

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ**

Інститут (факультет) ННІТІ ім.акад.І.С.Гулого

Кафедра Машин і апаратів харчових та фармацевтичних виробництв

«До захисту в ЕК»

Директор інституту(декан факультету)

Сергій Блаженко
(підпис) (прізвище та ініціали)

«__» _____ 2023 р.

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри МАХФВ

Олександр Гавва
підпис) (прізвище та ініціали)

«__» _____ 2023 р.

**КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
НА ЗДОБУТТЯ ОСВІТНЬОГО СТУПЕНЯ МАГІСТРА**

зі спеціальності 133 «Галузеве машинобудування»
(код та назва спеціальності)

освітньо-професійної програми Інжиніринг фармацевтичних та біотехнологічних виробництв

на тему: Обґрунтування структури та фізико-механічних властивостей розтягувальної полімерної плівки із добавками вторинної сировини для скріплення тарних вантажів на піддоні

Виконав: здобувач 2 курсу, групи ОФ-2-6М

Аліпатова Марія Русланівна

(прізвище, ім'я, по батькові повністю)

(підпис)

Керівник Кулик Наталія Вікторівна

(прізвище, ім'я, по батькові повністю)

(підпис)

Консультант Гавва О.М.

(прізвище та ініціали)

(підпис)

Рецензент Пригодій Д.В.

(прізвище та ініціали)

(підпис)

Я як здобувач(ка) Національного університету харчових технологій розумію і підтримую політику університету з академічної доброчесності. Я не надавав(-ла) і не одержував(-ла) недозволеної допомоги під час підготовки цієї роботи. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело

Здобувач _____

(підпис)

Київ – 2023 р.

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Інститут (факультет)	<i>ННІТІ ім.акад. І.С. Гулого</i>
Кафедра	<i>Машин і апаратів харчових та фармацевтичних виробництв</i>
Освітній ступінь	<i>Магістр</i>
Спеціальність	<i>133 «Галузеве машинобудування» (код і назва)</i>
Освітньо-професійна програма	<i>Інжиніринг фармацевтичних та біотехнологічних виробництв (назва)</i>

ЗАТВЕРДЖУЮ

**Завідувач
кафедри**

«_____» _____ **2023 року**

ЗАВДАННЯ

НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧА

Аліпатової Марії Русланівни

(прізвище, ім'я, по батькові)

На тему: *Обґрунтування структури та фізико-механічних властивостей розтягувальної полімерної плівки із добавками вторинної сировини для скріплення тарних вантажів на піддоні*

керівник роботи *Кулик Н.В. доц. к.х.н.*

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом закладу вищої освіти від 07 листопада 2022р. № 794-кв

2. Строк подання здобувачем роботи *07.02.2023 р.*

3. Вихідні дані до роботи: *Об'єкт дослідження – розтягувальна полімерна плівка із добавками матеріалів вторинної переробки*

4.Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)

Анотація. Вступ. Аналіз технологій та технічних засобів для скріплення тарних вантажів. Аналіз обладнання для виготовлення стретч-плівки

Фізико-механічні властивості стретч-плівок. Методики та лабораторне

обладнання для їх визначення. Експериментальні дослідження, результати та їх аналіз. Висновки. Список використаної літератури

5. Перелік графічного матеріалу

1. Діаграми результатів фізико-механічних властивостей.

2. Схеми виготовлення стретч-плівки.

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв
<i>Розділ 1.</i>	<i>Гавва О.М.</i>		
<i>Розділ 2.</i>	<i>Гавва О.М.</i>		
<i>Розділ 3.</i>	<i>Гавва О.М.</i>		
<i>Розділ 4.</i>	<i>Гавва О.М.</i>		

7. Дата видачі завдання 02.11.2022 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

Пор.№	Назва етапів виконання кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1.	<i>Аналіз технологій та технічних засобів для скіплення тарних вантажів</i>	<i>25.10.22</i>	<i>Виконано</i>
2.	<i>Основні технології та обладнання для виготовлення стретч плівки, в тому числі із додаванням вторинної сировини</i>	<i>5.11.22</i>	<i>Виконано</i>
3.	<i>Фізико-механічних властивості стретч плівок. Методики і лабораторне обладнання для визначення</i>	<i>15.12.22</i>	<i>Виконано</i>
4.	<i>Експериментальні дослідження. Результати та їх аналіз.</i>	<i>25.12.22</i>	<i>Виконано</i>
5.	<i>Висновки</i>	<i>31.12.22</i>	<i>Виконано</i>

Здобувач

Аліпатова М.Р.

Керівник роботи

Кулик Н.В.

Заява про нерозголошення

Ця робота ґрунтується на конфіденційних, внутрішніх даних Dow Europe GmbH і з цієї причини не може бути перевірена третіми особами без згоди автора та Dow Europe GmbH - за винятком наукових консультантів або наукових співробітників, яким це доручено в рамках процедури експертизи, екзаменаторів, членів екзаменаційної комісії, а також співробітників університету, які беруть участь у процедурі експертизи, а в разі виникнення правового спору - юридичний відділ Національного університету харчових технологій, адвокати, експерти та суди, що беруть участь у цій процедурі. Починаючи з п'яти років після закінчення терміну публікації, ця наукова робота більше не підлягає засекречуванню.

АНОТАЦІЯ

Метою роботи є дослідження впливу матеріалів вторинної переробки на структуру та фізико-механічні властивості 5-ти шарових каст та видувних стретч-плівок для скріплення тарних вантажів на піддоні.

При виконанні роботи досліджено фізико-механічні властивості видувних та каст стретч-плівок із додаванням матеріалів вторинної переробки.

Зроблено висновок, що стретч-плівки із додаванням до 50% матеріалів вторинної переробки є перспективними для ефективного використання для скріплення тарних вантажів на піддоні за умови відповідного моделювання рецептури стретч-плівки з використанням певних первинних полімерів у шарах плівки.

Ключові слова: стретч-плівка, полімер, фізико-механічні властивості, вторинна переробка, екструзія

Abstract

The aim of the work is to study the effect of recycled materials on the structure and physical and mechanical properties of 5-layers casts and blown stretch films for fastening containers on a pallet.

During the work fulfilment, the physical and mechanical properties of blown and cast stretch films with the addition of recycled materials were investigated.

It was concluded that the stretch films with the addition of up to 50% of recycled materials are prospective to be effectively used for fastening containers on a pallet, provided the appropriate modeling of the stretch films formulation using certain primary polymers in the film layers.

Key words: stretch-film, polymer, physical and mechanical properties, recycling, extrusion

ЗМІСТ

Вступ	10
Співпраця з DOW Chemical Iberica	12
1. Аналіз технологій та технічних засобів для скріплення тарних вантажів	14
1.1. Загальна характеристика технологій скріплення тарних вантажів на піддонні стретч-плівкою	14
1.2. Типові конструкції машин для скріплення тарних вантажів стретч-плівкою на піддоні	19
1.3. Характерні типи плівок і їх фізико-механічні властивості для скріплення тарних вантажів на піддоні	24
1.4. Тенденції застосування стретч-плівки як засобу скріплення тарних вантажів на піддоні	24
2. Основні технології та обладнання для виготовлення стретч плівки, в тому числі із додаванням вторинної сировини	28
2.1. Виготовлення стретч-плівки, в тому числі із додаванням вторинної сировини за технологією поливної (cast) екструзії	28
2.2. Виготовлення стретч-плівки, в тому числі із додаванням вторинної сировини за технологією видувної (blown) екструзії	31
3. Фізико-механічних властивості стретч плівок. Методики і лабораторне обладнання для визначення	35
3.1 Загальна характеристика фізико- механічних властивостей стретч-плівки для скріплення транспортних пакетів	35
3.2 Методика та лабораторне обладнання для визначення максимального відносного видовження та міцності на розрив видувної та каст стретч-плівки.	38
3.2.1 Високошвидкісна камера для аналізу форми розриву видувної та каст стретч-плівки при скріпленні тарних вантажів	41
3.3 Методика та лабораторне обладнання для визначення міцності на прокол видувної та каст стретч-плівки	42
3.4 Методика та лабораторне обладнання для визначення максимального утримання видувної та каст стретч-плівки	43
3.5 Методика та лабораторне обладнання для визначення міцності на роздир видувної та каст стретч-плівки	45

3.6 Методика та лабораторне обладнання для визначення максимального розтягу видувної та каст полімерної стретч-плівки	46
3.7 Методика та лабораторне обладнання для визначення максимальної клейкості видувної та каст стретч-плівки	47
3.8 Методика та лабораторне обладнання для визначення відносної кількості геліків у видувної та каст стретч-плівки	51
4. Експериментальні дослідження. Результати та їх аналіз.	53
4.1. Результати та аналіз досліджень каст стретч-плівки з додаванням матеріалів вторинної переробки	53
4.1.1 Визначення максимального відносного видовження та міцності на розрив каст стретч-плівки із додаванням матеріалів вторинної переробки	56
4.1.2. Визначення міцності на прокол каст стретч-плівки із додаванням матеріалів вторинної переробки	57
4.1.3. Визначення максимального утримування каст стретч-плівки із додаванням матеріалів вторинної переробки	58
4.1.4. Визначення міцності на роздир каст стретч-плівки із додаванням матеріалів вторинної переробки	59
4.1.5. Визначення максимального розтягу каст стретч-плівки із додаванням матеріалів вторинної переробки	60
4.1.6 Визначення міжшарового зчеплення каст стретч-плівки із додаванням матеріалів вторинної переробки	62
4.1.7. Визначення відносної кількості геліків у каст стретч-плівках із додаванням матеріалів вторинної переробки	63
4.2. Результати та аналіз досліджень видувної стретч-плівки з додаванням матеріалів вторинної переробки	66
4.2.1 Визначення максимального відносного видовження та міцності на розрив видувної стретч-плівки із додаванням матеріалів вторинної переробки	66
4.2.2. Визначення міцності на прокол видувної стретч-плівки із додаванням матеріалів вторинної переробки	67

4.2.3. Визначення максимального утримування видувної стретч-плівки із додаванням матеріалів вторинної переробки	68
4.2.4. Визначення міцності на роздир видувної стретч-плівки із додаванням матеріалів вторинної переробки	69
4.2.5. Визначення максимального розтягу видувної стретч-плівки із додаванням матеріалів вторинної переробки	69
4.2.6. Визначення міжшарового зчеплення видувної стретч-плівки із додаванням матеріалів вторинної переробки	70
4.2.7. Визначення відносної кількості геліків у видувних стретч-плівках із додаванням матеріалів вторинної переробки	70
4.3. Порівняння результатів дослідження для каст та видувних плівок із додаванням матеріалів вторинної переробки	72
4.4. Методика оброблення результатів дослідження	73
4.4.1. Методика оброблення результатів дослідження для каст стретч-плівок із додаванням матеріалів вторинної переробки	76
4.4.2. Методика оброблення результатів дослідження для видувних стретч-плівок із додаванням матеріалів вторинної переробки	77
Висновки	78
Список використаної літератури	80
Додатки	84

ВСТУП

Метою роботи є дослідження впливу матеріалів вторинної переробки на структуру та фізико-механічні властивості каст та видувних стретч-плівок для скріплення тарних вантажів на піддоні.

В умовах впровадження економіки замкнутого циклу у 2018 р. Європейська Комісія прийняла новий комплекс заходів – Circular Economy Package, спрямований на реалізацію Плану дій для економіки замкнутого циклу. Загальноєвропейська Стратегія ЄС щодо полімерів у циркулярній економіці, спрямована на зміну способів розроблення, виробництва, використання та перероблення полімерів і виробів з полімерів. Стратегія встановлює, що до 2030 р. вся упаковка з полімерів має бути придатна до перероблення. Зокрема, передбачається наступне бачення економічної політики щодо полімерів:

- виробництво пластмас та виробів, що містять пластмаси, передбачає забезпечення більшої міцності, сприяє повторному використанню та якісному переробленню. До 2030 р. вся полімерна упаковка, розміщена на ринку ЄС, підлягає багаторазовому використанню або може бути перероблена економічно ефективним способом;

- зміни у виробництві та дизайні дозволять підвищити рівень перероблення полімерів у всіх ключових сферах його застосування.

До 2030 р. більш ніж половина відходів полімерів, що утворюються в Європі, мають перероблятися, забезпечуватиметься високий рівень роздільного збирання відходів полімерів, а перероблення відходів упаковки з полімерів досягне рівня, порівнянного з рівнем перероблення інших пакувальних матеріалів;

- мають бути збільшені та модернізовані потужності з перероблення полімерів у ЄС. До 2030 р. передбачається зростання потужностей із сортування та перероблення у чотири рази порівняно з 2015 р.;

- припинення експорту погано відсортованих відходів полімерів завдяки покращенню роздільного збирання;

- створення інтегрованого ринку полімерів – забезпечення умов співпраці хімічної промисловості з переробниками пластмас, щоб допомогти знайти ширші можливості використання. Речовини, що стримують процеси перероблення полімерів, мають бути замінені;

- зростання ринку перероблених та інноваційних пластмасових виробів;

- зростання перероблення полімерів допомагатиме зменшити залежність Європи від імпортного викопного палива та скоротити викиди CO₂, відповідно до зобов'язань, передбачених Паризькою угодою та ін.

Зростаючий попит на стійкі рішення для пакування чинить тиск на весь ланцюжок поставок, щоб знайти рішення, що придатні для вторинної переробки. Тому було вирішено розробити рецептури нових стретч-плівок із включенням до 50% матеріалів вторинної переробки. Таке зростання тенденції спричинено сучасними нормам ЄС, які вимагають включення перероблених матеріалів в нехарчову упаковку, а також відповідно до цілей власників брендів щодо нульового викиду CO₂ до 2030 року.

Під час цього проекту важливо було дослідити фізико-механічні властивості стретч-плівки із додаванням матеріалів вторинної переробки.

Отримані результати дозволяють оцінити вплив матеріалів вторинної переробки та зробити прогнози щодо розвитку ринку стретч-плівки у майбутньому.

СПІВПРАЦЯ З DOW CHEMICAL IBERICA

Проект виконувався у співпраці з компанією Dow Chemical Iberica S.L. в рамках бізнесу з виробництва упаковки та спеціальних пластмас у відділі технічних розробок та інновацій (TS&D) у місті Таррагона. Для реалізації емпіричної та літературної роботи були використані широкі знання експертів у галузі, широко доступні ресурси та обладнання, а також найширший асортимент полімерів, клеїв та покриттів у хімічній галузі.

Dow - американська багатонаціональна матеріалознавча компанія, заснована хіміком Гербертом Генрі Дау в 1897 році. Компанія починала з виробництва відбілювача та бромиду калію. З роками компанія розширила свою діяльність на різних ринках і сьогодні Dow виробляє полімери, хімікати та сільськогосподарську продукцію. Наразі Dow має 104 виробничі майданчики в 31 країні світу, на яких працює близько 35 700 осіб. Dow є лідером у галузі матеріалознавства з оптимізованим портфелем, що складається з шести глобальних бізнес-підрозділів, які поєднують найсильніший та найбільш інтегрований портфель матеріалів з трьома ринковими вертикалями: упаковка, інфраструктура та сервіс. Компанія посідає 3-тє місце у світовому рейтингу хімічних компаній за обсягом обороту.

Підрозділ упаковки та спеціальних полімерів є найбільшим в Dow і поєднує в собі основні сильні сторони науково-дослідних та дослідно-конструкторських робіт (НДДКР), всесвітню присутність, широку продуктову лінійку та галузеві знання для забезпечення високоефективних технологій для ринків збуту. Робота була виконана під час проходження стажування у R&D центрі компанії Dow Chemical, Таррагона, в рамках науково-дослідного проекту, основною метою якого є вдосконалення існуючих застосувань різних марок полімерів компанії для виготовлення стретч-плівок з використанням вторинної сировини.

Хочу висловити особливу подяку Штефану Юнге, професору Берлінського університету прикладних наук, який сприяв організації мого стажування у компанії Dow Chemical в рамках багатогранної та плідної співпраці між

Національним університетом харчових технологій та Берлінським університетом прикладних наук.

Також я вдячна моїм керівникам стажування від Dow Chemical Company Сальмі Ель Маррезе, Ізабель-Марії Арройо та Лаурі Евангелії за знання та досвід, якій я отримала при виконанні роботи.

1. АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЙ ТА ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ ДЛЯ СКРІПЛЕННЯ ТАРНИХ ВАНТАЖІ

1.1. Загальна характеристика технологій скріплення тарних вантажів на піддонні стретч-плівкою плівкою.

Останім часом у світовій практиці в якості пакувальних матеріалів досить широко розповсюджене використання полімерних пакувальних плівок, а саме: стретч-плівок, та термоусаджувальних, що розтягуються. Вони порівняно недорогі, мають невеликий об'єм та достатньо міцні.

Серед цих плівок найбільш поширеними є стретч-плівки, котрі використовуються для створення із споживчих упаковок або непакової поштучної продукції групової упаковки методом скріплення. При створенні таких упаковок можуть використовуватись допоміжні допоміжні пакувальні матеріали, зокрема лотки або піддони.

Використання полімерних плівок для пакування тарних вантажів на піддоні дозволяє не тільки захистити продукцію від зовнішніх впливів, але і зберегти її якість. Завдяки незначній масі плівкова упаковка є економічно вигідною.

Для виготовлення пакування застосовуються:

- одношарові плівкові матеріали;
- багатошарові плівкові матеріали;
- комбіновані пакувальні матеріали.

Одношарові плівкові матеріали розділяються на групи в залежності від матеріалу виготовлення:

- плівки з поліолефінів (еластичні, міцні в широкому діапазоні температур, вологостійкі, хімічно інертні, відрізняються низькою вартістю, відносною простотою технології виготовлення і використання);
- плівки з полівінілхлориду
- плівки з полістиролу
- плівки з поліамідів
- плівки з поліефірів (відрізняються прозорістю, блиском, високою міцністю, хімічною стійкістю, тепло- і морозостійкістю, низькою паро-, водо- і газопроникністю, але погано зварюються і недостатньо дешеві);

– плівки на основі целюлози (прозорі, мають блискучу поверхню, мають високі фізико-механічні показники). Багатошарові плівкові матеріали (БПМ) складаються з декількох шарів різних полімерів.

Засоби пакування - це всі несучі скріплювальні засоби, що забезпечують стійкість і міцність пакета. Залежно від призначення, виду, конструкції, місця в системі обігу вантажів засоби пакування дуже відрізняються один від одного (піддон, стропа, плівки, сітки, клеї) (рис 1.1.)

Основним і найбільш універсальних несучих засобів пакування є піддон. Піддон служить міцною основою для вкладання вантажів у пакети і одночасно вон є зручним пристосуванням для прийому і переміщення пакетів вилковими навантажувачами, кранами та іншими.

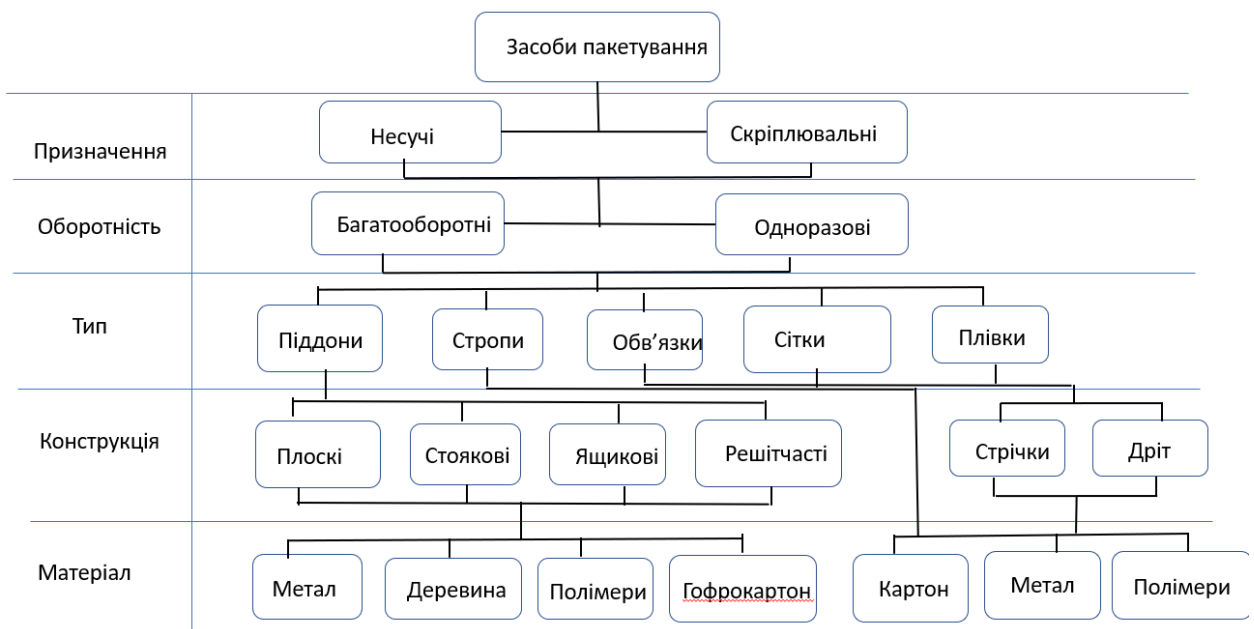


Рисунок 1.1. Класифікація засобів пакування

Різноманітність номенклатури вантажів та операцій викликала необхідність створення піддон них різних конструкцій і видів: плоских, стоякових, ящикових, решітчастих. З цього переліку найбільш широко в механізованих комплексах застосовують плоскі піддони.

Плоский піддон це горизонтальна площадка з висотою мінімальної з точки зору габариту і достатньою з точки зору можливості складської обробки пакетів за допомогою вилкових механічних засобів. (рис 1.2)



Рисунок 1.2. Приклад скріплення тарних вантажів на піддоні

Процес формування транспортних пакетів складається з трьох основних технологічних операцій: підготовки вантажних одиниць до пакетування, вкладень їх за певною схемою в пакет і скріплення пакета. Ці операції повинні забезпечувати отримання достатньо міцних і стійких пакетів, здатних сприймати без ознак руйнування структури поздовжні, поперечні, вертикальні статичні та динамічні навантаження, що діють під час їх перевезення та виконання НРТС-робіт.

Операції формування та скріплення транспортних пакетів при значних обсягах пакетних перевезень і забезпечуються в повній мірі тільки за умови включення відповідних пристроїв і машин у загальну технологічну лінію виробництва продукції.

Поняття стійкості і міцності транспортного пакету вантажів тісно переплетені. Під стійкістю пакета розуміють його здатність зберігати надану форму та геометричні розміри протягом всього циклу НРТС операцій (рис 1.3).



Рисунок 1.3. Зліва приклад правильного скріплення тарних вантажів на піддоні, справа- провальний приклад.

Міцність пакета пов'язана перш за все з міцністю тари одиничного вантажу, що обмежує висоту стопи або штабеля в пакеті. Цей фактор вирішально впливає на структуру пакета. У випадках багатоярусного складування або перевезення транспортних пакетів постає питання про достатню міцність найближчого пакета, з яким пов'язане поняття вантажопідйомності пакета. В будь-якому випадку постає питання вантажопідйомності піддона.

Стійкість і міцність транспортних пакетів повністю забезпечується несучими зі скріплюваними засобами пакування. На рис 1.4 наведено класифікацію засобів скріплення транспортних пакетів. Відмова від використання піддонів під час пакетних перевезення вантажів дає помітну економію корисного об'єму транспортних засобів від складських приміщень, але такі технології потребують засобів скріплення, які б виконували і несучі функції.

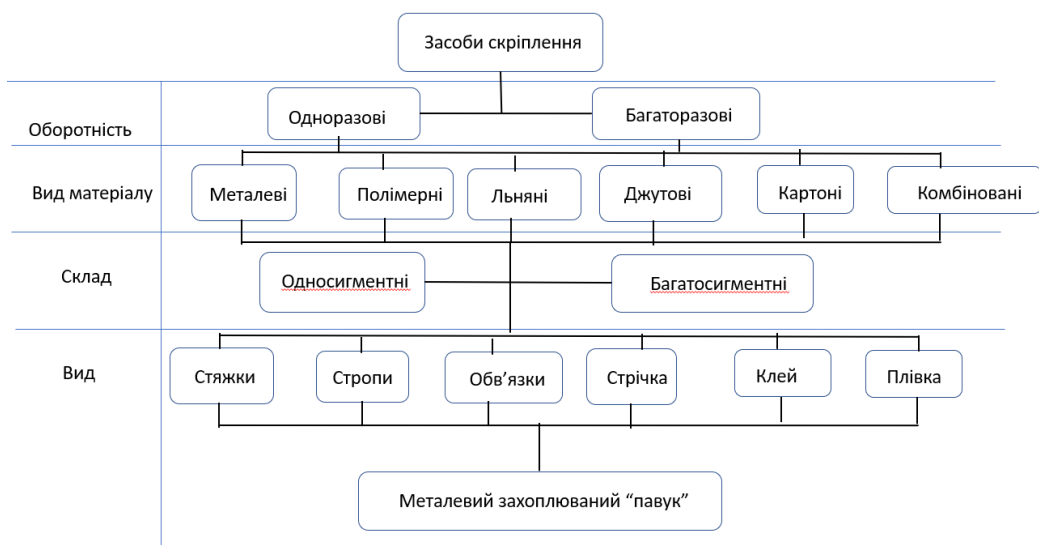


Рисунок 1.4. Класифікація засобів скріплення транспортних пакетів

1.2. Типові конструкції машин для скріплення тарних вантажів стретч-плівкою на піддоні

Асортимент представлених на ринку машин для пакування в стретч-плівку обмежується трьома варіантами:

- ручні машини для обмотування стретч плівкою
- напівавтоматичні пакувальні машини
- (повністю) автоматичні пакувальні машини.

Ручні машини для обмотування стретч плівкою

Ручні машини для обмотування стретч плівкою в основному використовуються для невеликих виробництв з невеликою пропускною здатністю - близько 20 палет/день. Мобільні ручні диспенсери складаються з кріплення, на якому можна прикріпити і зафіксувати рулони плівки, і двох ручок, які дозволяють вручну розмотувати плівку.

Спочатку працівник прикріплює плівку до підніжжя палети, потім обходить стаціонарний завантажувальний вузол з диспенсером і накладає обмотки. На завершення плівка розрізається. Результат багато в чому залежить від можливостей окремого працівника (різне розширення, різний ступінь перекриття).

Ручну машину можна охарактеризувати наступним чином:

- підходить для ручної розтяжки плівок шириною від 450 мм до 500 мм
- регулюється по висоті, при необхідності, для вузьких і широких бобін
- підходить для бобін з діаметром сердечника між 38 мм і 80 мм (зазвичай 76 мм)
- має гальмо рулону плівки для зменшення витрати матеріалу
- має кульковий підшипник для легкого розмотування

Машини для ручної стретч-плівки є подальшим розвитком комбінації ручного дозатора та поворотного столу. Найпростіший варіант ручної машини для стретч-плівки складається з поворотної платформи з моторним приводом.

Після розміщення завантажувального блоку плівка розмотується з рулону та прикріплюється до піддону. Потім поворотний стіл приводиться в рух за допомогою ногого перемикача, а бобіна стретч плівки обертається вручну (рис 1.5).



Рисунок 1.5. Ручна машина для стретч плівки з поворотною платформою

В іншій версії рулон плівки не обертається оператором, а прикріплена до кріплення, яке можна піднімати та опускати вручну вздовж валу (рис 1.6).



Рисунок 1.6. Машина для стретч плівки з поворотною платформою та ручним направленням плівки

Спочатку блок завантаження розташовується на поворотній платформі. Початок плівки розмотується з рулону і прикріплюється до ніжки піддону. Потім поворотний стіл приводиться в рух, і піддон загортається вручну підйомом і опусканням каретки для плівки. При ручному обмотуванні рекомендується застосування попередньо розтягнутої плівки оскільки

звичайна стандартна машинна плівка часто не може забезпечити відповідний захист. Завдяки великій кількості індивідуальних факторів (наприклад, різна кількість обмоток, різне видовження, що застосовується операторами, нерівномірний ступінь перекриття, можливі вільні простори всередині обмотки), надійність кінцевого захисту не може бути гарантована.

Ручне обмотування може використовуватися для пропускної здатності до 50 палет/день.

Напівавтоматичні пакувальні машини

Напівавтоматичні машини для обмотування стретч-плівкою характеризуються механізованою кареткою з плівкою. Після отримання дозволу від оператора процес обмотування здійснюється автоматично, вручну необхідно виконувати тільки завантаження і розвантаження машини, а також кріплення і відрив плівки. Початок плівки розмотується з бобіни і прикріплюється до підніжжя піддону або до місця кріплення на поворотному столі. Потім поворотний стіл або обертовий кронштейн приводиться в рух, і піддон обмотується за рахунок підйомних і опускних рухів каретки з плівкою. Нарешті, плівка відрізається оператором, а кінцева частина заправляється під аркуш плівки. Напівавтоматичні стретч-пакувальні машини можуть працювати за принципом поворотного столу а також доступні у версії самохідного робота (Рис 1.7 – Рис 1.9). Цей рівень автоматизації підходить для пропускної здатності до 20 палет/год.



Рисунок 1.7. Напівавтоматична котушка для поворотних столів



Рисунок 1.8. Напівавтоматичний намотувач з поворотною рукою



Рисунок 1.9. Напівавтоматичний намотувально-розтяжний робот

Автоматичні пакувальні машини

Автоматичні пакувальні машини є подальшим розвитком напівавтоматичних пакувальних машин. Такі дії, як завантаження і розвантаження машини, позиціонування початку плівки, відрив кінця плівки, здійснюються автоматично.

Автоматичні пакувальні машини випускаються в наступних модифікаціях:

- поворотний принцип (обертовий завантажувальний блок,

рис. 1.10) продуктивність: до 40 палет/год (продуктивність обмежена відцентровими силами, що діють на пакувальні вироби);

- принцип обертового маніпулятора (стаціонарний завантажувальний вузол, рис 1.11) продуктивність: до 120 палет/год ;

- принцип переміщення (стаціонарний завантажувальний вузол, рис 1.12), продуктивність: до 120 палет/год.

Кількість ножних і головних обмоток, намотування швидкість намотування, крок плівки і натяг плівки можуть бути збережені в програмі для подальшого виклику системою управління машиною. Таким чином, можуть бути створені індивідуальні програми для різних завантажувальних пристроїв, які потім доступні на вимогу.

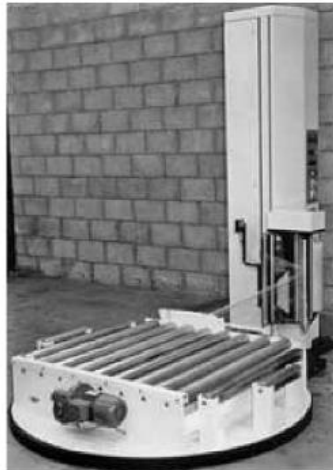


Рисунок 1.10. Автоматичний намотувач



Рисунок 1.11. Автоматичний намотувач рукавів, що обертається



Рисунок 1.12. Автоматичний намотувач

Спочатку піддон подається до стретч-плівки, потім автоматично прикріплюється початок плівки, і відбувається обробка за попередньо обраною програмою. Після цього плівка автоматично відрізається і прикріплюється до обмотуваної вантажної одиниці за допомогою притискання або зварювання.

1.3. Характерні типи плівок і їх фізико-механічні властивості для скріплення тарних вантажів на піддоні

Поліетилен низької густини (ПЄНГ) найчастіше використовується як основний матеріал для стретч-плівки. Тонка, еластична плівка, що розтягується, зазвичай має багатошарову структуру, де окремі шари мають різний склад і характеристики. Ці характеристики визначаються типом полімеру і процесом виробництва. Існує два різних способи виробництва стретч-плівки: процес лиття (співекструзія кількох шарів через щільну головку; отримана плівка має хороші допуски по товщині, хороші оптичні властивості та хороші характеристики адгезії) та формування видувом (співекструзія кількох шарів через кільцеву матрицю; отримана плівка має більш високу міцність). Для скріплення тарних вантажів на піддоні використовують стретч-плівку товщиною від 7 мкм до 15 мкм для ручного застосування та стретч-плівку товщиною від 17 мкм до 35 мкм для автоматичного застосування.

Основними фізико-механічними характеристиками та їхніми граничними діапазонами для стретч-плівок є наступні:

- напруження до розтягування (150%-350%)
- стійкість до розриву (25 кг – 65 кг)
- опір роздиранню (350 г -650 г)
- міцність на прокол (40 Н – 80 Н)
- зчеплення між поверхнями при формуванні вантажу (35 г – 105 г).

1.4. Тенденції застосування стретч-плівки як засобу скріплення тарних вантажів на піддоні.

Стретч-плівки вже не одне десятиліття рекомендують себе як гарант якості при транспортуванні. Вони широко використовуються для обгортання та скріплення будь-яких товарів або вантажів на піддонах. Завдяки своїм властивостям, зокрема можливості сильно розтягуватися при дії накладеного ззовні зусилля, а потім відновлювати свій попередній стан після закінчення цієї дії, вони надійно утримують продукцію в груповій упаковці, або вантажі в транспортних пакетах на піддонах. Найбільше їх на світовому ринку (81%) припадає на розтягувальну стретч-плівку - pallet stretch film (PSF). Далі йдуть - чохла з термозбіжної плівки - pallet shrink hoods (PSH) – 12%, за ними чохла із стретч-плівки - pallet stretch hoods – (PStH) – 7% (рис 1.13). Стретч-плівку виготовляють двома способами - за технологією каст-екструзії 83,4% , а за технологією екструзії з роздувом лише 16,6% (рис 1.14).



Рисунок 1.13. Структура світового ринку засобів скріплення вантажів на піддонах. Джерело: AMI Consulting.

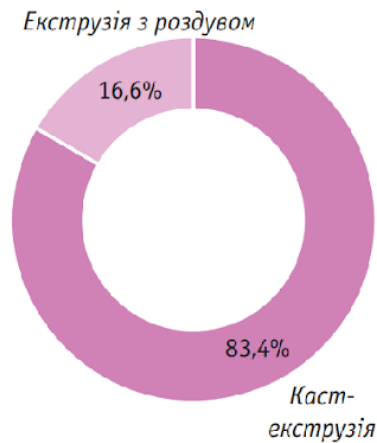


Рисунок 1.14. Структура ринку стретч-плівок за технологіями їх виробництва.

Джерело: AMI Consulting

Європейська комісія прагне зменшити вплив упаковки на навколишнє середовище, зобов'язавши виробників використовувати мінімальну кількість переробленого пластику в новій упаковці, що розміщується на ринку.

За даними галузевої групи Plastics Europe, у 2019 році лише 5% пластику в упаковці було отримано з перероблених джерел. І переробники стикаються з важкою битвою за продаж вторинних матеріалів на ринку, де домінують дешевші та якісніші первинні матеріали.

Очікується, що для вирішення цієї проблеми Євросоюз збільшить попит на перероблений пластик, розширивши цільові показники вмісту переробленої сировини від пластикових пляшок до всієї пластикової упаковки.

Проект вимагає, щоб з січня 2030 року вся пластикова упаковка, розміщена на ринку ЄС, "містила певну мінімальну кількість переробленого вмісту, вилученого з пластикових відходів після споживання".

Цілі на 2030 рік, які є попередніми і можуть змінитися до публікації пропозиції, знову зростуть до 2040 року наступним чином 25% для чутливої до контакту пластикової упаковки, наприклад, обгортки для харчових продуктів (50% з 2040 року);

- 50% для одноразових пластикових пляшок для напоїв (65% з 2040 року);

- 45% для іншої пластикової упаковки (65% у 2040 році).

Незалежно від того, які цілі будуть прийняті в кінцевому підсумку, намір зрозумілий - необхідність стимулювати ринок переробленого пластику, вимагаючи максимальної кількості переробленого матеріалу в новій упаковці.

Очікується, що цей крок також сприятиме підвищенню рівня збору відходів і спонукатиме компанії розробляти продукцію відповідно до процесу переробки, оскільки це буде в їхніх інтересах, повідомляє асоціація переробної промисловості EuRIC.

"Якщо ви хочете мати перероблений вміст, ви повинні мати екологічний дизайн", - сказав генеральний секретар EuRIC Еммануель Катракіс. "Ви повинні мати належний збір. Ви повинні мати переробку. Ви повинні мати промисловість, яка буде купувати перероблені матеріали. Тоді це відповідальність кожного, щоб переконатися, що це працює".

Цільові показники вмісту вторинної сировини вже існують для стретч-плівок із поліетилену відповідно до директиви ЄС, яка передбачає, що до 2025 вміст вторинних матеріалів у стретч-плівках повинен бути не менше 25%, а до 2030 року - 30%.

За словами Катракіса, ці цілі щодо вмісту вторинної сировини призвели до системних змін у виробництві та переробці пластикових відходів. Переробка ПЕ економить понад 70% енергії та викидів CO₂, і це тепер краще відображається на ціні.

Виробники пластмас в ЄС вже закликали до обов'язкової мети ЄС щодо вмісту переробленої сировини на рівні 30% до 2030 року.

Іншим потенційним рішенням може бути адаптація дизайну упаковки, щоб полегшити відділення різних шарів пластику та паперу та покращити можливість переробки.

"Еко-дизайн є ще одним дійсно важливим фактором для збільшення рівня переробки таких речей, як багатошарова упаковка", - сказав Майк Тернер, керуючий директор Європейської асоціації виробників картону (ЕСМА). "А це означає, що придатність до вторинної переробки повинна бути закладена в упаковку".

2. ОСНОВНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ ВИГОТОВЛЕННЯ СТРЕТЧ-ПЛІВКИ, В ТОМУ ЧИСЛІ ІЗ ДОДАВАННЯМ ВТОРИННОЇ СИРОВИНИ

2.1. Виготовлення стретч-плівки із додаванням вторинної сировини за технологією поливної (cast) екструзії

Плоскощілинна екструзія плівок, або каст-екструзія, дозволяє виробляти одно або багат шарові плівки. Цей метод особливо підходить при виробництві упаковки для харчових продуктів та інших технічних плівок, таких як стретч-плівка та пакувальна бульбашкова плівка (PE, PET, PP, PVB, PS та інш.). Більше того, каст-екструзія легко поєднується з ламінуванням, нанесенням покриттів, тисненням чи нанесенням друку.

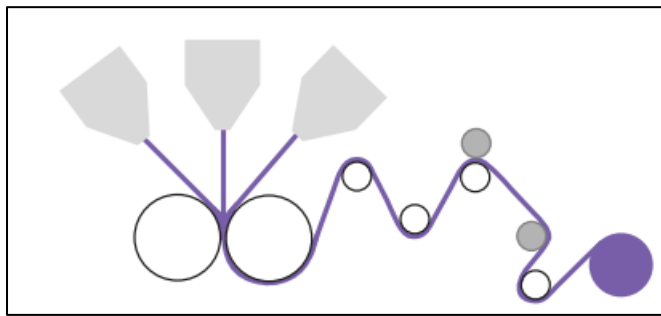


Рисунок 2.1. Схема процесу виготовлення стретч-плівки методом каст-екструзії

В основі процесу каст-екструзії, як і при видувному способі, лежить використання екструдера (рис 2.1), який подає розплав через фільтр у розподільчий блок, завдання якого – розподілити розплав по всій ширині плоскощілинної головки.

Плоскощілинна головка умовно являє собою конструкцію з двома пластинами (рис 2.2), щілина між якими регулюється за допомогою спеціальних термоштифтів, розміщених по всій ширині плоскощілинної головки, і задає кількість розплаву, що витікає на головний (поливний)

барабан, що обертається під головкою. Призначення барабана – різко охолодити розплав, перетворивши його у плівку.

Швидке охолодження запобігає зростанню великих сферолітів, що дозволяє отримати плівку високої прозорості. Для цього барабан охолоджується водою від промислового водяного холодильника. Щоб змінити товщину плівки, достатньо прискорити або уповільнити обертання барабана.

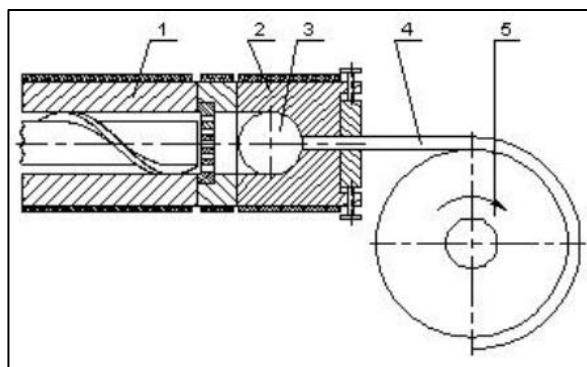


Рисунок 2.2. Схема отримання стретч-плівки при поливі на барабан, що охолоджується: 1- екструдер; 2- плоскощілинна головка; 3-колектор; 4- плівка; 5 - барабан, що охолоджується.

Потім плівка огинає другий барабан, який охолоджує її іншу сторону, проходить через пристрій розгону різновтовщинності і потрапляє на одностанційний намотник.

Для забезпечення рівномірного виходу розплаву полімеру з щілини головки в їх конструкціях є ряд особливостей. Наприклад, наявність колектора, що є поперечним каналом круглого перерізу. Колектор служить компенсації нерівномірності розподілу тиску по щілини головки. Діаметр колектора залежить, в загальному випадку, від перепаду тиску в головці, параметрів полімеру, його в'язкості та температури екструдювання. Діаметр колектора повинен розраховуватись при проектуванні головки. Внутрішні формоутворюючі поверхні головки повинні бути ретельно відполіровані, тому що навіть невеликий дефект призводить до зниження якості плівки, появи смуг на її поверхні та різновтовщинності.

В силу технологічних особливостей каст спосіб завжди передбачає обрізання кромки плівки, що зумовлює необхідність їх вторинної переробки.

Каст-екструзія має ряд переваг у порівнянні з видувним способом, головні з яких:

- кращі оптичні властивості (прозорість та глянець);
- низька різнотовщинність;
- висока площинність;
- висока продуктивність (при екструзії через плоскощільну головку досягаються швидкості виготовлення плівки, що перевищують у 2-3 рази швидкості прийому рукавної плівки);
- простота зміни товщини плівки;
- підвищена міцність та жорсткість.

Існує технологія, що дозволяє виробляти орієнтацію каст-плівки у двох напрямках і отримувати, таким чином, двоосноорієнтовану (біаксіально-орієнтовану) плівку.

Під час стажування у компанії Dow, стретч-плівки були виготовлені на лінії коекструзії Dolci. Специфікації лінії наведено в таблиці нижче.



Рисунок 2.3. Коекструзійна лінія Dolci – Tarragona TS&D Lab

Таблиця 2.1.

Специфікація лінії коекструзії Dolci

Ширина матриці, мм	1450
Максимальна швидкість лінії, м/хв	700
Кількість шарів	5
Розподіл шарів	[5/10/60/10/5] [10/20/40/20/10]
Діапазон товщини плівки, мкм	10 - 65
Максимальна продуктивність, кг/год	850

2.2. Виготовлення стретч-плівки, в тому числі із додаванням вторинної сировини за технологією видувної (blown) екструзії

Принцип роботи установок такого типу полягає в наступному. Полімер, що знаходиться у в'язкотекучому стані, надходить у головку через бічний вхід. Проходячи через гвинтовий розподільник, розплав потрапляє безпосередньо у формуючий канал між дорном і мундштуком і виходить через кільцеву щілину у вигляді круглої циліндричної заготовки. Потім заготовку роздмухують до необхідного діаметра повітрям, що подається через отвір у дорні. Таким чином, формується плівковий рукав. Охолодження рукава здійснюється за допомогою рівномірного обдування потоком повітря з обдувного кільця. Далі, плівковий рукав, проходячи через спеціальний пристрій, витягується валками і в складеному вигляді, через систему обвідних валків надходить в намотувальний пристрій, де готова плівка намотується на шпулю.

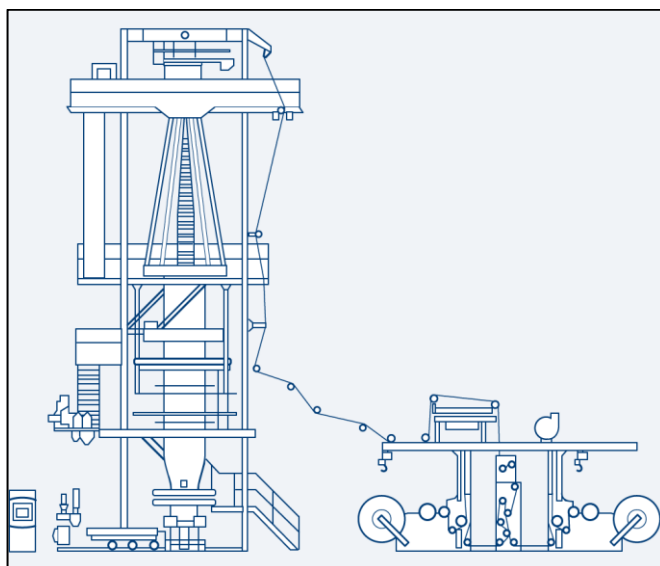


Рисунок 2.4. Схема видувної екструзії

Внаслідок роздмухування процес супроводжується одночасним зменшенням товщини стінки заготовки. Надлишковий тиск усередині рукава підтримується з одного боку дорном формуючої головки, а з іншого – валками, що тягнуть. Для забезпечення сталості товщини та ширини плівки тиск усередині рукава необхідно зберігати постійним. Іншими технологічними параметрами, що впливають на геометричні параметри плівки та її якість, є продуктивність екструдера, швидкість витяжки та температурний розподіл у циліндрі та головці екструдера. Їх потрібно суворо контролювати.

Виробництво плівки стає більш економічним зі збільшенням продуктивності процесу. Лімітуючим фактором тут є швидкість охолодження рукава. При збільшенні швидкості екструзії лінія скловання полімеру піднімається нагору, що веде, у свою чергу, до нестабільності рукава. Збільшення потоку охолоджуючого повітря дозволяє знизити висоту лінії скловання, але і цей прийом обмежений у своєму застосуванні, так як занадто висока швидкість потоку повітря, що подається на охолодження, викликає деформацію рукава. Взагалі, екструзія рукавних плівок – дуже складний процес, з яким пов'язано багато проблем при виробництві плівки високої якості.

Серед великої кількості можливих дефектів можна назвати, перш за все, різнотовщинність, поверхневі дефекти, такі як огрубіння поверхні екструдата (“акуляча шкура”), викликане або недостатнім прогріванням матеріалу, або надто інтенсивним зсувом полімеру в зоні щілини головки екструдера. Різні сторонні включення, у тому числі викликані деструкцією полімеру, низька міцність, каламутність і складки також є проблемою.

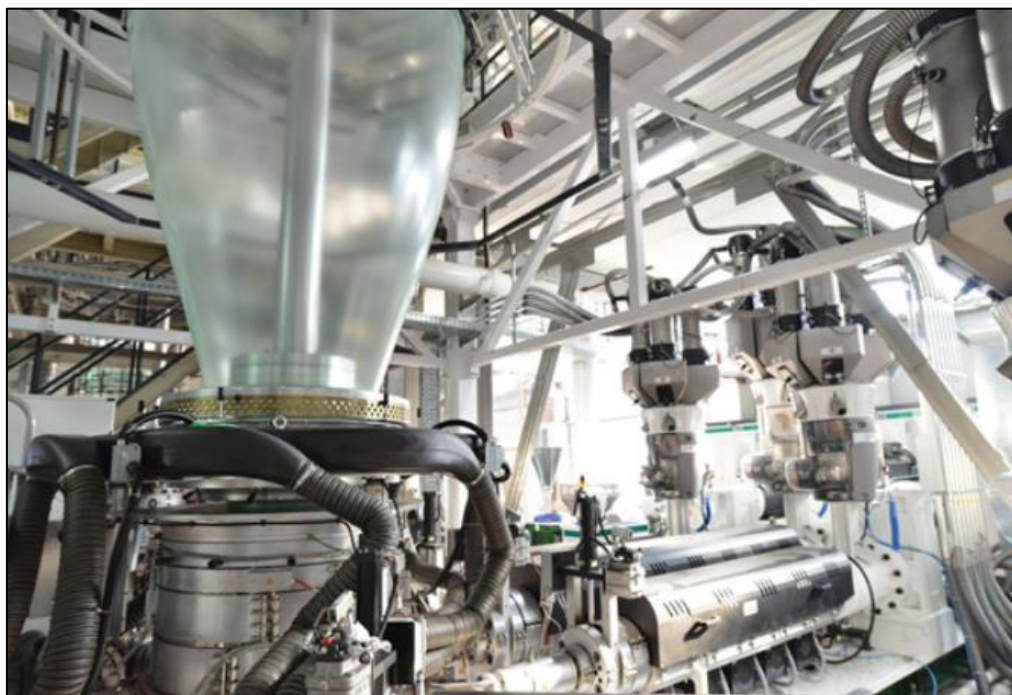


Рисунок 2.5. Процес видування плівки

Складки, що призводять до зниження якості продукції або навіть відбраковування плівки, можуть з'явитися навіть у добре налагоджених виробництвах. Причин тому безліч. Наприклад, плівка досягає валів, що тягнуть, занадто холодною і нееластичною, в результаті чого відбувається своєрідний злам матеріалу з утворенням складок. У цьому випадку слід вжити заходів до термостатування рукава або підвищувати температуру розплаву, але це може, однак, спричинити інші проблеми. Іншою причиною появи складок є різнотовщинність, яка призводить до нерівномірної витяжки плівки валами, що тягнуть. Пульсації при роботі екструдера, протяги в області витяжки, непаралельність тягнучого і притискного валів, нерівномірне

зусилля притиску притискного валу до валу, що тягне, також призводять до появи небажаних ефектів.

Навіть в умовах високоавтоматизованих виробництв отримання високоякісних плівок багато в чому залежить від кваліфікації та досвіду оператора, який обслуговує екструзійну лінію.

Під час стажування у компанії Dow, усі видувні плівки були виготовлені на лінії ко-екструзії МАССІ. Специфікації лінії наведено в таблиці нижче.



Рисунок 2.6. Коекструзійна лінія Массі – Tarragona TS&D Lab.

Таблиця 2.2.

Специфікація лінії коекструзії Массі

Ширина матриці, мм	300
Максимальна швидкість лінії, м/хв	650
Кількість шарів	5
Розподіл шарів	[15/15/40/15/15] [10/20/40/20/10]
Діапазон товщини плівки, мкм	10-65
Максимальна продуктивність, кг/год	850

3. ФІЗИКО-МЕХАНІЧНИХ ВЛАСТИВОСТІ СТРЕТЧ ПЛІВОК. МЕТОДИКИ І ЛАБОРАТОРНЕ ОБЛАДНАННЯ

3.1 Загальна характеристика фізико-механічних властивостей стретч-плівки для скріплення транспортних пакетів

Фізико-механічні характеристики полімерних пакувальних матеріалів дуже важливі, тому що їх дотримання гарантує стабільну й ефективну роботу пакувального обладнання. Разом з тим важливо забезпечити необхідну якість продукції та бажані техніко-економічні показники роботи пакувального обладнання.

До основних методів фізико-механічного тестування полімерних плівок належать: одновісне розтягування; двовісне розтягування; випробування на удароміцність вантажем, що падає; визначення жорстких плівок; на міцність при роздиранні та інші. Більшість методів (табл 3.1) стандартизовано й детально описано.

Модуль пружності, межу міцності, межу плинності, відносне видовження до розриву, опір роздиранню та проколу, міцність зв'язку між шарами знаходять, як правило, в режимі одновісного розтягування на розривних машинах. З метою визначення міцності на прокол, опору роздиранню за Елмендорфом застосовують лабораторні тестові прилади, стенди та машини.

Для формувально-пакувального обладнання дискретної дії необхідно використовувати гнучкі пакувальні матеріали з високою межею плинності. Періодичні зупинки й ривки при роботі такого обладнання можуть призвести до перевищення і незворотних деформацій плівки, збоїв і зупинок в роботі.

Під дією робочих органів машин в упаковці можуть утворюватися прориви, надриви, розшарування. Щоб запобігти виникненню таких дефектів, використовують плівки з високим опором ударним навантаженням, розшаруванню, проколам і надривам.

Значення характеристик, які вказують виробники плівок, часто встановлюють при тестуванні зразків, отриманих методом лиття під тиском із

полімерної сировини, з якої виготовляють плівки. Однак при визначенні властивостей плівок доцільніше тестувати зразки плівок, оскільки технології їх виготовлення обумовлюють формування особливої надмолекулярної структури, яка їй відповідає за ці властивості. Водночас іноді на практиці не вдається виміряти значення ряду характеристик із використанням зразків плівок, і тоді виправдано використання для випробувань зразків, отриманих із такої ж марки полімеру литтям під тиском чи іншим способом.

Таблиця 3.1

Основні фізико-механічні характеристики полімерних матеріалів, методи визначення та їх вплив на упаковку й процес пакування.

Властивості	Стандарт	Вплив на упаковку та процес пакування*			
		Збереження продукції	Зовнішній вигляд упаковки	Вартість	Ефективність роботи обладнання
Модуль пружності при розтягуванні, МПа (Н/мм ²)	ISO R 527; ASTM D 882; DIN 53457	XXX	XXX	XX	XXX
Межа міцності при розтягуванні, МПа (Н/мм ²)	ISO R 527; ASTM D 882; DIN 53455	XX	-	-	X
Межа плинності при розтягуванні, МПа (Н/мм ²)	ISO R 527; ASTM D 882; DIN 53455	XXX	X	X	XX

Відносне видовження до розриву при розтягуванні, %	ISO R 527; ASTM D 882; ASTM D 1790-02; DIN 53455	X	-	-	X
Опір роздиранню при розтягуванні, МПа (Н/мм ²)	ASTM D 1004	XX	-	-	XX
Згинальні властивості	ASTM D 790-03; ISO 178:2001	X	X	-	X
Стійкість до руйнування при перегинанні	ASTM D 2176-69	X	X	-	X
Міцність на прокол, Н/мкм	ASTM D 7192-08; ASTM F 1306	XXX	-	-	XX
Удароміцність методом падіння вантажу дротика, г/мкм	ASTM D 1709(A); DIN 53443	XXX	-	-	XX
Опір роздиранню за Елмендорфом, г/мкм	ISO R 6383/2; ASTM D 1922; DIN 6382/ 2	XX	-	-	XXX

Здатність до утримання складки, град	ASTM D 970	XX	XXX	X	XXX
Пружність відновлення стрічки матеріалу	Стандарти відсутні	XXX	XX	X	XX
Твіст-властивості	Стандарти відсутні	XX	XXX	X	XXX

* — — не впливає; X – не дуже впливає; XX – впливає; XXX – дуже впливає

3.2 Методика та лабораторне обладнання для визначення максимального відносного видовження та міцності на розрив видувної та каст стретч-плівки

Фізико-механічні властивості зразків 5-ти шарової стретч-плівки визначали на обладнанні Highlight Ultimate в Tarragona TS&D Lab (рис 3.1). Highlight Ultimate tester розроблений на основі вимог стандарту ASTM D4649 і його можна вважати симулятором машини для обгортання та скріплення вантажів стретч-плівкою в транспортних пакетах на піддоні.



Рисунок 3.1. Highlight Ultimate обладнання для тестування стретч-плівки

Конструкція приладу дозволяє вимірювати різні властивості плівки після її розтягування. Це надає повну картину властивостей плівки в поєднанні з даними лабораторії фізичних випробувань.

Розтягування плівки забезпечується різницею швидкостей між двома роликками (рис 3.2) . Ролик 1 обертається з меншою швидкістю, ніж ролик 2, який підтримує постійну швидкість. Обидва розтягувальні ролики мають діаметр 4 дюйми, вони покриті гумою з невеликим вмістом мінеральної добавки для покращення зчеплення з плівкою. Це потрібно для проведення тестів без ефекту ковзання. Уздовж шляху проходження плівки встановлено три тензодатчики з різною межею потужності: тензодатчики вимірювання зусилля розмотування та зусилля натягування мають межу потужності 60 фунтів, а тензодатчик вимірювання зусилля розтягування — 200 фунтів.

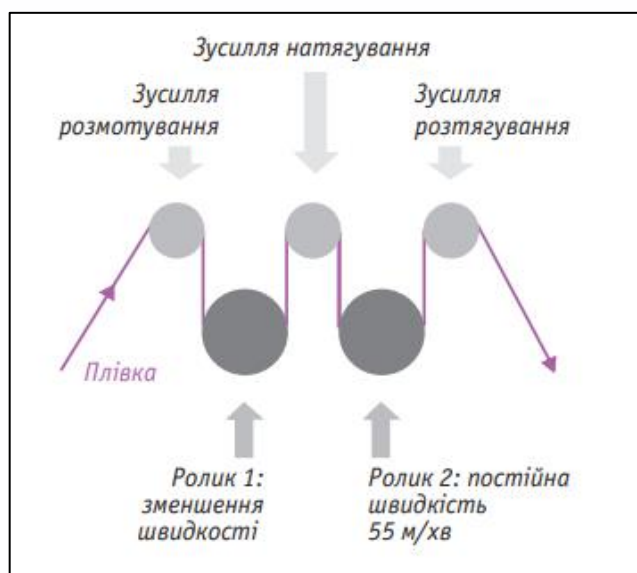


Рисунок 3.2. Схема обладнання Highlight Ultimate для дослідження фізико-механічних властивостей плівок

Максимальне відносне видовження, % та зусилля на розрив, кг визначали при розтягуванні плівки між двома роликками, один з яких обертався з постійною швидкістю, а швидкість іншого поступово зменшувалася для досягнення максимального видовження і подальшого розриву зразка плівки. У результаті значень різних швидкостей і відбувався розрив плівки.

Також, важливим аспектом тестувань є аналіз розриву плівки після її видовження (рис 3.3). Якщо розрив прямолінійний, це свідчить про те, що плівка досягла свого максимального ліміту. Якщо розрив має зигзаго-подібну чи діагональну форму, це свідчить про те що розрив був спричинений деформацією ролика або великим вмістом геліків (частинки нерозплавленого полімеру) і тест необхідно повторити.

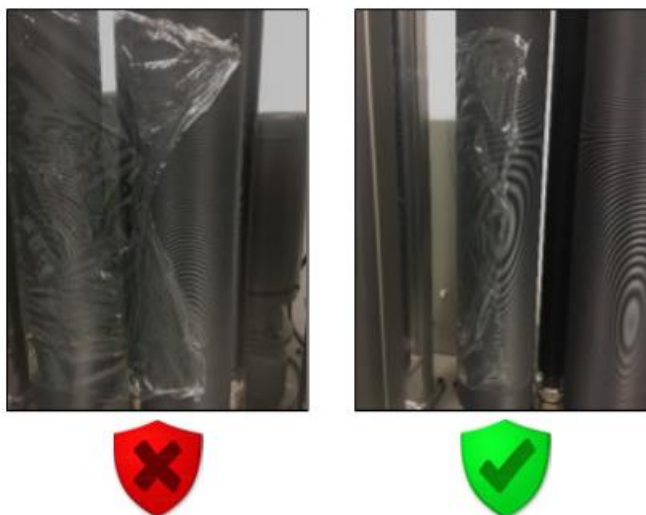


Рисунок 3.3. Приклади правильного та неправильного розриву плівки

3.2.1 Високошвидкісна камера для аналізу форми розриву видовної та каст стретч-плівки при скріпленні тарних вантажів

Тест призначений для визначення загальної однорідності стретч-плівки. Здебільшого його виконують як індикатор контролю якості. Тест складається з досягнення рівня розтягування та динамічного утримання його протягом певної довжини. Поки це відбувається, сили реєструються, і кінцевий результат включає середнє значення сил розмотування, розтягування та натягу вздовж попередньої довжини. Деякі дефекти виникають не через якість полімеру, а через особливості процесу екструзії. Зазвичай він виконується зі швидкістю 110 м/хв та 70% від кінцевого рівня розтягування.



Рисунок 3.4. Високошвидкісна камера та вигляд дефекту при деформації плівки

Функція перевірки якості плівки здатна виявляти мікроотвори на бажаному рівні розтягування за допомогою високошвидкісної камери. Як результат, можна отримати відео або зображення із високим розділенням.

3.3 Методика та лабораторне обладнання для визначення міцності на прокол видувної та каст стретч плівки на обладнанні Highlight.

Міцність на проколу є важливою характеристикою, коли плівки використовуються як пакувальний матеріал для деталей з гострими краями. У випадку стретч-плівок вантажами для упаковки можуть бути тверді, гострі або кутасті предмети. Крім того, плівка покриває піддон, який має гострі кути, і тому це слабе місце, де може статися розрив. Один із них на раніше згаданому обладнанні Highlight. Відмінність, від проведення тестування на визначення відносного видовження та міцність на прокол полягає у системі протягування плівки (рис 3.5).



Рисунок 3.5. Схема обладнання Highlight Ultimate при визначенні міцності на прокол

Перед визначенням міцності на прокол необхідно розтягнути плівку. Рівень відносного видовження повинен становити 70% від максимального видовження. Визначення міцності на прокол, що вимірюється у кг, використовують загострений накінецьник, який висувається на 10 см. Цей тест імітував дію гострого вантажа в транспортному пакеті на плівку (рис 3.6).



Рисунок 3.6. Зразок плівки при визначенні її міцності на прокол

3.4 Методика та лабораторне обладнання для визначення міцності на прокол видувної та каст стретч плівки за методом Абсолют.

Тест на прокол за методом Абсолют визначає опір проникненню не загостреного при постійній низькій швидкості. Він базується на стандарті ASTM D5748-95. Обладнання, на якому виконувався тест, має назву Instron 5564.

Для проведення тесту спочатку нарізають смуги плівки (шириною близько 20 см). Потім зразок плівки поміщають у машину, зберігаючи ліцевий шар із зовнішнього боку. Завдяки пневматичним циліндрам, зразок фіксується у пристрої. У затискачі фіксується загострений накінецьник, що з постійною силою (у 10 Ньютон) діє на плівку. Швидкість руху накінецьника 250 мм/хв.

Визначається максимальна сила, Н; відстань проникнення, мм; енергія, Дж; необхідну для розриву плівки. Тест повторюється 5 разів.

Машина для визначення міцності на прокол виконує удар керованого предмета перпендикулярно центру зразка (рис 3.8). Туп має напівсферичну ударну форму відповідного діаметру. Використовуються круглі або квадратні

зразки, затиснуті в пневматично активованому затискному кільці відповідного розміру.



Рисунок 3.7. Машина Instron 5564 для визначення міцності на прокол

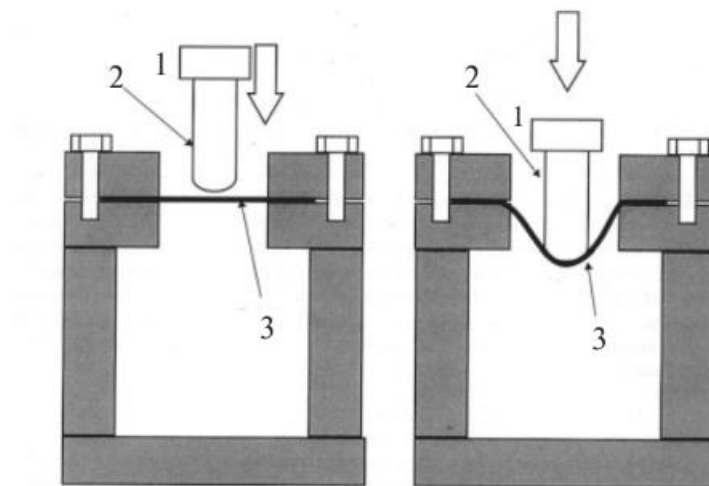


Рисунок 3.8. Схематичне зображення пристрою який використовують при визначенні міцності на прокол на універсальній машині Instron (б): 1 – датчик навантаження, 2 – елемент впливу, 3 – плівка

Основними параметрами при даному випробуванні є ступінь переміщення елемента впливу від початку контакту зі зразком до моменту

проколу плівки, площа під кривою прогину (деформації), а також пікове навантаження, яке плівка може витримати. За такими даними можна розрахувати значення параметрів, таких як відносне видовження при проколі, міцність на прокол, а також енергія (робота), яка витрачається при проколюванні плівки.

3.5 Методика та лабораторне обладнання для визначення максимального утримання видувної та каст стретч-плівки

Тест на визначення утримування зусилля стретч-плівок визначається на обладнанні Highlight за методикою, що описана у тесті вище.

Визначення $M_{ут}$ у кг імітувало поведінку стретч-плівки в транспортному пакеті на піддоні, коли на неї діяв тупий виступ вантажа. Дію його імітував напівсферичний накінецьник, якій при дослідженні висувався на 7,5 см. Під його дією плівка розтягувалась до потрібного рівня, в ідеалі на 70% від максимального рівня відносного видовження зі швидкістю 55 м/хв. Після цього ролик блокував подальше розтягування плівки, а тензодатчик через 2 хв після блокування вимірював втрату зусилля плівки. $M_{ут}$ визначали як різницю між максимальним початковим зусиллям та зусиллям після витриманням плівки в розтягнутому стані впродовж 2 хв.



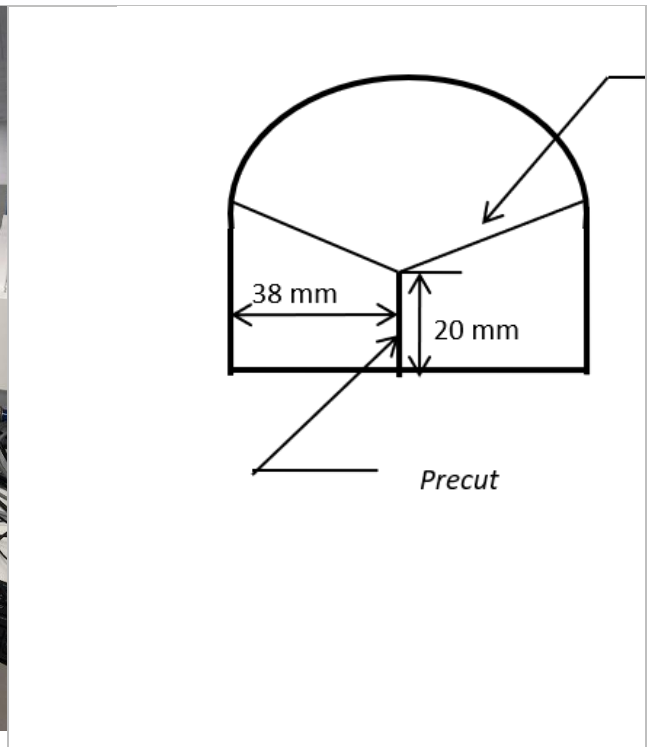
Рисунок 3.9. Зразок плівки для визначення утримання зусилля

3.6 Методика та лабораторне обладнання для визначення міцності на роздир видувної та каст стретч-плівки

Найчастіше використовують два методи тестування міцності плівкових матеріалів на розрив: за Елмендорфом (високошвидкісне тестування) та на розрив при роздиранні (низькошвидкісне тестування). Вимірювання міцності на розрив за Елмендорфом проводять на спеціальному приладі, який дозволяє визначити роботу, затрачену на розрив досліджуваного зразка плівки.

Прилад являє собою секторальний маятник, який обертається відносно осі, що закріплена в підшипниках. Обертання маятника здійснюється відносно вертикального затискного пристосування, встановленого на жорсткій металевій основі (рис 3.10).

При проведенні тестування маятник піднімається на задану висоту та отримує додаткову потенційну енергію. Після цього маятник звільняється з фіксувального пристрою і стрімко рухається в напрямку основи пристрою, де закріплено зразок плівки з надрізом. При ударі маятник руйнує чи розриває зразок плівки. Методи тестування за Елмендорфом описані в стандартах ASTM D 1922-09.



<p>Рисунок 3.10. Загальний вигляд приладу для вимірювання міцності на розрив за Елмендорфом</p>	<p>Рисунок 3.11. Розмір та форма зразка для тестування на обладнанні.</p>
---	---

Тестування на роздвоєне роздирання дає змогу визначити середнє значення сили, яку необхідно прикласти до досліджуваного зразка для поширення надрізу при постійній швидкості навантаження.

Зразок для випробування вирізають з полотна плівки та попередньо надрізають (рис 3.11). Після закріплення зразка затискачі розривної машини починають переміщатися зі швидкістю 200 чи 250 мм/хв. При проведенні тестування застосовують стандарти ASTM D 1938-08 (Стандартний метод тестування полімерних плівок і тонких листів з метою визначення міцності на роздирання (опір роздиранню) при проведенні роздвоєного роздирання).

3.6 Методика та лабораторне обладнання для визначення максимального розтягу видувної та каст полімерної стретч-плівки

Методи випробування полімерів на розтягування описані в стандартах ASTM D 882-10. Випробування на розтяг проводять на машинах для випробувань на розтяг марки Instron (рис 3.12) або на аналогічному обладнанні. Перед проведенням випробувань вимірюють початкові розміри досліджуваних зразків. Відношення ширини зразків до їх товщини має становити як мінімум 8:1.

Машина для випробування на розтяг складається з випробувальної рами, яка оснащена тензодатчиком, програмним забезпеченням для випробувань, а також спеціальними затискачами, які мають гумове покриття, що дає змогу надійно утримувати зразок і не пошкоджувати його при тестуванні. Машину можна адаптувати для перевірки будь-якого матеріалу в межах її діапазону сил, просто змінивши кріплення.

Машини для випробування на розтяг доступні в різних розмірах і силах від 0,02 Н до 2000 кН. Системи Instron у діапазоні навантажень до 300 кН можуть виконувати широкий спектр різних типів випробувань, включаючи розтяг, стиск, вигин, відшарування, розрив, зсув, тертя, кручення, прокол тощо. Сервогідравлічні системи промислової серії Instron розроблені для випробувань ще більшої потужності високоміцних металів, сплавів і передових композитів.



Рисунок 3.12. Розривна машина Instron

1) Навантажувальна рама

Навантажувальні рами машини для випробування на розтяг можуть мати одну або дві конфігурації залежно від їх силової здатності.

2) Програмне забезпечення

Тестове програмне забезпечення – це те, де оператори можуть налаштувати методи тестування та вивести результати.

3) Датчик навантаження. Датчик навантаження є перетворювачем, який вимірює силу, прикладену до досліджуваного зразка. Датчики навантаження Instron мають точність до 1/1000 ємності датчика навантаження.

4) Затискач та кріплення

Доступний широкий асортимент затискачів для зразків і пристосувань для захоплення тестових зразків із різних матеріалів, форм і розмірів.

5) Вимірювання деформації

За допомогою розривної машини отримують залежності деформації (відносного видовження) від навантаження (напруження) – деформаційні криві (рис 3.13).

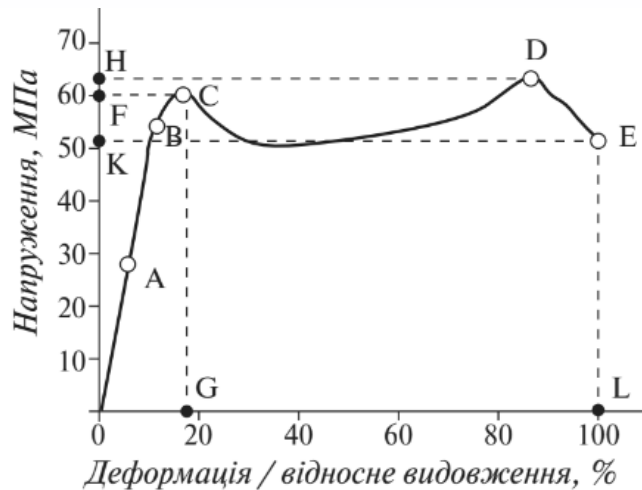


Рисунок 3.13. Типовий вигляд деформаційної кривої.

A- межа пропорційності; B – межа пружності; C – межа пластичності;
D – межа міцності; E – точка розриву.

На підставі аналізу деформаційних кривих можна отримати багато корисної та дуже важливої інформації про фізико-механічні характеристики полімерних матеріалів (табл 3.2).

Таблица 3.2.

Механічні властивості при розтягуванні, що визначаються за деформаційною кривою, відповідно до стандарту ASTM D882-10

Властивості	Визначення
Відносне видовження при розриві	Відносне видовження, при якому зразок розривається (E)

Відносне видовження на межі плинності	Відносне видовження, при якому зразок починає текти (G)
Межа міцності (максимальна величина напружень)	Напруження, при якому зразок розривається (K)
Межа плинності	Напруження, при якому зразок починає текти, тобто продовжує деформуватися при постійній величині напруження (F)
Міцність при розтягуванні	Напруження при розтягуванні при заданій величині відносної деформації
Граничне значення напружень при розтягуванні	Максимальне значення напруження при розтягуванні, яке може виникати в матеріалі перед його руйнуванням (H)
Модуль пружності при розтягуванні (модуль пружності першого порядку)	Відношення напруження при розтягуванні до відносного видовження зразка матеріалу в зоні пружної деформації (від 0 до точки B). «Тангенціальний» («дотичний») модуль пружності визначається за кутом нахилу деформаційної кривої в зоні пружної деформації. Цей параметр – модуль Юнга (модуль пружності)
Січний модуль	Визначається за кутом нахилу лінії, що з'єднує 0 і точку на деформаційній кривій, що відповідає певному значенню відносного видовження
Опір руйнуванню	Енергія, яку необхідно передати одиниці об'єму зразка для його руйнування при випробуванні на розтягування. Визначається площею поверхні під деформаційною кривою

3.8 Методика та лабораторне обладнання для визначення максимального зчеплення видувної та каст стретч-плівки

Цей метод був розроблений у 2004 році. З тих пір компанія DOW збирила багато даних, і на сьогоднішній день це один із найнадійніших відомих методів для вимірювання зчеплення після розтягування плівки. Зчеплення – це властивість, яка залежить не лише від полімеру, але й від товщини липкого шару та складу розділового шару.

Зразок розтягується та збирається на алюмінієвому барабані за тих самих умов, що й тест на утримування, в ідеалі при 70% кінцевого рівня розтягування. Більший рівень розтягування, ніж цей, зазвичай не має значення, за винятком конкретних застосувань. Для витягування плівки зі швидкістю 1 м/хв і вимірювання показників зчеплення за певний часовий проміжок у 10 секунд використовується рухома рама з тензодатчиком потужності 10 Н (рис 3.15). Після цього значення від 4 до 8 секунд застосовуються для розрахунку середнього значення та стандартного відхилення (рис 3.14).

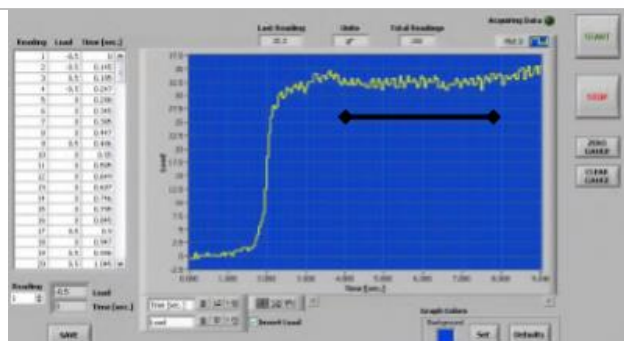


Рисунок 3.14. Розрахунок стандартного значення



Рисунок 3.15. Рухома рама з тензодатчиком

Відповідно до досвіду та відгуків клієнтів компанії DOW, було визначено деякі діапазони для значень зчеплення на 70% від максимального подовження:

Від 0 до 10 грамів: погане зчеплення

Від 10 до 20 грамів: допустиме зчеплення

20-30 грамів: добре зчеплення

Від 30 до 50 грамів: відмінне зчеплення

Від 50 до 75 грамів: надмірне зчеплення

Понад 75 грамів зазвичай призводить до блокування плівки після розмотування.

4. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ. РЕЗУЛЬТАТИ ТА ЇХ АНАЛІЗ

4.1. Результати та аналіз досліджень каст стретч-плівки з додаванням матеріалів вторинної переробки

Об'єкти дослідження.

Для дослідження використовували зразки з 5-ти шарової стретч-плівки товщиною 23 мкм, яку виготовляли на екструзійній лінії Dolci в Tarragona TS&D Lab. В якості полімерних шарів такої стретч-плівки використовували поліетилен ультра низької густини (уПЕНГ), лінійний поліетилен низької густини (ЛПЕНГ), металоценовий лінійний поліетилен низької густини (мЛПЕНГ), суміш повторно переробленого поліетилену низької густини (рПЕНГ) із ЛПЕНГ у співвідношенні за масою 7:3, яку позначали як Post-Consumer Recyclate (PCR).

Таблиця 4.1.

Полімери, які використовувались для виготовлення стретч-плівки

Умовне позначення полімеру	Тип полімеру	Густина (г/см ³)	Коефіцієнт розплаву, (г/10 хв)
AT1	уПЕНГ	0.904	4
DX1	ЛПЕНГ	0.917	2.3
DX2	ЛПЕНГ	0.918	3.5
DX3	ЛПЕНГ	0.916	4
ET1	мЛПЕНГ	0.916	4
ET2	мЛПЕНГ	0.912	3.7
XZ1	ЛПЕНГ	0.925	1.5
XZ2	ЛПЕНГ	0.928	1.5
PCR	рПЕНГ:ЛПЕНГ(7:3)	0.920	2.5

Склад 5-ти шарових стретч-плівок формували виходячі із властивостей певних марок полімерів. Так ЛПЕНГ, марки DX1 має високу ударну міцність

і міцність на розрив, ЛПЕНГ, марки DX2 поєднує гарну технологічність переробки та необхідні міцнісні властивості та відносно видовження, ЛПЕНГ, марки DX3 має достатню стійкість до проколу та роздиру, мЛПЕНГ, марки ET1 відрізняється хорошими фізико-механічними властивостями, особливо відносним видовженням, мЛПЕНГ, марки ET2 характеризується оптимізованим балансом відносного видовження, ударної міцності та стійкості до проколу, уПЕНГ, марки AT1 має хороші счіплювальні властивості, тому він був використаний для клінг шару. ЛПЕНГ марок XZ1 та XZ2 мають унікальне поєднання утримуючої сили, еластичного відновлення та міцності.

Склад шарів досліджуваних зразків 5-ти шарової стретч-плівки наведений в табл.4.2.

У всіх зразках шари А, Б і Е мали 10%, шар Г – 20%, а шар В – 50% від загальної маси зразка. Таким чином легко підрахувати, що зразки (2-10) в своєму складі в шарах В і Г мали 49% суміші PCR. В шарах А, В, Г та Е зразків (2-7) використовували однакові марки полімерних матеріалів, а в шарі В в зразках (2-7) змінювали марки полімерів, щоб перевірити вплив різних полімерів на фізико-механічні властивості плівки .

В зразках 8-10 було вирішено розділити вторинні матеріали на три шари (Б, В та Г) зберігаючи співвідношення вмісту вторинних матеріалів. В якості порівняльного зразка (1) використали стандартну 5-ти шарову стретч-плівку, параметри та властивості якої гарантують ефективне використання її для надійного обгортання та скріплення вантажів в транспортних пакетах на піддонах.

Таблиця 4.2.

Структура каст-плівок

Зразок	10% (Шар А)	10% (Шар Б)	50% (Шар В)	20% (Шар Г)	10% (Шар Е)	PCR, %
1	DX1	ET1	ET1	ET1	AT1+ET1 (7:3)	0
2	DX1	ET1	PCR	PCR	AT1+ ET1(7:3)	49%
3	DX1	DX2	PCR	PCR	AT1+DX2 (7:3)	49%
4	DX1	ET2	PCR	PCR	AT1+ET2 (7:3)	49%
5	DX1	XZ1	PCR	PCR	AT1+XZ1 (7:3)	49%
6	DX1	XZ2	PCR	PCR	AT1+XZ(7:3)	49%
7	DX1	DX3	PCR	PCR	AT1+DX3 (7:3)	49%

Продовження табл 4.2.

Зразок	10%(Шар А)	20% (Шар Б)	40% (Шар В)	20% (Шар Г)	10% (Шар Е)	PCR, %
8	DX1	DX2+55.5 % PCR	PCR	DX3+55. 5% PCR	AT1+ DX2 (7:3)	49%
9	DX1	ET2 + 55.5% PCR	PCR	ET2 + 55.5% PCR	AT1+ET2 (7:3)	49%
10	DX1	XZ1 +55.5% PCR	PCR	XZ1 +55.5% PCR	AT1+XZ1 (7:3)	49%

4.1.1 Визначення максимального відносного видовження та міцності на розрив каст стретч-плівки із додаванням матеріалів вторинної переробки

Максимальне відносне видовження є однією з основних властивостей каст стретч-плівок. Випробування на максимальне видовження були проведені на обладнанні Highlight. Перший зразок у подальших графіках – еталон, тобто у його структурі відсутні матеріали вторинної переробки.

Результати показують (рис 4.1), що додавання 50% вторинної сировини в каст стретч-плівках не має негативного впливу на видовження. Виняток становлять зразок, що містить DX3, який показав найнижче видовження. За результатами визначення максимального видовження найкращий результат у порівнянні зі стандартним зразком (1), який не містить вторинних матеріалів, мали зразки (3) і (9), для яких у шарі В було використано ЛПЕНГ марки DX2 та мЛПЕНГ марки ET2, які поєднують гарну технологічність переробки, необхідну міцність та відносне видовження полімеру.

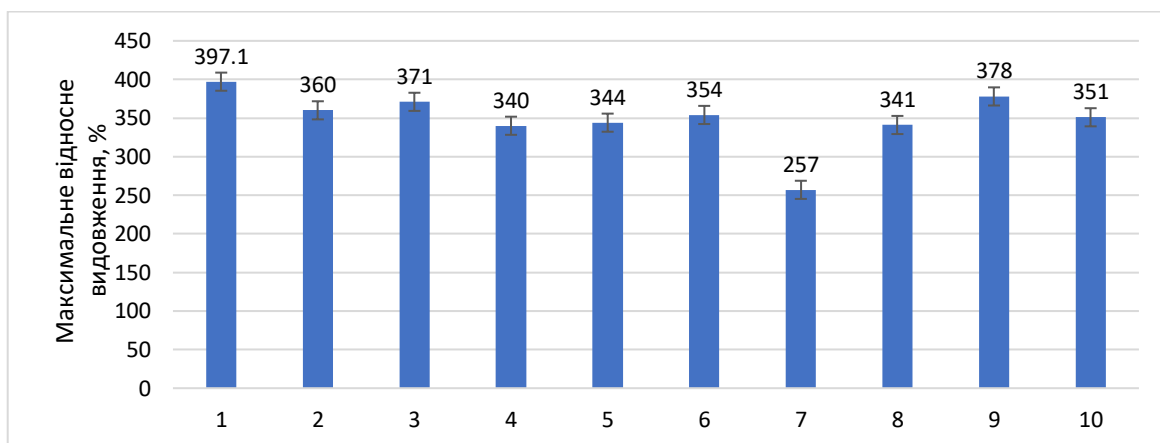


Рисунок 4.1. Максимальне видовження для каст стретч-плівок з матеріалами вторинної переробки

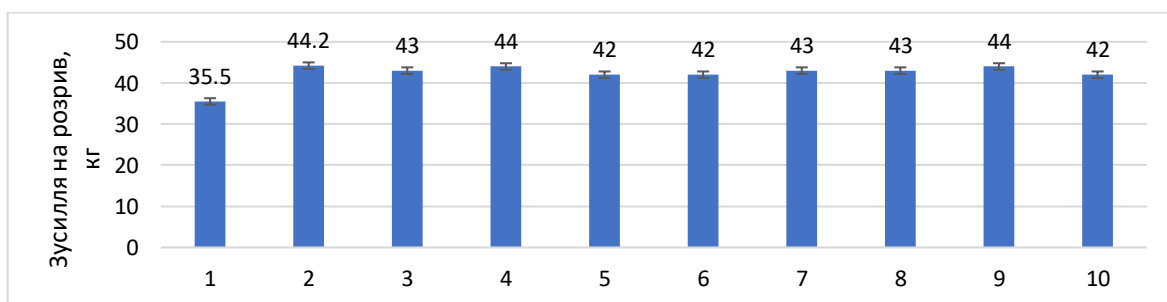


Рисунок 4.2. Зусилля при розриві для каст стретч-плівок з додаванням матеріалів вторинної переробки.

Результати визначення зусилля при розриві стретч-плівки демонструють вищі значення для всіх зразків плівок із вторинними матеріалами (2–10) порівняно зі стандартним зразком (1). Використання вторинної сировини у складі стретч-плівки дає змогу навіть покращити цю характеристику, тому такі плівки можуть забезпечує вищу силу утримання вантажу на піддоні.

4.1.2. Визначення міцності на прокол каст стретч-плівки із додаванням матеріалів вторинної переробки

Як було описано раніше, можна визначити міцність на прокол для стретч-плівок двома способами – на обладнанні Highlight та методом Абсолют (ASTM D5748-95). Спершу розглянемо результати зразків, які були протестовані на обладнанні Highlight.

Визначення міцності на прокол на обладнанні Highlight для каст та видувних стретч плівок

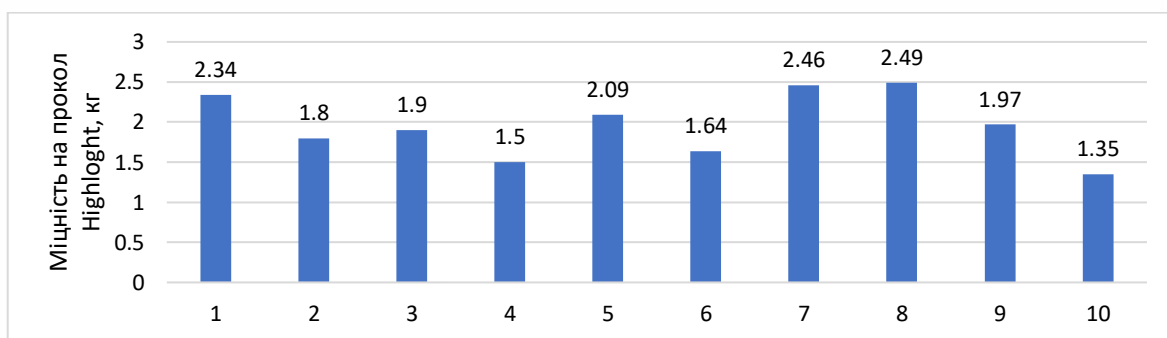


Рисунок 4.3. Міцність на прокол, що досліджувалось на обладнанні Highlight, для каст стретч-плівок із додаванням вторинних матеріалів.

Результати визначення міцності стретч-плівки на прокол за методом Highlight свідчать, що зразок (7) має навіть більший показник міцності на прокол у порівнянні зі стандартним зразком (1). Це можна пояснити тим, що в складі зразка (7) було використано ЛПЕНГ марки DX3, який має кращі показники міцності плівки на прокол та роздирання.

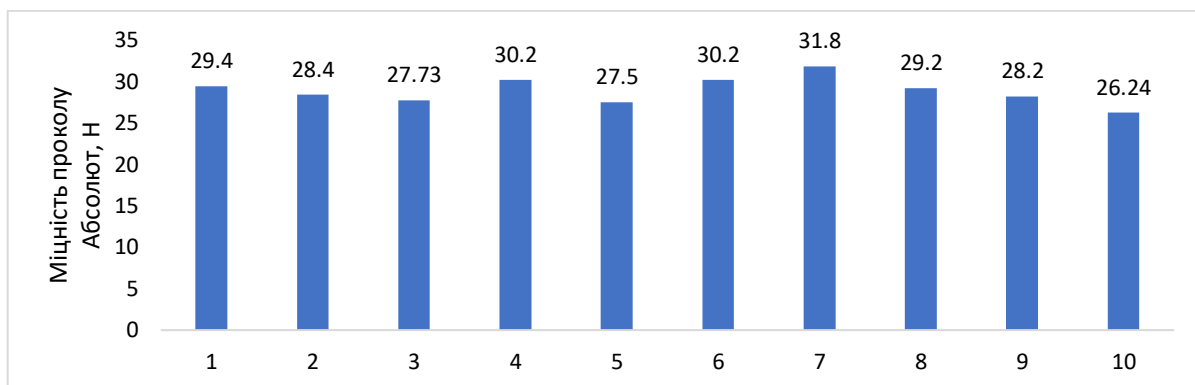


Рисунок 4.4. Міцність на прокол за методом Абсолют для каст стретч-плівок з матеріалами вторинної переробки.

Результати визначення міцності стретч-плівки на прокол за методом Абсолют свідчать, що зразок із вмістом полімеру марки DX3 (7), показав найвищу міцність на прокол. Як і було передбачено, полімери з низьким коефіцієнтом розплаву мають хорошу стійкість до проколів.

4.1.3. Визначення максимального утримування зусилля каст стретч-плівки із додаванням матеріалів вторинної переробки

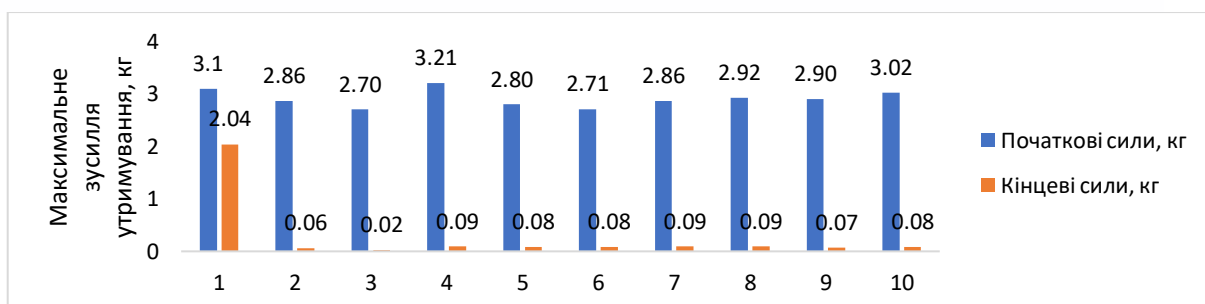


Рисунок 4.5. Максимальне зусилля утримування для каст стретч-плівок із матеріалами вторинної переробки

При виконанні тесту на визначення утримання зусилля при розтягуванні стретч-плівки усі зразки плівки з PCR (2–10) зруйнувалися в трьох порівняльних тестах.

Найкращий результат порівняно зі стандартним продемонстрував зразок (4), у складі якого було використано мЛПЕНГ марки ET2, цей полімер має

оптимізований баланс відносного видовження, ударної міцності та міцності на прокол. Рівень розтягу плівки становив 200%.

4.1.4. Визначення опір роздиранню каст стретч-плівки із додаванням матеріалів вторинної переробки

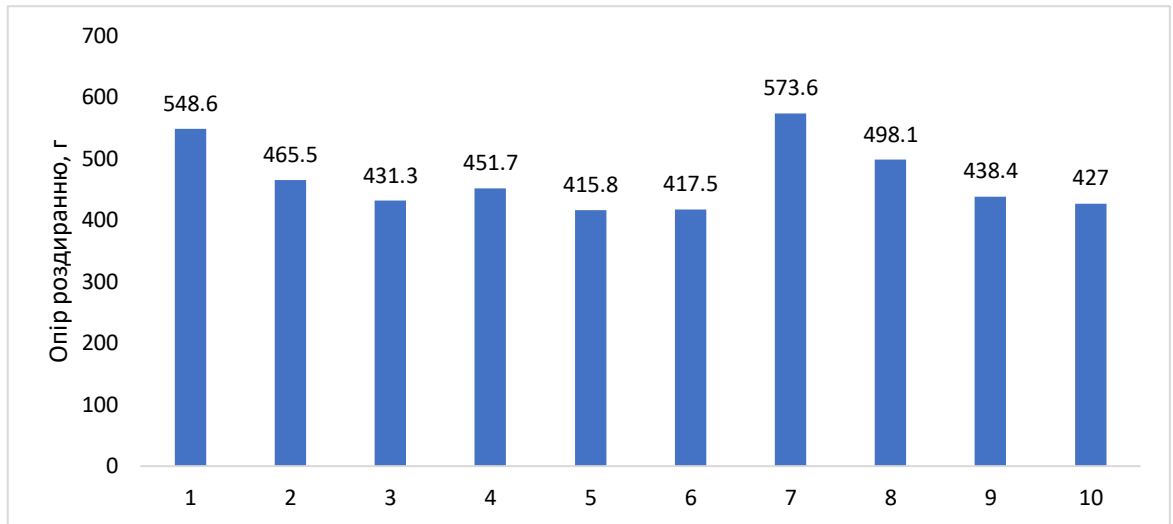


Рисунок 4.6. Опір роздиранню для каст стретч-плівок із додаванням матеріалів вторинної переробки

Результати дослідження супротиву до роздиру показали, що зразки (2-10) із вмістом 50% вторинних матеріалів, показали низьку стійкість до роздиру у поперечному напрямку (CD) порівняно із стандартним зразком.

Винятком зразок із вмістом ЛПЕНГ марки DX3, тому що має кращі показники міцності плівки на прокол та опір роздиранню.

4.1.5. Визначення зусилля при видовженні каст стретч-плівки із додаванням матеріалів вторинної переробки

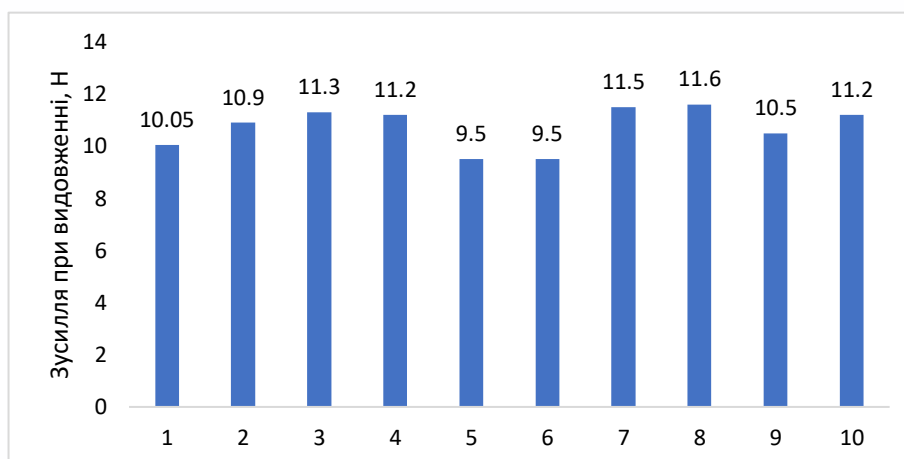


Рисунок 4.7. Зусилля при видовженні для каст стретч-плівок із додаванням матеріалів вторинної переробки.

Результати випробувань на зусилля при розриві показують, що зразки, що містять вторинні матеріали, мають більш високі зусилля при розриві порівняно із стандартним зразком. І знову найкращі результати показують зразки із вмістом ЛПЕНГ марки DX2 та DX3 (3, 7, 8).

4.1.6 Визначення максимальної сили зчеплення каст стретч-плівки із додаванням матеріалів вторинної переробки

Здатність до міжшарового зчеплення є однією з найважливіших характеристик стретч-плівки. Гарне зчеплення забезпечує стабільність піддонів при транспортуванні. Введення 50% вторинних матеріалів в каст стретч-плівку призводить до значного зниження зчеплення. Випробування проводили на обладнанні Highlight з подовженням 200%.

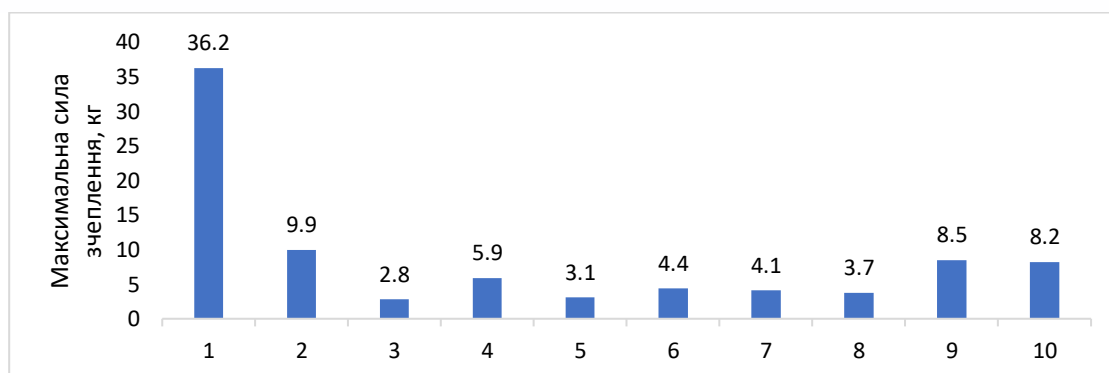


Рисунок 4.8. Максимальна сила зчеплення для каст стретч-плівок з додаванням матеріалів вторинної переробки

Тому було вирішено розробити новий проект для покращення сили міжшарового зчеплення каст стретч-плівок із додаванням 50% матеріалів вторинної переробки.

Номер зразка	10% (Шар А)	20% (Шар Б)	50% (Layer В)	10% (Шар Г)	10% (Шар Е)
1	D1	XZ1	XZ1	XZ1	AT1
2	D1	PCR	PCR	XZ1	AT1
3	D1	XZ1	PCR	PCR	AT1
4	D1	PCR	PCR	MDPE1	AT1
5	D1	PCR	PCR	MDPE2	AT1

Різниця між попереднім дослідженням полягає в тому, що було змінено порядок шарів : вторинні матеріали було переміщено на шар далі від клейкого шару. Крім того, очікувалось, що додавання полімерів MDPE (поліетилен середньої густини) між липким шаром і вторинними матеріалами підвищить властивості зчеплення.

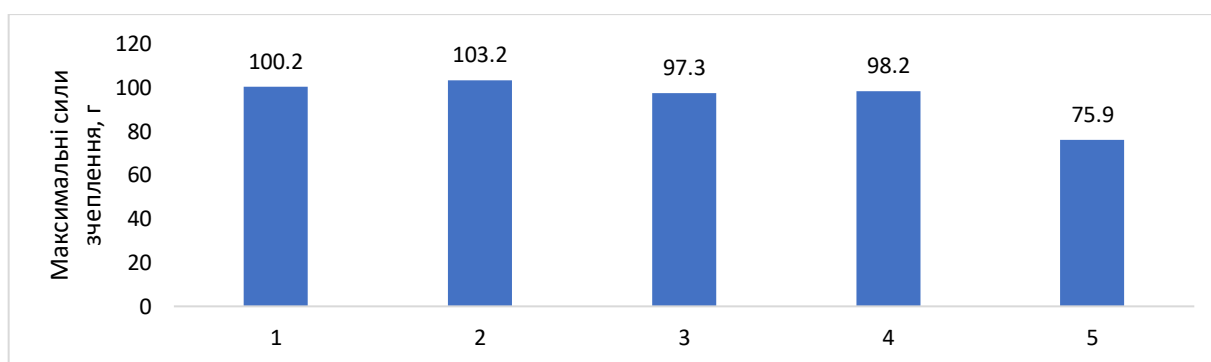


Рисунок 4.9. Максимальна сила зчеплення каст стретч-плівки із додаванням матеріалів вторинної переробки

При обробленні результатів на силу зчеплення полімерної стретч-плівки можна спостерігати зменшення зчеплення для всіх зразків крім 2 порівняно із стандартним зразком, але в будь-якому випадку результати зчеплення задовільні. Рівень попереднього розтягування становив 240%.

4.1.7. Визначення відносної кількості геліків у каст стретч-плівках із додаванням матеріалів вторинної переробки

Визначення кількості геліків під час екструзії стретч-плівок дозволяє провести залежність механічних властивостей від їх кількості, адже геліки – це частки нерозплавленого полімеру, що можуть провокувати передчасний розрив.

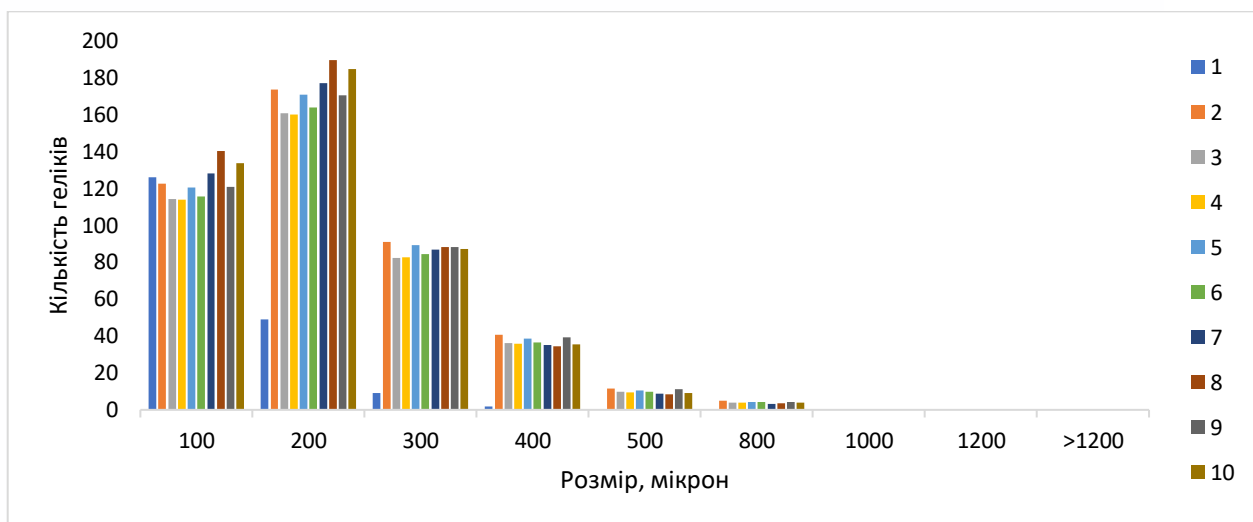


Рисунок 4.10. Кількість геліків у каст стретч-плівках із додаванням матеріалів вторинної переробки

На рис 4.10 можна побачити кількість геліків в різних зразках плівок, товщиною 23 мкм. Найбільша кількість геліків спостерігається в діапазоні розмірів діаметра 100-300 мкм. Зразки (3 та 4), що містять ЛПЕНГ та мЛПЕНГ марок DX2 і ET2, демонструють найменшу кількість геліків. Кількість великих геліків (>500 мкм) менша порівняно з гелями меншого розміру.

4.2. Результати та аналіз досліджень видувної стретч-плівки з додаванням матеріалів вторинної переробки

Об'єкти дослідження

Для дослідження використовували зразки з 5-ти шарової стретч-плівки товщиною 23 мкм, яку виготовляли на екструзійній лінії Массі в Tarragona TS&D Lab. В якості полімерних шарів такої стретч-плівки використовували поліолефін пластомер (ПОП), лінійний поліетилен низької густини (ЛПЕНГ), металоценовий лінійний поліетилен низької густини (мЛПЕНГ), суміш

повторно переробленого поліетилену низької густини (рПЕНГ) із ЛПЕНГ у співвідношенні за масою 7:3, яку позначали як Post-Consumer Recyclate (PCR)

Таблиця 4.3.

Полімери, які використовувались для виготовлення видувної плівки

Умовне позначення полімеру	Тип полімеру	Густина (г/см ³)	Коефіцієнт розплаву, (г/10 хв)
AF1	ПОП	0.870	1
DX3	ЛПЕНГ	0.916	4
DX4	ЛПЕНГ	0.920	1
DX5	ЛПЕНГ	0.918	0.8
ET3	мЛПЕНГ	0.920	0.85
ET4	мЛПЕНГ	0.917	1
IT1	ЛПЕНГ	0.918	0.85
IT2	ЛПЕНГ	0.912	0.8
PCR	рПЕНГ:ЛПЕНГ(7:3)	0.920	2.5

Склад 5-и шарових стретч-плівок формували виходячі із властивостей певних марок полімерів. Так ЛПЕНГ, марки DX3 має високу ударну міцність і міцність на розрив, ЛПЕНГ, марки DX4 поєднує гарну технологічність переробки та необхідні міцнісні властивості та відносно видовження, ЛПЕНГ, марки DX5 має достатню стійкість до проколу та роздиру; мЛПЕНГ, марки ET3 відрізняється хорошими фізико-механічними властивостями, особливо відносним видовженням; мЛПЕНГ, марки ET4 характеризується оптимізованим балансом відносного видовження, ударної міцності та стійкості до проколу; ПОП марки AF1 забезпечує відмінну герметичність, тому він був використаний для клінг шару; ЛПЕНГ полімери IT1 та IT2 мають унікальне поєднання високої жорсткості з чудовою в'язкістю.

Склад шарів досліджуваних зразків 5-ти шарової стретч-плівки наведений в табл 4.4.

Під час стажування це був перший експеримент компанії DOW у впровадженні вторинних матеріалів у структуру видувних стретч плівок. Тому зразки 2-7 мають 30% вторинних матеріалів, а зразки 8-14 – 50%.

У зразках 1-8 шари А, і Е мали 10%, шар Г та Б– 20%, а шар В – 40% від загальної маси зразка. В шарах А, В, Е зразків (2-8) використовували однакові марки полімерних матеріалів, а в шарах Б та В зразках (2-7) змінювали марки полімерів, щоб перевірити вплив різних полімерів на фізико-механічні властивості плівки.

У зразках 9-14 шари А, Б , Г та Е мали 10%, а шар В – 60% від загальної маси зразка. В шарах А та Е – використовувались однакові марки полімерних матеріалів, у шарах В та Г – вторинні матеріали, щоб підвищити їх вміст у зразку. У шарі Б змінювали марки полімерів, щоб перевірити вплив різних полімерів на фізико-механічні властивості плівки.

В якості порівняльного зразка (1) використали стандартну 5-ти шарову стретч-плівку, параметри та властивості якої гарантують ефективне використання її для надійного обгортання та скріплення вантажів в транспортних пакетах на піддонах.

Таблиця 4.4.

Структура видувних стретч-плівок із додаванням матеріалів вторинної сировини.

№ Зразка	10% (Шар А)	20% (Шар Б)	40% (Шар В)	20% (Шар Г)	10% (Шар Е)	PCR, %
1	AF1	DX3	DX3	DX3	DX4	0
2	AF1	ET3	PCR	ET3	DX4	28%
3	AF1	DX3	PCR	DX3	DX4	28%
4	AF1	DX4	PCR	DX4	DX4	28%

5	AF1	IT1	PCR	IT1	DX4	28%
6	AF1	IT2	PCR	IT2	DX4	28%
7	AF1	DX5	PCR	DX5	DX4	28%
8	AF1	ET4	PCR	ET4	DX4	28%

Продовження таблиці 4.4.

№ Зразка	10% (Шар А)	10% (шар Б)	60%(Шар В)	10% (Шар Г)	10% (Шар Е)	PCR, %
9	AF1	ET3	PCR	PCR	DX4	49%
10	AF1	DX3	PCR	PCR	DX4	49%
11	AF1	DX4	PCR	PCR	DX4	49%
12	AF1	IT1	PCR	PCR	DX4	49%
13	AF1	IT2	PCR	PCR	DX4	49%
14	AF1	DX5	PCR	PCR	DX4	49%
15	AF1	ET4	PCR	PCR	DX4	49%

4.2.1 Визначення максимального відносного видовження та міцності на розрив видувної стретч-плівки із додаванням матеріалів вторинної переробки

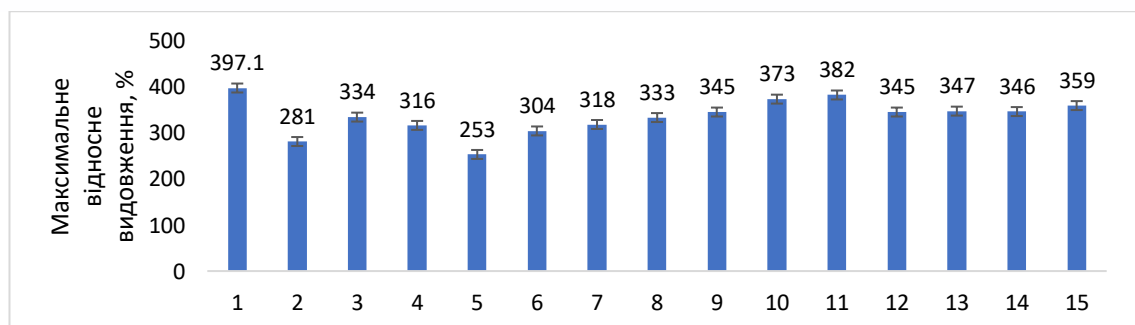


Рисунок 4.11. Максимальне відносне видовження при розриві для видувних стретч-плівок із додаванням матеріалів вторинної переробки.

Результати показують (рис 4.11), що додавання 50% вторинної сировини в видувних стретч-плівках не має негативного впливу на видовження. Виняток становить зразок, що містить IT1, який показав найнижче видовження. За

результатами визначення максимального видовження найкращий результат у порівнянні зі стандартним зразком DX3 REF, який не містить вторинних матеріалів, мали зразки ЛПЕНГ марки DX3 50% і DX4 50%? які мають гарну відносне видовження полімеру.

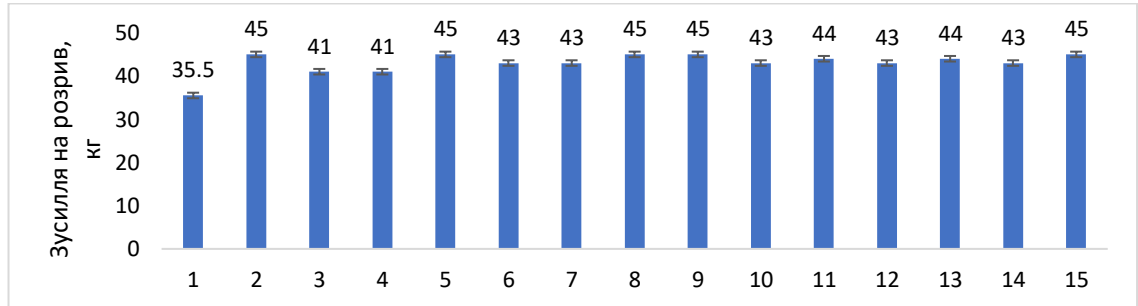


Рисунок 4.12. Зусилля при розриві для видувних стретч плівок із додаванням матеріалів вторинної переробки.

Результати визначення зусилля при розриві стретч-плівки демонструють вищі значення для всіх зразків (2–15) плівок із вторинними матеріалами порівняно зі стандартним зразком (1). Використання вторинної сировини у складі стретч-плівки дає змогу навіть покращити цю характеристику і дає вищу силу утримання на піддоні.

4.2.2. Визначення міцності на прокол видувної стретч плівки із додаванням матеріалів вторинної переробки

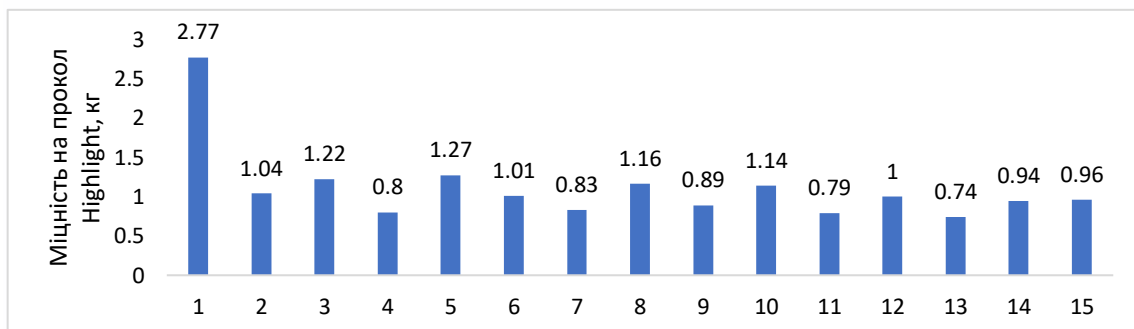


Рисунок 4.13. Міцність на прокол, що досліджувались на обладнанні Highlight, для видувних стретч плівок із додаванням матеріалів вторинної переробки

Всі зразки, що мають у своїй структурі вторинні матеріали, показують значення міцності на прокол на 35% нижчі ніж результати для еталона після видовження плівки (на 70% від максимального видовження).

Зразки, що показують найкращі результати, мають у своїй структурі ЛПЕНГ марки DX3, який має кращі показники міцності плівки на прокол та роздирання.

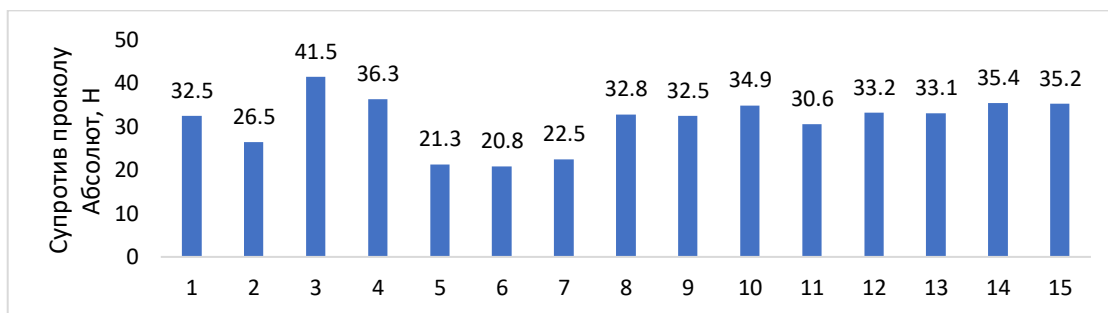


Рисунок 4.14. Міцність на прокол за методом Абсолют для видувної стретч плівки із додаванням матеріалів вторинної переробки

Результати визначення міцності стретч-плівки на прокол за методом Абсолют свідчать, що зразки із вмістом полімеру марки DX3 (3 та 10), показали найвищі значення міцності на прокол. Як і було передбачено, полімери з низьким коефіцієнтом розплавлення мають хорошу стійкість до проколів.

4.2.3. Визначення максимального зусилля утримування видувної стретч плівки із додаванням матеріалів вторинної переробки

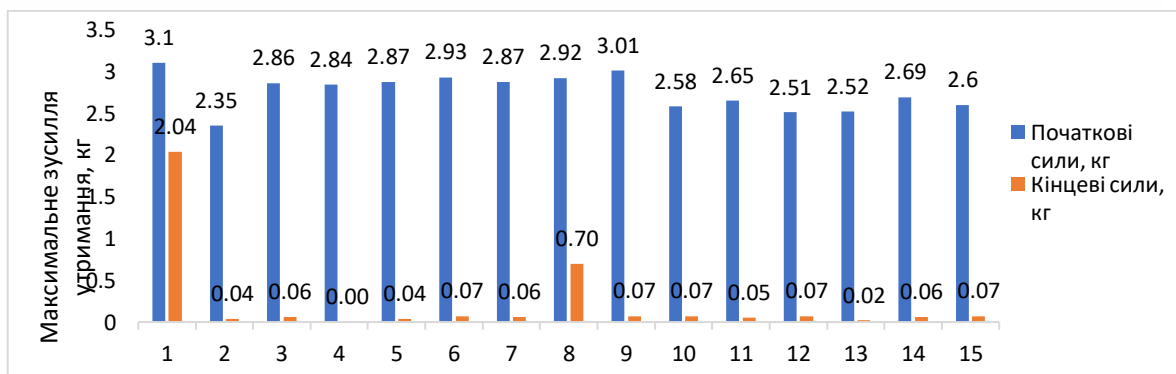


Рисунок 4.15. Максимальне зусилля утримання для видувних стретч-плівок із матеріалами вторинної переробки

При виконанні тесту на визначення міцності утримання зусилля при розтягуванні стретч-плівки усі зразки плівки з PCR зруйнувалися в трьох порівняльних тестах, окрім 8. Найкращий результат порівняно зі еталоном

продемонстрував зразок (9), у складі якого було використано мЛПЕНГ марки ЕТЗ, який має оптимізований баланс відносного видовження, ударної міцності та стійкості до проколу. Рівень розтягу плівки становив 200%.

4.2.4. Визначення опору роздиранню видувної стретч-плівки із додаванням матеріалів вторинної переробки

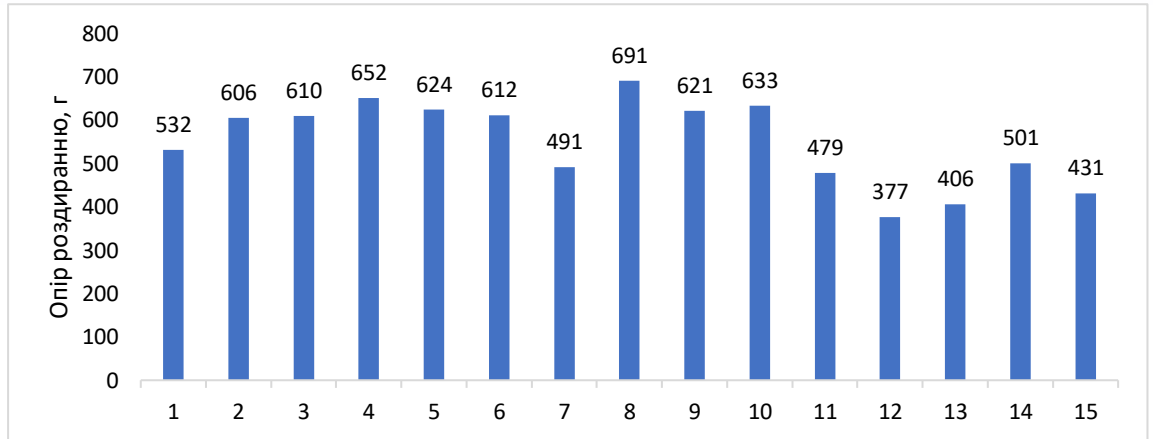


Рисунок 4.16. Опір роздиранню для видувних стретч-плівок із додаванням матеріалів вторинної переробки

Результати дослідження опору роздиранню показали, що зразки (2-6 та 8-10) із вмістом вторинних матеріалів, показали високі значення цього параметру у поперечному напрямку (CD) порівняно із стандартним зразком (1). Такі значення пов'язані із вмістом ЛПЕНГ, тому що цей матеріал має кращі показники міцності плівки на прокол та опору роздиранню.

4.2.5. Визначення зусилля при розриві видувної стретч-плівки із додаванням матеріалів вторинної переробки

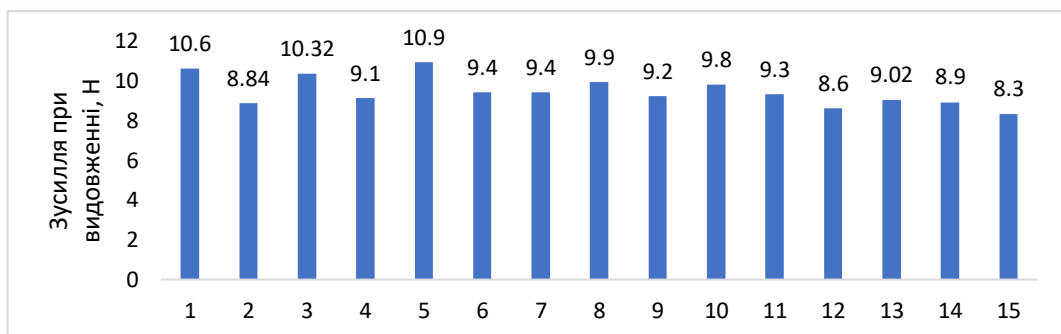


Рисунок 4.17. Зусилля при видовженні для видувних стретч-плівок із додаванням матеріалів вторинної переробки

Результати випробувань на зусилля при розриві показують, що зразки, які містять вторинні матеріали, мають менші значення зусилля при розриві порівняно із еталоном. Найкращі результати показують зразки із вмістом ЛПЕНГ марки DX3 та IT1 (3, 5), так як ці полімери мають хорошу жорсткість і стійкість до розриву.

4.2.6 Визначення максимальної сили зчеплення видувної стретч-плівки із додаванням матеріалів вторинної переробки

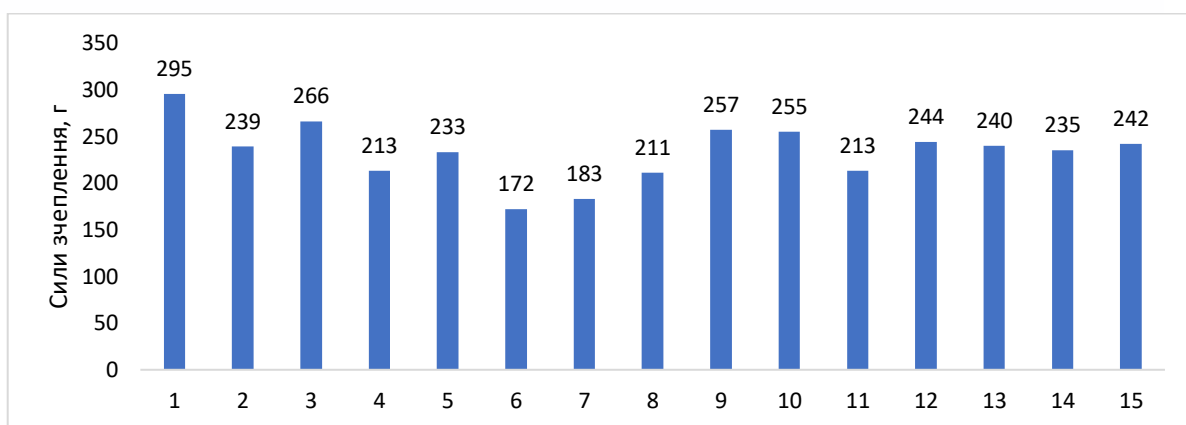


Рисунок 4.18. Сила зчеплення для видувних стретч-плівок із додаванням матеріалів вторинної переробки

Сила зчеплення Highlight показує дуже високі результати в видувних стретч-плівках. Результати мають діапазон у межах: 172 -266 г. Такі високі показники можуть бути спричинені включенням 100% полімеру AF1 у клейкому шарі у всіх зразках.

4.2.7. Визначення відносної кількості геліків у видувних стретч-плівках із додаванням матеріалів вторинної переробки

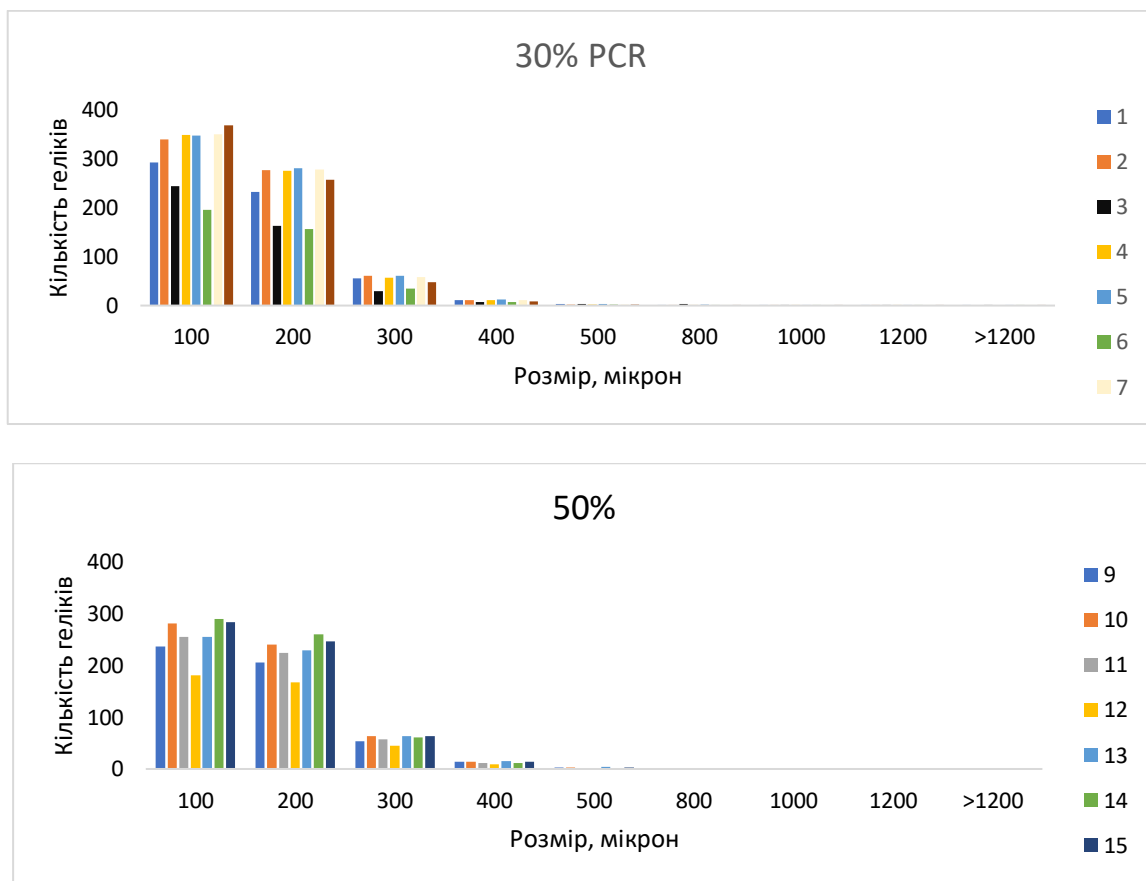


Рисунок 4.19. Кількість геліків у видовних стретч-плівках із додаванням матеріалів вторинної переробки

На рис 4.19 можна побачити кількість геліків в різних зразках плівок, товщиною 23 мкм. Найбільша кількість геліків спостерігається в діапазоні розмірів діаметра 100-300 мкм. Зразки, що містять ЛПЕНГ марок DX3, IT1 та IT2 демонструють найменшу кількість геліків. Кількість великих геліків (>500 мкм) менша порівняно з геліками меншого розміру.

4.3 Порівняння результатів дослідження для каст та видовних плівок із додаванням матеріалів вторинної переробки

У таблиці 4.5 наведені порівняльні результати для зразків-еталонів та зразків з додаванням матеріалів вторинної переробки, отриманих за технологіями каст та видувної коекструзії.

Таблиця 4.5.

Порівняльні результати для зразків-еталонів та зразків з додаванням матеріалів вторинної переробки, отриманих за технологіями каст та видувної коекструзії.

Характеристики	Каст-плівки (еталон)	Каст-плівки із PCR	Різниця значень*, %	Видувні плівки (еталон)	Видувні плівки із PCR	Різниця значень*, %
Максимальне відносне видовження, %	397	378	-4,7	397	382	-3,7

Зусилля при розриві, кг	35,5	44	+23,9	35,5	45	+23,8
Зусилля при видовженні, Н	10	11,6	+16	10,6	10,9	+2,8
Міцність на прокол за методом Абсолют, Н	29,4	34,8	+18,4	32,5	41,5	+27,7
Міцність на прокол за методом Хайлайт, кг	2,34	2,49	+6,4	2,77	1,27	-54,2
Опір роздиранню, г	548	573	+4,6	532	691	+29,8
Максимальна сила зчеплення, г	36,2/ 100,2**	9,9/ 103,2* *	-72,7/ +3**	295	266	-9,8

Максимальне зусилля утримання, початкові сили/кінцеві сили, кг	3,1/ 2,04	3,21/ 0,09	+3,5/ -95,5	3,1/ 2,04	3/0,7	-3,2/ - 70,8
--	--------------	---------------	----------------	--------------	-------	-----------------

** Значення для зразків з удосконаленою рецептурою

4.4 Методика оброблення результатів дослідження

Під час проведення експериментів та дослідів важливим є не тільки отримання, а й опрацювання результатів. Також, потрібно чітко розуміти кількість необхідних повторів для кожного тесту для одержання правильних даних. Цей пункт дипломного проекту буде присвячений методиці розрахунку правильності кількості повторів для тестів на прокол, роздир та видовження для каст та видувних стретч-плівок.

Методика проведення активного експерименту:

1) Прийнявши попередньо кількість повторів кожного дослідів знайдемо середньоарифметичну величину виміру:

$$a_c = \frac{a_1 + a_2 + a_3 + \dots + a_n}{n}$$

де a_c – середньоарифметична величина виміру;

a_1, a_2, \dots і т.д. – значення одиничних вимірів;

n – кількість вимірів.

2) Відхилення для кожного виміру визначаємо як:

$$P_1 = a_1 - a_c \quad P_2 = a_2 - a_c \quad \text{і т. д.} \quad P_n = a_n - a_c$$

3) Середньоарифметична величина відхилень становить:

$$P_c = \frac{|P_1| + |P_2| + |P_3| + \dots + |P_n|}{n}$$

4) Відносна похибка відхилення при заданій кількості n :

$$\delta = \frac{P_c}{a_c} \cdot 100\%$$

Якщо результати відносної похибки становлять більше 10%, то необхідно збільшити величину повторів досліду і перерахувати пункти 3-4.

5) Математичне очікування визначається як:

$$m_a = \sum_1^n a_i P_i,$$

де P_i – імовірність i -тої події.

Під формулюванням математичного очікування розуміють середнє, найбільш імовірне значення випадкової величини, яке у відсутності систематичних похибок відповідає істинному результату експерименту.

б) Визначаємо дисперсію.

Дисперсія – міра розсіювання випадкової величини навкруг її математичного очікування.

$$D = \frac{1}{n} \sum_1^n (a_i - a_c)^2$$

де a_c - середньоарифметичне значення i -тої величини.

7) Середньоквадратичне відхилення визначається як:

$$\sigma_a = \sqrt{D}$$

Середньоквадратичне відхилення використовується для оцінки розсіювання значень випадкової величини. Чим менше значення σ_a , тим меншим буде розсіювання.

Залежно від значення довірної імовірності P та кількості вимірів n з таблиці вибирається коефіцієнт Ст'юдента $\alpha_{ст}$.

Значення P рекомендується задаватись в межах 0,800...0,999.

На основі цих даних визначається довірний інтервал Ст'юдента:

$$\mu_{ст} = \sigma_0 \cdot \alpha_{ст}$$

де $\sigma_0 = \frac{\sigma_a}{\sqrt{n}}$ - «середня помилка»

Прийнятні значення випадкової величини для малої вибірки лежать в межах:

$$a_i = \bar{a} \pm \mu_{ст}$$

При значенні довірчої імовірності $P=0,98$ межі розсіювання будуть дорівнювати абсолютній похибці виміру:

Абсолютна похибка виміру визначається, як:

$$\varepsilon = \Delta a_i \cdot a_{cp};$$

Тоді абсолютна похибка становить:

$$\Delta a = \varepsilon * a_{cp}$$

Середньоквадратичне відхилення σ дорівнює:

$$\sigma = \frac{\Delta a}{3}$$

Знаходимо мінімальну необхідну кількість вимірів за формулою:

$$n_{\min} \geq \left[\frac{t(P)}{\varepsilon} \right]^2 \cdot \sigma^2$$

Де: $t(P)$ - коефіцієнт Ст'юдента, що вибирається по таблиці ,
залежно від P ($P=0,98$ – надійність)

4.4.1 Методика підбору оптимальної кількості повторів тестів для каст стретч-плівок

У Додатку 1, таблицях 4.6-4.8 представлені розрахунки підбору повторів вимірювань для тестів на прокол, роздир та видовження.

Кількість повторів тестувань для тестів на видовження та прокол для каст стретч плівок було обрано 5.

Кількість повторів тестувань для тестів на роздир для каст стретч плівок було обрано 10.

Результати з таблиць 4.6 та 4.7 показують, що оптимальна кількість повторів $n = 3.5$, тобто для отримання точних результатів нам було б достатньо повторити тест 4 разів замість 5.

Результати з таблиці 4.8 показують, що оптимальна кількість повторів $n = 6.5$, тобто для отримання точних результатів нам було б достатньо повторити тест 7 разів замість 10

4.4.2 Методика підбору оптимальної кількості повторів тестів для видувних стретч-плівок

У Додатку 2, таблицях 4.9 – 4.11 представлені розрахунки підбору повторів вимірювань для тестів на прокол, роздир та видовження.

Кількість повторів тестувань для тестів на видовження та прокол для видувних стретч плівок було обрано 5.

Кількість повторів тестувань для тестів на роздир для видувних стретч плівок було обрано 10.

Результати з таблиць 4.9 та 4.10 показують, що оптимальна кількість повторів $n = 3.5$, тобто для отримання точних результатів нам було б достатньо повторити тест 4 разів замість 5.

Результати з таблиці 4.11 показують, що оптимальна кількість повторів $n = 6.5$, тобто для отримання точних результатів нам було б достатньо повторити тест 7 разів замість 10

ВИСНОВКИ

1. Досліджено основні фізико-механічні властивості стретч-плівок різного складу з додаванням вторинної сировини, виготовлених за технологією каст-коекструзії та видувної коекструзії.

2. Проведено моделювання рецептур п'ятишарових стретч-плівок із PCR з метою зменшення негативного впливу вторинної сировини за рахунок використання первинних полімерів, які мають певні властивості, що дозволило сприяти покращенню цих властивостей до прийнятних значень, які не відрізняються від властивостей стандартної п'ятишарової стретч-плівки більш ніж на 5%.

3. Встановлено, що найкращі результати максимального відносного видовження для стретч-плівок з додаванням вторинної сировини, виготовлених, як за технологією каст-коекструзії, так і за технологією видувної коекструзії менш ніж відповідні значення для зразків-еталонів на 4,7% і 3,7% відповідно.

4. Визначено, що найкращі результати таких характеристик, як зусилля при розриві, зусилля при видовженні, міцність на прокол за методом Абсолют, міцність на прокол за методом Хайлайт, опір роздиранню, як для каст, так і для видувних стретч-плівок з PCR перевищують відповідні характеристики для зразків-еталонів за виключенням міцності на прокол за методом Хайлайт для видувної стретч-плівки.

5. Отримано прийнятні значення максимальної сили зчеплення, які перевищують на 3% значення максимальної сили зчеплення для зразка-еталона для каст стретч-плівок з PCR після додаткового моделювання рецептур за рахунок перерозподілення вторинної сировини між шарами плівки. Для видувних стретч-плівок з PCR без додаткового моделювання рецептур плівок значення цього показника було нижче ніж для зразка-еталона на 9,8%, що потребує продовження роботи для покращення цього показника.

6. Отримано результати максимального зусилля утримання для каст і видувних стретч-плівок із PCR, які значно нижче значень для еталонних зразків, покращення цієї характеристики може бути досягнуто за рахунок подальшого моделювання рецептур стретч-плівок.

7. Визначено, що основні фізико-механічні властивості стретч-плівок, виготовлених за технологією каст-коекструзії та видувної коекструзії при додавання вторинної сировини змінюються подібним чином у порівнянні зі зразками-еталонами, за виключенням міцності на прокол за методом Хайлайт.

8. Показано, що моделювання п'ятишарових рецептур каст та видувних стретч плівок з із PCR за рахунок використання певних первинних полімерів здатне забезпечити покращення основних фізико-механічних властивостей стретч плівок із PCR до прийнятних значень.

9. Показано, що ефективно використання каст та видувних стретч плівок з із PCR для обгортання та скріплення транспортних пакетів на піддоні зі збереженням необхідної продуктивності та надійності є перспективним за умови оптимального вибору структури стретч-плівки та технології її виготовлення.

ЛІТЕРАТУРА

1. В.Л. Шредер, В.М. Кривошей, Н.В. Кулик. Полімерна упаковка. К.: Принт Медіа, 2021., 579 с.
2. Каган Д.Ф., Гуль В.Е., Самарина Л.Д. Многослойные и комбинированные пленочные материалы. М. : Химия, 1989. 288 с.
3. Бристон Х., Катан Л.Л. Полимерные пленки / Пер. с англ. под ред. Э.П. Донцовой. М. : Химия, 1993. 384 с.
4. Полимерные пленки / ред. Е.М. Абдель-Бари ; пер. с англ. под ред. Г.Е. Зайкова. СПб. : Профессия, 2005. 350 с.
5. Joachim Nentwig. Kunststoff-Folien. Munchen, Wien : Carl Hanser Verlag, 2000. 214 s.
6. МакКин Л. Влістивості полімерів та еластомерів / Пер. с англ : Наукові технології, 2015. 518 с.
7. Волков С.С. Зчеплення полімерних матеріалів. М. : Хімія, 2001. 376 с.
8. Шредер В.Л., Гавва А.Н., Кривошей В.Н. Упаковка в полимерные пленки. Киев : ИАЦ «Упаковка», 2015. 180 с.
9. Василенок Ю. Властивості полімерів. Л. : Хімія, 1975. 192 с.
10. Малкин А.Я., Аскадский А.А., Коврига В.В. Методики розрахунку властивостей полімерів. М. : Хімія, 1978. 336 с.
11. Grellmann W., Seidler S. Polymer Testing. Carl Hanser Verlag, 2007. 674 s.

- 12.Аліпатова М.Р., Кулик Н.В. Стретч-плівки з додаванням вторинної сировини// Упаковка. 2023. No 1. С. 16–18.
- 13.Рейтлінгер С.А. Проникність полімерних матеріалів. М. : Хімія, 1974. 272 с.
- 14.Малкин А.Я., Чалых А.Е. Дифузія та в'язкість полімерів. : Хімія, 1979. 304 с.
- 15.Басов Н.И., Любартович В.А., Любартович С.А. Контроль якості полімерних матеріалів. М. : Хімія, 1986. 96 с.
- 16.Богданов В.В. Технологічні властивості полімерів, 1978. 176 с.
- 17.Соломенко М.Г., Шредер В.Л., Кривошей В.Н. Тара из полимерных материалов. М. : Химия, 1990. 400 с.
- 18.Осика В.А. Пакувальні матеріали і тара: підручник /В.А. Осика. –К. : Київ. нац. торг.-екон. ун-т, 2006. 372 с.
- 19.Сирохман І.В. Товарознавство пакувальних матеріалів і тари: підручник /І.В. Сирохман, В.М. Завгородня, Л.І. Демкевич. К: ЦНЛ, 2005. 614 с.
- 20.Сирохман І.В., Завгородня В.М. Товарознавство пакувальних матеріалів і тари: Підручник. К.: ЦНЛ, 2009. 616 с.
- 21.Соколенко А. І. Пакувальні матеріали та їх фізико-хімічні властивості : підручник / А. І. Соколенко [та ін.] ; Нац. ун-т харчових технологій. — Київ : Кондор, 2015. 396 с.
- 22.Товарознавство пакувальних матеріалів і тари : навч. посібник Т50 у структур.-лог. схемах / Т. М. Летута, А. Е. Радченко, Л. А. Прибилович, О. С. Круглова. Х. : ХДУХТ, 2017. 180 с.
- 23.Фізико-хімічні властивості пакувальних матеріалів : навч. посіб. для студ. ВНЗ / В. С. Костюк, А. І. Соколенко [и др.]
- 24.CRI-2019012692, “ТАВАКА applier to the design of cast stretch film” Jesus Nieto et all.
- 25.CRI- 2019013596, “Evaluation of high performance machine stretch wrap films that contain up to 50% of a PCR material prepared under controlled and optimized conditions” , El Marrasse Zariouri, Salma et all.

- 26.CRI- 2017002699, “Fundamentals of cast stretch film for industrial production (parts 1, 2, 3)” Ilya Bogomolov et all.
- 27.ASTM D 1709:2009 Standard Test Methods for Impact Resistance
- 28.of Plastic Film by the Free-Falling Dart Method. Philadelphia: American Society for Testing and Materials ASTM D 5458:1995 Standard Test Method for Peel Cling.
- 29.Stretch Wrap Film (Bestimmung der Ablösefestigkeit von Streckfolien). Philadelphia: American Society for Testing and Materials
- 30.Recyclability assessment of laminating adhesives in mono-material flexible plastic packaging, master thesis, Ellen Auch, 2022.
- 31.American Society for Testing and Materials ASTM D4649 covers recommended guidelines and test methods for the selection, specification and use of stretch wrap films for unitizing, reinforcing and palletizing in indoor environments
- 32.American Society for Testing and Materials ASTM D5748-95:2019 Protrusion Puncture Resistance of Stretch Wrap Film
- 33.American Society for Testing and Materials ASTM D1922-09 Propagation Tear Resistance of Plastic Film and Thin Sheeting by Pendulum Method
- 34.American Society for Testing and Materials ASTM D1938-08 Tear-Propagation Resistance (Trouser Tear) of Plastic Film and Thin Sheeting by a Single-Tear Method
- 35.American Society for Testing and Materials ASTM D882-10 for Tensile Properties of Thin Plastic Sheeting
36. Recyclability Evaluation Protocol for PE films VERSION 2.0.
- 37.KAISER, K. ; SCHMID, M. ; SCHLUMMER, M.: Recycling of Polymer-Based Multilayer Packaging: A Review. Basel, 2017
- 38.EUROPEAN PARLIAMENT AND COUNCIL: COMMISSION REGULATION (EC) 282/2008 on recycled plastic materials and articles intended to come into contact with foods and amending Regulation (EC) 2023/2006.

- 39.VDI 2243 Recycling-oriented product development.sciencedirect.com. URL <https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/cast-film-extrusion>.
accessed 2022-02-23
- 40.EMPLOYEE OF THE DOW CHEMICAL COMPANY: Packaging manufacturing processes (Dow-internal confidential presentation).
- 41.BURDETT, I. ; EISINGER, R.: Ethylene Polymerization Processes and Manufacture of Polyethylene. In: SPALDING, M. ; CHATTERJEE, A. (Hrsg.): Handbook of Industrial Polyethylene and Technology. Beverly : Scrivener Publishing LLC, 2018
42. GOMES, J. ; LEE, E. ; NIETO, J. ; PATEL, R.: Polyethylene fundamentals (Dow-internal confidential presentation).
- 43.Market situation report 2021 plastic packaging. Banbury, Oxon : WRAP, 2022
www.plasticseurope.org. URL <https://plasticseurope.org/sustainability/circularity/waste-management-prevention/collection-sorting/>. - accessed 2022-02-14
- 44.The circular economy for plastics - A European Overview. Brussels : PlasticsEurope AISBL, 2019
- 45.RUDOLPH, N. ; KIESEL, R. ; AUMNATE, C.: Understanding Plastics Recycling - Economical, Ecological, and Technical Aspects of Plastic Waste Handling, C.. Munich : Hanser Publications, 2017\
- 46.PLASTICS EUROPE ; EPRO: Plastics - the Facts 2021: An analysis of European plastics production, demand and waste data. Brussels, 2021
- 47.EUROPEAN COMMISSION: A new Circular Economy Action Plan.
- 48.EUROPEAN COMMISSION: A European strategy for plastics in a circular economy.
- 49.GEISSDORFER, M. ; SAVAGET, P. ; BOCKEN, N. ; HULTINK, E.: The Circular Economy - a new sustainable paradigm? In: Journal of Cleaner Production Bd. 143 (2017), Nr. 1
- 50.DOW INC.: 2021 Dow Annual Report. Midland

51.HELGERT, A.: Food & Specialty Packaging: Fresh to Table Application
Focus + Design for Recyclability.

52.Communication from the Commission to the European Parliament, the
Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of
the Regions: A European Strategy for Plastics in a Circular Economy. Brussels,
16.1.2018. URL: [https://eur-lex.europa.eu/legal-
content/EN/TXT/?qid=1516265440535&uri= COM:2018:28:FIN](https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?qid=1516265440535&uri=COM:2018:28:FIN)

ДОДАТОК 1

Таблиця 4.6.

Визначення оптимальної кількості повторів для тесту для визначення супротиву проколу для каст стретч-плівок

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	REF							DX2 + 55.5	ET2 +55.5%	XZ1+ 55.5%
	ET1	ET1	DX2	ET2	XZ1	XZ2	DX3	PCR	PCR	PCR
a1	31.4	26.0	26.1	30.8	25.7	25.2	32.5	30.2	28.1	23.6
a2	27.1	27.3	27.2	32.1	27.7	31.8	31.7	29.6	29.3	26.8
a3	29.7	29.8	29.5	30.8	28.2	31.0	31.8	29.2	29.4	27.6
a4	30.8	29.4	29.5	29.5	26.5	32.2	30.4	27.1	27.7	26.9
a5	28.4	29.7	26.4	27.8	29.8	30.8	32.7	29.7	26.8	26.3
ac	29.5	28.4	27.7	30.2	27.5	30.2	31.8	29.1	28.3	26.2
p1	2.0	-2.4	-1.7	0.6	-1.9	-5.0	0.7	1.1	-0.2	-2.6
p2	-2.4	-1.2	-0.5	1.9	0.1	1.6	-0.1	0.4	1.0	0.5
p3	0.2	1.3	1.7	0.6	0.6	0.8	-0.1	0.0	1.1	1.3
p4	1.3	1.0	1.8	-0.7	-1.1	2.0	-1.4	-2.1	-0.6	0.7
p5	-1.1	1.3	-1.3	-2.4	2.2	0.6	0.9	0.6	-1.4	0.1
pc	1.4	1.4	1.4	1.2	1.2	2.0	0.6	0.8	0.9	1.1
y	4.7	5.0	5.0	4.1	4.3	6.7	1.9	2.9	3.1	4.0

m1	12.5	11.4	10.8	10.8	10.1	32.9	3.1	6.0	4.8	9.4
D	2.5	2.3	2.2	2.2	2.0	6.6	0.6	1.2	1.0	1.9
σ	1.3	1.1	1.1	1.1	1.0	3.3	0.3	0.6	0.5	0.9
Koef st	5.6	5.6	5.6	5.6	5.6	5.6	5.6	5.6	5.6	5.6
σ_0	0.5	0.5	0.4	0.4	0.4	1.3	0.1	0.2	0.2	0.4
mst	2.8	2.5	2.4	2.4	2.3	7.4	0.7	1.3	1.1	2.1
Da	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.5
s	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
n	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5

Таблиця 4.7.

Визначення оптимальної кількості повторів для тесту для визначення видовження для каст стретч-плівок

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	REF ET1	ET1	DX2	ET2	XZ1	XZ2	DX3	DX2 + 55.5 PCR	ET2 +55.5% PCR	XZ1+ 55.5% PCR
a1	8.6	10.5	12.7	10.6	8.8	9.0	10.5	11.3	10.2	10.8
a2	9.9	11.2	10.6	12.1	9.8	9.0	11.4	11.8	11.1	10.1
a3	11.2	9.5	11.8	10.7	10.5	10.3	11.5	11.7	10.1	9.8
a4	10.2	11.0	10.9	10.5	9.9	8.6	12.4	12.4	11.1	12.6
a5	10.2	12.2	10.1	12.1	8.5	10.6	11.8	11.7	9.6	12.9
ac	10.0	10.9	11.2	11.2	9.5	9.5	11.5	11.8	10.4	11.2
p1	-1.5	-0.4	1.5	-0.6	-0.7	-0.5	-1.0	-0.5	-0.2	-0.4
p2	-0.1	0.3	-0.6	0.9	0.2	-0.5	-0.1	0.0	0.7	-1.1
p3	1.2	-1.4	0.6	-0.5	1.0	0.8	0.0	-0.1	-0.3	-1.4
p4	0.2	0.2	-0.3	-0.7	0.4	-0.9	0.9	0.6	0.7	1.4
p5	0.2	1.3	-1.1	0.9	-1.0	1.1	0.3	-0.1	-0.9	1.7
pc	0.6	0.7	0.8	0.7	0.7	0.8	0.5	0.2	0.5	1.2
y	6.3	6.5	7.3	6.4	7.0	8.0	4.1	2.1	5.2	10.8
m1	3.6	3.9	4.3	2.7	2.7	3.2	2.0	0.6	1.8	8.1
D	0.7	0.8	0.9	0.5	0.5	0.6	0.4	0.1	0.4	1.6
σ	0.4	0.4	0.4	0.3	0.3	0.3	0.2	0.1	0.2	0.8

Koef st	5.6	5.6	5.6	5.6	5.6	5.6	5.6	5.6	5.6	5.6
σ_0	0.1	0.2	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1	0.0	0.1	0.3
mst	0.8	0.9	1.0	0.6	0.6	0.7	0.4	0.1	0.4	1.8
Da	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
s	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
n	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5

Таблиця 4.8.

Визначення оптимальної кількості повторів для тесту для визначення супротиву роздиру для каст стретч- плівок

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	REF ET1	ET1	DX2	ET2	XZ1	XZ2	DX3	DX2 + 55.5 PCR	ET2 +55.5% PCR	XZ1+ 55.5% PCR
a1	643.0	460.0	457.0	544.0	518.0	378.0	547.0	668.0	652.0	375.0
a2	569.0	489.0	502.0	437.0	411.0	434.0	692.0	492.0	447.0	463.0
a3	563.0	463.0	418.0	447.0	398.0	404.0	665.0	483.0	388.0	424.0
a4	559.0	505.0	391.0	427.0	404.0	388.0	483.0	463.0	427.0	476.0
a5	505.0	457.0	421.0	463.0	421.0	418.0	606.0	447.0	418.0	411.0
a6	505.0	427.0	398.0	427.0	375.0	424.0	578.0	492.0	421.0	467.0
a7	578.0	460.0	470.0	398.0	375.0	450.0	483.0	505.0	414.0	375.0
a8	518.0	454.0	473.0	470.0	398.0	470.0	634.0	424.0	368.0	444.0
a9	521.0	489.0	375.0	418.0	470.0	401.0	457.0	544.0	418.0	394.0
a10	525.0	454.0	408.0	486.0	391.0	408.0	591.0	463.0	431.0	441.0
ac	548.6	465.8	431.3	451.7	416.1	417.5	573.6	498.1	438.4	427.0
p1	94.4	-5.8	25.7	92.3	101.9	-39.5	-26.6	169.9	213.6	-52.0
p2	20.4	23.2	70.7	-14.7	-5.1	16.5	118.4	-6.1	8.6	36.0
p3	14.4	-2.8	-13.3	-4.7	-18.1	-13.5	91.4	-15.1	-50.4	-3.0
p4	10.4	39.2	-40.3	-24.7	-12.1	-29.5	-90.6	-35.1	-11.4	49.0
p5	-43.6	-8.8	-10.3	11.3	4.9	0.5	32.4	-51.1	-20.4	-16.0

p6	-43.6	-38.8	-33.3	-24.7	-41.1	6.5	4.4	-6.1	-17.4	40.0
p7	29.4	-5.8	38.7	-53.7	-41.1	32.5	-90.6	6.9	-24.4	-52.0
p8	-30.6	-11.8	41.7	18.3	-18.1	52.5	60.4	-74.1	-70.4	17.0
p9	551.6	500.8	333.3	399.7	488.1	348.5	396.6	618.1	488.4	377.0
p10	-23.6	-11.8	-23.3	34.3	-25.1	-9.5	17.4	-35.1	-7.4	14.0
pc	840.8	638.2	609.6	647.5	733.0	540.5	913.1	986.0	905.7	643.4
y	153.3	137.0	141.3	143.4	176.2	129.4	159.2	198.0	206.6	150.7
m1	318327.6	238096.0	161724.1	196797.3	222222.9	153467.5	292644.8	353165.7	267788.8	174084.0
D	1656.4	455.0	1562.4	1563.6	1814.9	710.3	5811.2	4188.9	5511.0	1254.4
σ	828.2	227.5	781.2	781.8	907.4	355.1	2905.6	2094.4	2755.5	627.2
Koef st	7.7	7.7	7.7	7.7	7.7	7.7	7.7	7.7	7.7	7.7
σ_0	165.6	91.0	312.5	312.7	363.0	142.1	1162.2	837.8	1102.2	250.9
mst	1275.5	700.6	2406.1	2408.0	2794.9	1093.8	8949.3	6450.9	8487.0	1931.8
Da	11.0	9.3	8.6	9.0	8.3	8.4	11.5	10.0	8.8	8.5
s	3.7	3.1	2.9	3.0	2.8	2.8	3.8	3.3	2.9	2.8
n	6.6	6.6	6.6	6.6	6.6	6.6	6.6	6.6	6.6	6.6

ДОДАТОК 2

Таблиця 4.9.

Визначення оптимальної кількості повторів для тесту для визначення супротиву проколу для видувних стретч-плівок.

	DX3 REF	ET 30%	DX3 30%	DX4 30%	IT1 30%	IT2 30%	DX5 30%	ET4 30%	ET3 50%	DX3 50%	DX4 50%	IT1 50%	IT2 50%	DX5 50%	ET4 50%
a1	35.6	28.1	38.5	34.0	32.5	18.2	21.7	28.9	35.8	33.1	32.2	32.5	31.0	37.2	33.6
a2	33.6	27.1	45.3	41.6	30.6	20.2	22.6	32.5	34.4	33.9	32.0	33.4	34.3	40.0	36.5
a3	32.7	25.7	42.3	30.0	31.5	20.9	23.6	34.1	32.4	35.4	32.5	33.5	32.3	31.0	35.8
a4	32.8	24.3	47.0	38.6	24.1	22.7	22.7	35.5	29.1	38.5	26.8	32.1	31.5	36.4	35.6
a5	27.3	27.4	34.7	37.7	34.8	22.3	22.4	33.8	30.8	33.6	29.7	34.9	36.3	32.9	35.1
ac	32.4	26.5	41.5	36.4	30.7	20.9	22.6	32.9	32.5	34.9	30.6	33.3	33.1	35.5	35.3
p1	3.2	1.5	-3.0	-2.4	1.8	-2.6	-0.9	-4.0	3.3	-1.8	1.5	-0.8	-2.1	1.7	-1.7
p2	1.2	0.6	3.7	5.2	-0.1	-0.7	0.0	-0.5	1.9	-1.0	1.4	0.2	1.2	4.5	1.2
p3	0.3	-0.8	0.7	-6.4	0.8	0.0	1.0	1.2	-0.1	0.5	1.8	0.2	-0.8	-4.5	0.5
p4	0.4	-2.2	5.4	2.2	-6.6	1.8	0.1	2.5	-3.4	3.6	-3.8	-1.2	-1.6	0.9	0.3
p5	-5.1	0.9	-6.9	1.4	4.1	1.4	-0.1	0.9	-1.7	-1.3	-0.9	1.6	3.2	-2.6	-0.2
pc	2.0	1.2	4.0	3.5	2.7	1.3	0.4	1.8	2.1	1.7	1.9	0.8	1.8	2.8	0.8
y	6.3	4.6	9.5	9.7	8.7	6.4	1.9	5.5	6.3	4.7	6.2	2.3	5.4	7.9	2.2
m1	38.0	9.2	100.1	81.1	63.4	12.8	1.9	25.0	28.8	19.4	23.0	4.7	19.2	50.2	4.8
D	7.6	1.8	20.0	16.2	12.7	2.6	0.4	5.0	5.8	3.9	4.6	0.9	3.8	10.0	1.0

σ	3.8	0.9	10.0	8.1	6.3	1.3	0.2	2.5	2.9	1.9	2.3	0.5	1.9	5.0	0.5
Koef st	5.6	5.6	5.6	5.6	5.6	5.6	5.6	5.6	5.6	5.6	5.6	5.6	5.6	5.6	5.6
σ_0	1.5	0.4	4.0	3.2	2.5	0.5	0.1	1.0	1.2	0.8	0.9	0.2	0.8	2.0	0.2
mst	8.5	2.1	22.4	18.2	14.2	2.9	0.4	5.6	6.4	4.4	5.2	1.1	4.3	11.2	1.1
Da	0.6	0.5	0.8	0.7	0.6	0.4	0.5	0.7	0.7	0.7	0.6	0.7	0.7	0.7	0.7
s	0.2	0.2	0.3	0.2	0.2	0.1	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
n	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5

Таблиця 4.10.

Визначення оптимальної кількості повторів для тесту для визначення видовження для видувних стретч-плівок.

	DX3	ET	DX3	DX4	IT1	IT2	DX5	ET4	ET3	DX3	DX4	IT1	IT2	DX5	ET4
	REF	30%	30%	30%	30%	30%	30%	30%	50%	50%	50%	50%	50%	50%	50%
a1	11.1	10.0	9.6	7.8	11.8	9.5	9.7	10.5	8.1	10.8	9.5	8.4	7.6	9.4	8.4
a2	12.3	8.9	10.9	10.2	10.3	8.9	9.8	9.1	9.7	8.9	8.8	9.2	9.3	10.0	7.5
a3	9.6	9.2	8.6	8.2	11.1	9.6	9.2	9.5	9.5	8.7	9.7	9.8	8.6	9.4	9.7
a4	10.4	8.4	10.9	10.0	11.6	10.1	9.8	10.7	9.8	10.5	10.0	7.4	10.1	7.6	8.1
a5	9.4	7.8	11.7	9.3	10.7	9.0	8.5	10.0	8.8	10.2	8.7	8.4	9.6	7.9	7.7
ac	10.6	8.8	10.3	9.1	11.1	9.4	9.4	10.0	9.2	9.8	9.3	8.6	9.0	8.9	8.3
p1	0.5	1.1	-0.7	-1.3	0.7	0.1	0.3	0.5	-1.0	1.0	0.2	-0.3	-1.5	0.5	0.2
p2	1.7	0.1	0.6	1.0	-0.8	-0.5	0.4	-0.8	0.5	-0.9	-0.5	0.6	0.3	1.2	-0.7
p3	-1.0	0.3	-1.8	-0.9	0.0	0.2	-0.2	-0.4	0.3	-1.1	0.3	1.2	-0.5	0.6	1.4
p4	-0.2	-0.5	0.6	0.9	0.5	0.7	0.4	0.7	0.6	0.7	0.7	-1.3	1.0	-1.3	-0.2
p5	-1.2	-1.0	1.3	0.2	-0.4	-0.4	-0.9	0.1	-0.4	0.4	-0.6	-0.2	0.6	-1.0	-0.6
pc	0.9	0.6	1.0	0.9	0.5	0.4	0.4	0.5	0.6	0.8	0.5	0.7	0.8	0.9	0.6
y	8.7	6.9	9.7	9.7	4.4	4.0	4.5	5.1	6.2	8.4	5.0	8.1	8.5	10.4	7.6
m1	5.6	2.7	6.1	4.5	1.6	1.0	1.2	1.7	1.9	3.7	1.3	3.4	3.8	4.7	2.9
D	1.1	0.5	1.2	0.9	0.3	0.2	0.2	0.3	0.4	0.7	0.3	0.7	0.8	0.9	0.6
σ	0.6	0.3	0.6	0.5	0.2	0.1	0.1	0.2	0.2	0.4	0.1	0.3	0.4	0.5	0.3
Koef st	5.6	5.6	5.6	5.6	5.6	5.6	5.6	5.6	5.6	5.6	5.6	5.6	5.6	5.6	5.6

σ_0	0.2	0.1	0.2	0.2	0.1	0.0	0.0	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.2	0.2	0.1
mst	1.3	0.6	1.4	1.0	0.3	0.2	0.3	0.4	0.4	0.8	0.3	0.8	0.9	1.1	0.7
Da	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
s	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
n	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5

Таблиця 4.11.

Визначення оптимальної кількості повторів для тесту для визначення видовження для видувних стретч-плівок.

	DX3 REF	ET 30%	DX3 30%	DX4 30%	IT1 30%	IT2 30%	DX5 30%	ET4 30%	ET3 50%	DX3 50%	DX4 50%
a1	665.0	581.0	566.0	686.0	652.0	606.0	404.0	659.0	394.0	575.0	492.0
a2	483.0	591.0	606.0	575.0	631.0	606.0	408.0	771.0	470.0	556.0	521.0
a3	424.0	640.0	572.0	581.0	594.0	686.0	434.0	745.0	421.0	556.0	447.0
a4	603.0	603.0	649.0	760.0	625.0	634.0	486.0	695.0	476.0	518.0	434.0
a5	480.0	609.0	643.0	757.0	544.0	581.0	531.0	668.0	437.0	655.0	525.0
a6	713.0	609.0	603.0	606.0	637.0	492.0	559.0	606.0	441.0	862.0	431.0
a7	509.0	620.0	622.0	652.0	668.0	671.0	544.0	662.0	411.0	566.0	499.0
a8	521.0	215.0	600.0	537.0	695.0	628.0	447.0	677.0	424.0	563.0	531.0
a9	421.0	599.0	649.0	686.0	613.0	622.0	431.0	692.0	354.0	774.0	454.0
a10	499.0	601.0	550.0	883.0	585.0	594.0	437.0	739.0	371.0	585.0	457.0
ac	531.8	566.8	606.0	672.3	624.4	612.0	468.1	691.4	419.9	621.0	479.1
p1	133.2	14.2	-40.0	13.7	27.6	-6.0	-64.1	-32.4	-25.9	-46.0	12.9
p2	-48.8	24.2	0.0	-97.3	6.6	-6.0	-60.1	79.6	50.1	-65.0	41.9
p3	-107.8	73.2	-34.0	-91.3	-30.4	74.0	-34.1	53.6	1.1	-65.0	-32.1
p4	71.2	36.2	43.0	87.7	0.6	22.0	17.9	3.6	56.1	-103.0	-45.1
p5	-51.8	42.2	37.0	84.7	-80.4	-31.0	62.9	-23.4	17.1	34.0	45.9
p6	181.2	42.2	-3.0	-66.3	12.6	-120.0	90.9	-85.4	21.1	241.0	-48.1

p7	-22.8	53.2	16.0	-20.3	43.6	59.0	75.9	-29.4	-8.9	-55.0	19.9
p8	-10.8	-351.8	-6.0	-135.3	70.6	16.0	-21.1	-14.4	4.1	-58.0	51.9
p9	431.8	950.8	655.0	821.3	542.4	606.0	452.1	706.4	349.9	832.0	402.1
p10	-32.8	34.2	-56.0	210.7	-39.4	-18.0	-31.1	47.6	-48.9	-36.0	-22.1
pc	1062.7	1591.4	839.6	1439.0	818.7	941.8	882.2	1033.0	539.2	1502.6	702.1
y	199.8	280.8	138.5	214.0	131.1	153.9	188.5	149.4	128.4	242.0	146.5
m1	314754.2	690059.0	408448.0	654565.7	356399.8	396266.0	240818.1	509864.0	161090.1	637052.0	207563.7
D	8632.0	13981.8	1126.0	10055.2	1692.0	2555.4	2997.3	2145.0	1389.7	11150.6	1361.5
σ	4316.0	6990.9	563.0	5027.6	846.0	1277.7	1498.6	1072.5	694.8	5575.3	680.7
Koef st	7.7	7.7	7.7	7.7	7.7	7.7	7.7	7.7	7.7	7.7	7.7
σ_0	863.2	1398.2	112.6	1005.5	169.2	255.5	299.7	214.5	139.0	1115.1	136.1
mst	6646.6	10766.0	867.0	7742.5	1302.9	1967.7	2307.9	1651.7	1070.1	8586.0	1048.3
Da	10.6	11.3	12.1	13.4	12.5	12.2	9.4	13.8	8.4	12.4	9.6
s	3.5	3.8	4.0	4.5	4.2	4.1	3.1	4.6	2.8	4.1	3.2
n	6.6	6.6	6.6	6.6	6.6	6.6	6.6	6.6	6.6	6.6	6.6

Продовження таблиці 4.11

	IT1 50%	IT2 50%	DX5 50%	ET4 50%
a1	348.0	480.0	496.0	404.0
a2	341.0	338.0	434.0	460.0

y	195.2	139.9	186.9	139.2
m1	211906.0	144720.5	254030.1	205336.0
D	2063.8	1695.7	4798.7	385.6
σ	1031.9	847.8	2399.3	192.8
Koef st	7.7	7.7	7.7	7.7
σ_0	206.4	169.6	479.9	38.6
mst	1589.1	1305.7	3695.0	296.9
Da	7.5	8.1	10.0	8.6
s	2.5	2.7	3.3	2.9
n	6.6	6.6	6.6	6.6