'єрними властивостями проти проникнення водяної пари, ПЕ (вторинна сировина) як ресурсоощадний матеріал. Комбінування полімерних матеріалів дозволяє поєднати відмінні характеристики декількох полімерних матеріалів [50]. Виходячи з властивостей полімерних матеріалів, запропоновано схему та технологічні параметри виробництва семишарової плівки методом екструзії.

ВИСНОВКИ

Кваліфікаційна робота присвячена дослідженню фізико-механічних показників бар'єрної плівки для пакування харчових продуктів. Визначено тенденції розвитку виробництва полімерних матеріалів для бар'єрних плівок. Наведено основні вимоги, які застосовують до бар'єрних плівок. Вибрано та наведено характеристику основних фізико-механічних показників. Описано методики дослідження основних фізико-механічних показників та наведено відповідні нормативні показники. Охарактеризовано технологічні процеси виробництва, наведено технічні характеристики приладів дослідження.

З огляду науково-технічних джерел щороку відбувається стрімке зростає виробництва полімерних матеріалів для бар'єрних плівок. Близько 40 % виготовлених полімерних матеріалів використовують як пакувальний матеріал у харчовій промисловості. Зростання ринку бар'єрних пакувальних матеріалів у харчовій промисловості залежить від функцій, які вони виконують.

Виробництво бар'єрних плівок відбувається видувною та плоскощільною екструзією, що забезпечує високу продуктивність процесу, легкість виробництва, високе енергозбереження.

Якість бар'єрних плівок визначають фізико-механічні показники. Оцінка відповідності фізико-механічних показників полімерних плівок регламентовані згідно ТУ У 25.2.30960327-001:2009 «Плівки багат шарові пакувальні». В якості об'єктів дослідження використано основні фізико-механічні показники бар'єрної плівки: міцність при розтягуванні, відносне видовження, стійкість до проколу, сила зварного шва, киснепроникність, паропроникність. Для визначення властивостей бар'єрних плівок використано метод дослідження розроблений Американським товариством випробувань матеріалів (ASTM).

Міцність при розтягуванні та відносне видовження досліджено методом ASTM D 882-02 за допомогою розривальної машини Tinius Olsen H5K-T.

Результати дослідження показали, що присутність ПА шару в структурі плівки збільшує її основні фізико-механічні показники. Збільшення масової частки (%) ПА шару в структурі збільшує міцність при розтягуванні (МПа) у повздожньому (MD) та поперечному (TD) напрямках. Збільшення масової частки (%) EVOH на міцність плівки не впливає.

Стійкість до проколу досліджено методом ASTM F1306-90 за допомогою розривальної машини Tinius Olsen H5K-T та спеціальної установки для тестування бар'єрної плівки на прокол. Отримані дані показали, що плівки на основі ПА мають високі показники сили опору (Н) до проколів як внутрішньої, так і зовнішньої сторін. Збільшення товщини поліамідного шару в структурі від 20 мкм до 58 мкм збільшує опір до проколу у 2 рази. Збільшення товщини EVOH на опір до проколу плівки не впливає.

Визначення сили зварного з'єднання методом ASTM F 88-00 за допомогою термозварювальної машини Seal Tester SL-10, показало, сила зварного з'єднання поліамідних плівок, прямо пропорційна міцності плівки при розтягуванні. Присутність EVOH на силу зварного з'єднання не впливає.

Киснепроникність та паропроникність визначено розрахунковим методом масопереносу через окремі шари плівки. Згідно розрахунків, відмінними бар'єрними властивостями проти проникнення кисню володіють плівки, що містять у своїй структурі EVOH. Захисними бар'єрними властивостями проти проникнення водяної пари володіють поліетиленові плівки.

На основі експериментальних досліджень фізико-механічних показників бар'єрних плівок в роботі сформульовані рекомендації створення багатофункціональних пакувальних матеріалів для харчових продуктів. Запропоновані бар'єрні семишарові плівки на основі комбінування ПА, EVOH, ЛПЕНГ.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Авраменко В.Л. Технологія виробництва та переробки полімерів медико-біологічного призначення: [навч. посіб.] / В.Л. Авраменко, Л.П. Підгорна, Г.М. Черкашина, О.В. Близнюк. – Харків: Видавництво та друкарня «Технологічний Центр», 2018. – С. 7.
2. Абдель-Бари Е.М. Полимерные пленки / Е.М. Абдель-Бари [пер. с англ. Г. Е. Заикова]. – Санкт-Петербург: Проффесия, 2005. - С. 310-311.
3. Золотеев П.В. Новая экономика полимеров. / Золотаев П.В. // Упаковка. – 2018. – №6 – С. 30–31.
4. Кривошей В.Н. Маркетологи інформують / [авт.тексту В.Н. Кривошей]. – Ж.: Упаковка. – 2020. - №3. – С. 20–21.
5. Пиріков О.В. Огляд сучасних тенденцій використання полімерів у пакувальній галузі / О.В. Пиріков, Н.А. Ардатов. – Науковий вісник Полтавського університету споживчої кооперації України. – 2009. – №1. – С. –31.
6. Шендерівська Л.П. Тенденції розвитку ринку упаковки України / Л.П. Шендерівська // Науковий вісник Міжнародного університету. – 2013. – №1. – С. 7.
7. Теряева Т.Н. Технология получения и переработки литевых полимерных композиционных материалов конструкционного назначения на основе матриц различной природы / Теряева Т.Н. // Автореф. дис. докт. техн. наук. – АлГТУ им. И.И. Ползунова, Барнаул. – 2011. – С. 58.
8. Псарев Д.Н. Способы получения полимерных композиционных материалов / Д.Н. Псарев, В.В. Зайцев // Наука и Образование. – 2019. – № 4. – С. 273.
9. Телетов О.С. Інновація та розвиток людства. Історія і сучасність/ О.С. Телетов // Маркетинг і менеджмент інновацій. – 2011. – №4. – С. 13–24.
10. Телетов О.С. Упаковка як об'єкт інноваційного маркетингу/ О.С. Телетов // Маркетинг та менеджмент інновацій. – 2014. – №2. – С. 11.

11. Шульгіна Л.М. Механізм формування споживчої цінності упаковки як основа стратегії флексографічних підприємств / Конкурентні доміанти стратегічного розвитку підприємств: монографія // В.В. Дергачова, Н.О. Сімченко, К.О. Бояринова та ін. – Черкаси : Чабаненко, 2013. – С. 298–313.
12. Дайниченко Г.В. Пакувальні матеріали та обладнання в харчовій індустрії / Г.В. Дайниченко, Д.В. Горелков, Д.В. Дмитрівський. – Харків: ХДУХТ, 2017. – 10 с.
13. Ухарцева И. Ю. Полимерные упаковочные материалы для пищевой промышленности: классификация, функция и требования (обзор) / И.Ю. Ухарцева, Е.А. Цветкова, В.А. Гольдаде. - Гомель: Пластические массы. – 2019. – №9. – С. 56–57.
14. Загидуллин А.И. Влияние толщины слоя EVOH на барьерные и физико-механические характеристики многослойных барьерных пленок / Р.М. Гарипов, А.И. Хасанов, А.И. Гаделшина // Вестник технологического университета. – 2015. – Т.18 – №13. – С. 110.
15. Дишкантюк О.В. Використання полімерних комбінованих плівок у технології sousvide / О.В. Дишкантюк, А.І. Андріянова // Харчова наука і технологія. – 2017. – Т.11 – №1. – С. 70.
16. Многослойная барьерная пленка [Електронний ресурс]. – Режим доступу:<http://zpmsouz.com/products/polyetulenefilm/many-layer-film/film-barrier/> / дата звернення 15.11.2021 р.
17. Барьерная пленка [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://sirius.pro/barrier-film-ru/> / дата звернення 16.11.2021 р.
18. Темникова Н.Е. Многослойная пленка с барьерным слоем на основе полиамида / Н.Е. Темникова, А.А. Слесарева, Р.М. Гарипов, О.В. Стянов // Вестник технологического университета. – 2015. – Т.18. – №14. – С. – 66.
19. Суберляк О.В. Технологія переробки полімерних та композиційних матеріалів: підручник / О.В. Суберляк, П.І. Баштанник. – Львів: Растр. – 2015. – 456 с.

20. Lopez-Rubio A. Effect of high pressure treatments on the properties of EVOH-based food packaging materials. A. Lopez-Rubio, J.M. Lagaron, P. Hernandez-Munoz, E. Almenar, R. Catala, R. Gavara, MA. Pascall // *Innov. Food Sci. Emerg. Technol.* – 2005 – №6. – P. 51–58.

21. Власов С.В. Основы технологии переработки пластмасс: учеб. для вузов / С.В. Власов, Л.Б. Кандырин, В.Н. Кулезнев. – Москва: Химия, 2004. – 600 с.

22. Электромеханическая разрывная машина Tinius Olsen [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://granat-e.ru/tinius_olsen_h150-300ku.html / дата звернення 17.11.2021 р.

23. Любимцева, Е.С. Многокомпонентные биополимерные композиции и плёнки на их основе / Е.С. Любимцева, В.И. Чурсин // *Дизайн и технологии.* – 2017. – № 57 (99). – С. 65–73.

24. ASTM 2251-03 Standard Test Method for Thickness Measurement of Flexible Packaging Material. – American Society for Testing and Materials, 2001. – С. 124-128.

25. ASTM 2251-03 Standard Test Method for Thickness Measurement of Flexible Packaging Material. – American Society for Testing and Materials, 2001. – С. 124-128.

26. ASTM D 882-02 Standard Test Method for Tensile Properties of Thin Plastic Sheeting. – American Society for Testing and Materials, 2002. – С. 167–176.

27. ASTM F 88-9900 Standard Test Method for Seal Strength of Flexible Barrier Materials. – American Society for Testing and Materials, 2006. – С. 224 – 236.

28. ASTM F 1306-90 Standard Test Method for Slow Rate Penetration Resistance of Flexible Barrier Films and Laminates. – American Society for Testing and Materials, 1990. – С. 1325–1329.

29. Темникова Н.Е. Многослойная пленка с барьерным слоем на основе полиамида / Н.Е. Темникова, А.А. Слесарева, Р.М. Гарипов, О.В. Стянов // *Вестник технологического университета.* – 2015. – Т.18. – №14. – С. – 66.

30. Сербин, С.А. Изучение физико-механических свойств полимерных композиционных материалов, полученных на основе вторичных полиолефинов / С.А. Сербин, Я.А. Тиманцев, К.А. Яковлева, Н.В. Костромина, В.Н. Ивашкина // Успехи в химии и химической технологии. – 2018. – Т. 32. – № 6 (202). – С. 153–155.

31. Ключникова, Н.В. Полимерный композиционный материал на основе модифицированного полиимида / Н.В. Ключникова, С.А. Гордеев, М.Д. Гордиенко // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. – 2017. – № 12. – С. 126–129.

32. Beznaeva, O. Surface structure of electret polymeric materials in different process conditions by corona discharge / O. Beznaeva, I. Kirsh, O. Bannikova // Amazonia Investiga. – 2018. – Vol. 14. – №4. – P. 31–38.

33. Термосварочная машина Seal Tester SL-10 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.testingmachines.com/product/75-50-hot-tack-seal-tester-SL-10> / дата звернення 17.11.2021 р.

34. Колосов О.Є. Дослідження бар'єрних властивостей пакувальних полімерних пліткових матеріалів / О.Є. Колосов, О.Л. Сокольський, С.В. Малецький // Технології харчової, легкої та хімічної промисловості. – 2016. – №6. – С.9.

35. Тагер А.А. Физико-химия полимеров / А.А. Тагер. – Москва: Химия. – 2008. – С. 182–206.

36. Колосов О.Є. Обчислення коефіцієнта проникності крізь багат шарові структури пліткових пакувальних / О.Є. Колосов // Технологія пакування та зберігання пакованої продукції Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019. – 37 с.

36. Зелке С. Пластиковая упаковка / С. Зелке, Д. Кутлер, Р. Хернандес. пер. с англ. 2-го изд. под. ред. А. Л. Загорского, П. А. Дмитрикова. – Санкт-Петербург: Проффесия, 2011. 560 с

37. Патент №102095 Україна, МПК, В32В 27/08, В65D 65/40, С08J 5/18, В01J 20/28 Поглинаюча кисень пластикова структура/С.Є. Соловійов,

Т.Х. Пуерос; заявник і патентовласник Малтісорб текнелоджи інк. – № а 2010 12665; заявл. 05.01.2009; опубл. 10.06.2013, Бюл. №4. – 3 с.

38. Загидуллин А. И. Влияние толщины слоя EVOH на барьерные и физико-механические характеристики многослойных барьерных пленок / А. И. Загидуллин, Р.М. Гарипов, А.И. Хасанов, А.А. Ефремова // Вестник технологического университета. – 2015. – №13. – Т.18. – С. 110–113.

39. Чалых, Т.И. Регулирование физико-механических свойств вторичного полиэтилентерефталата путем химической и физической модификации / Т.И. Чалых, И.А. Кирш, В.В. Ананьев, Г.Е. Зайков // Вестник Казанского технологического университета. – 2015. – Т.18. - Вып. 7. – С. 79.

40. Колосов, О. Є. Технологія зберігання харчової продукції: неупакованої та упакованої із застосуванням полімерних плівкових матеріалів [Текст]: навч. посібн. / О. Є. Колосов, НТУУ «КПІ». – К.: ВПК «Політехніка», 2015. – 179 с.

41. Характеристика адгезивних матеріалів [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://admer.eu/user-data/downloads/AT2539E%20TDS.pdf> дата звернення 23.11.2021 р.

42. Поліамід марки Examid FWA [Електронний ресурс]. – Режим доступу:<https://materialwizard.com.ua/ua/polyamides/> дата звернення 23.11.2021 р.

43. Співполімер етилену та вінілового спирту [Електронний ресурс]. – Режим доступу:https://newchemistry.ru/letter.php?n_id=1512/ дата звернення 23.11.2021 р.

44. Крыжановский В. К. Производство изделий из полимерных материалов [Текст] / В. К. Крыжановский, М. Л. Кербер, В. В. Бурлов, А. Д. Паниматченко. – СПб.: Профессия, 2004. – 464 с.

45. Гарипов Р.М. Аналитический обзор по рецептурам многослойных барьерных термоусадочных пленок и технологиям их изготовления/ Р.М. Гарипов, О.В Стоянов, С.И Вольфсон //Научно технический отчет . – Казань, 2013. – 156 с.

46. Загидуллин, А.И. Контроль толщины слоев термоусадочных барьерных пленок / А.И. Загидуллин, Р.М. Гарипов, А.И. Хасанов, А.А. Ефремова // Вестник Казанского технологического университета. – 2014. – №14. – С. 278–280.

47. Колбина Е.Л. Оценка газопроницаемости многослойных полимерных пленок для упаковки пищевых продуктов / Е.Л. Колбина, Е.В. Фаренбрух // Материалы III заочной научно-практической конференции с международным участием «Полиграфия: технология, оборудование, материалы». – Омск: издательство ОмГТУ. – 2012. – С. 51–57.

48. Загидуллин А.И. Изучение влияния параметров сварки на барьерные свойства термоусадочных пакетов в условиях контакта с пищевой продукцией/А.И. Загидуллин, Р.М. Гарипов, А.И. Хасанов, А.А. Ефремова, А.Ю. Григорьев // Вестник Казанского технологического университета. – 2013. – Т.17, №7. – С. 160–163.

49. Комарова Н.Г. Композиционные материалы на основе вторичного полимерного сырья // Аллея науки. – 2017. – Т. 2. – № 16. – С. 209–212.

50. Калинина Н.К. Полимерные модификаторы для гидроизоляционных битумных материалов / Н.В. Костромина, В.С. Осипчик, Т.П. Кравченко, С.А. Сербин // Клеи. Герметики, Технологии. – 2017. – № 6. – С. 20–23.