



НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ

**НАУКОВИЙ ЖУРНАЛ**

**Харчова**  
**ПРОМИСЛОВІСТЬ**

Заснований у 1965 р.

**31-32**

Київ НУХТ 2022

УДК 678.027.3'06:621.798

## PHYSICAL AND MECHANICAL PROPERTIES OF STRETCH FILMS USING SECONDARY RAW MATERIALS

**N. Kulyk, M. Alipatova***National University of Food Technologies*

---

**Key words:**

stretch film,  
physical and mechanical  
properties,  
secondary raw materials,  
cast extrusion

**Article history:**

Received 26.11.2022  
Received in revised form  
15.12.2022  
Accepted 21.12.2022

**Corresponding author:**

nataliya.kulyk@ukr.net

---

**ABSTRACT**

Current EU regulations and the growing demand for sustainable packaging solutions require the inclusion of recycled polymer materials in non-food packaging. Therefore, the development of recipes for new stretch films with the inclusion of recycled materials and the study of their physical and mechanical properties is an urgent task.

The article deals with the study of physical and mechanical properties of stretch films made by cast extrusion technology using secondary raw materials. Samples of 5-layer stretch film were produced and tested at the R&D center of the Dow Chemical Company, Tarragona, where one of the authors completed a one-year internship. Highlight Ultimate equipment, Tarragona TS&D Lab determined the main physical and mechanical characteristics of stretch films, namely: maximum relative elongation ( $E_b$ ) and force ( $M_b$ ) of the film at break, holding force ( $M_{hf}$ ), puncture strength of the film ( $M_{pr}$ ). Various primary polymers with certain properties were used to model the formulations of stretch films with the addition of secondary raw materials. It is shown that the modeling of recipes of stretch films with the addition of secondary raw materials due to the use of primary polymers that have certain properties can contribute to the improvement of the main physical and mechanical properties of stretch films to acceptable values, which do not differ by more than 5—7% from the corresponding properties of stretch films without the addition of secondary raw materials. The obtained results allow us to draw a conclusion about the prospects of effective use of stretch films using secondary raw materials for wrapping transport pallets while maintaining productivity and reliability. The work should be continued in the direction of modeling the recipes of stretch films using secondary raw materials to ensure acceptable values of all the main physical and mechanical parameters in one film sample.

---

DOI: 10.24263/2225-2916-2022-31-32-12

---

## ФІЗИКО-МЕХАНІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ СТРЕТЧ-ПЛІВОК З ВИКОРИСТАННЯМ ВТОРИННОЇ СИРОВИНИ

Н. В. Кулик, канд.хім.наук

М. Р. Аліпатова

Національний університет харчових технологій

*Стаття стосується дослідження фізико-механічних властивостей стретч-плівок, виготовлених за технологією каст-екструзії з використанням вторинної сировини. Для моделювання рецептур п'ятишарових стретч-плівок з додаванням вторинної сировини використовувались різні первинні полімери, які мають певні властивості. Показано що, такий підхід сприяє поліпшенню основних фізико-механічних властивостей стретч-плівок до прийнятних значень, які не відрізняються від відповідних властивостей стретч-плівки без додавання вторинної сировини більш ніж на 5—7%. Отримані результати підтверджують перспективність ефективного використання стретч-плівок з використанням вторинної сировини для обгортання транспортних палет зі збереженням продуктивності та надійності.*

**Ключові слова:** стретч-плівка, фізико-механічні властивості, вторинна сировина, каст-екструзія.

**Постановка проблеми.** В умовах впровадження економіки замкненого циклу у 2018 р. Європейська комісія прийняла новий комплекс заходів — Circular Economy Package, спрямований на реалізацію Плану дій для економіки замкненого циклу. До нього входять такі документи:

Загальноєвропейська Стратегія ЄС щодо полімерів у циркулярній економіці [1] 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, Стратегія передбачає таке бачення економічної політики щодо полімерів:

- виробництво пластмас і 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 дають змогу підвищити рівень перероблення полімерів у всіх ключових сферах 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, порівняного 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 в 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 CO<sub>2</sub>, відповідно до зобов'язань, передбачених Паризькою угодою тощо.

Провідні світові компанії галузі спрямовують потужні зусилля у напрямку розробки нових високотехнологічних якісних пакувальних матеріалів з використанням вторинної сировини. Всесвітньовідомий виробник полімерів — компанія Dow Chemical є одним із лідерів у цій сфері інновацій. Для забезпечення ефективного вирішення цього та інших завдань компанія приділяє велику увагу відбору та підготовці кваліфікованих фахівців, для чого впродовж декількох років реалізує програму стажувань для студентів з усього світу.

Використання вторинної сировини у пакувальних полімерних матеріалах є і буде нагальною потребою та важливою вимогою розвитку пакувальної галузі, в тому числі виробництва пакувальних полімерних матеріалів для транспортних палет.

**Огляд останніх досліджень і публікацій.** Полімерні термозбіжні та стретч-плівки широко використовуються для обгортання та скріплення будь-яких товарів або вантажів на піддонах. Завдяки своїм властивостям, зокрема можливості сильно розтягуватися при дії докладеного 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). Стретч-плівку виготовляють двома способами — за технологією каст-екструзії (83,4%), за технологією екструзії з роздувом — лише 16,6% (рис. 2) [2].



Рис. 1. Структура світового ринку засобів скріплення вантажів на піддонах, побудовано за даними AMI Consulting

З іншого боку, на ринку збільшується кількість вторинної сировини у вигляді перероблених відходів виробів, в тому числі упаковки, з різних полімерів. Така вторинна сировина, навіть після її обробки, містить велику кількість домішок, що погіршує механічні властивості виготовлених з неї матеріалів, в тому числі полімерних плівок. Використання такої сировини для виробництва плівок можливе лише при її змішуванні з первинним полімером. У пропонованій статті досліджували мож-

ливистість використання вторинної полімерної сировини для виготовлення п'ятишарової стретч-плівки, яка може ефективно використовуватися для обгортання та скріплення вантажів у транспортних пакетах на піддонах без шкоди для продуктивності та їх надійності і стабільності.

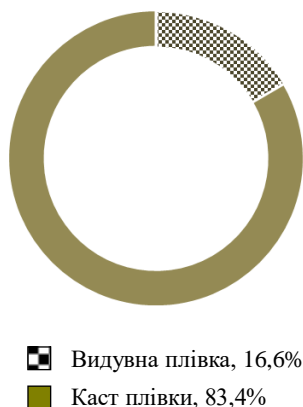


Рис. 2. Структура ринку стретч плівок за технологіями їх виробництва, побудовано за даними AMI Consulting

**Мета дослідження:** визначення перспектив ефективного використання п'ятишарових стретч-плівок, виготовлених за технологією каст-екструзії з додаванням вторинної сировини для обгортання транспортних палет зі збереженням продуктивності та надійності на основі аналізу основних фізико-механічних властивостей цих плівок.

**Матеріали і методи.** Для дослідження використовували зразки з п'ятишарової стретч-плівки товщиною 23 мкм, яку виготовляли на екструзійній лінії Dolci в Tagragona TS&D Lab [3]. Як полімерні шари такої стретч-плівки використовували поліетилен ультранизької 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) [4] (табл. 1).

Таблиця 1. Полімери, які використовувались для виготовлення стретч-плівки

Умовне позначення полімеру	Тип полімеру	Густина [г/см <sup>3</sup> ]	Індекс розплаву [г/10 хв]
A1	уПЕНГ	0.904	4
D1	ЛПЕНГ	0.917	2,3
D2	ЛПЕНГ	0.918	3,5
D3	ЛПЕНГ	0.916	4
E1	мЛПЕНГ	0.916	4
E2	мЛПЕНГ	0.912	3,7
PCR	рПЕНГ:ЛПЕНГ(7:3)	0.920	2,5

Склад п'ятишарових стретч-плівок формували, зважаючи на властивості певних марок полімерів:

1. ЛПЕНГ марки D1 має високу ударну міцність і міцність на розрив.

2. ЛПЕНГ марки D2 поєднує технологічність переробки, необхідну міцність і відносне видовження.

3. ЛПЕНГ марки D3 має достатню стійкість до проколу та розриву.

4. мЛПЕНГ марки E1 відрізняється фізико-механічними властивостями, особливо відносним видовженням.

5. мЛПЕНГ марки E2 характеризується оптимізованим балансом відносного видовження, ударної міцності та стійкості до проколу.

6. уПЕНГ марки A1 має зчеплювальні властивості, тому був використаний для клінг-шару.

Склад шарів досліджуваних зразків п'ятишарової стретч-плівки наведений у табл. 2.

Таблиця 2. Структура досліджуваних зразків п'ятишарової стретч-плівки

№ зразка плівки	10%* (шар А)	10%* (шар В)	50%* (шар С)	20%* (шар D)	10%* (шар Е)	Загалом PCR,%
1	D1	E1	E1	E1	A1:E1 (7:3)	0
2	D1	E1	PCR	PCR	A1:E1 (7:3)	49
3	D1	D2	PCR	PCR	A1:D2 (7:3)	49
4	D1	E2	PCR	PCR	A1:E2 (7:3)	49
5	D1	D3	PCR	PCR	A1:D3 (7:3)	49

У всіх зразках шари А, В і Е мали 10%, шар D — 20%, а шар С — 50% від загальної маси зразка. Зразки (2—5) у своєму складі в шарах С і D мали 49% суміші PCR. У шарах А, С, D та Е зразків (2—5) використовували однакові марки полімерних матеріалів. А в шарі В у зразках (2—5) змінювали марки полімерів, щоб перевірити вплив різних полімерів на фізико-механічні властивості плівки [5]. Як зразок (1) використали стандартну стретч-плівку, параметри та властивості якої гарантують ефективне використання її для надійного обгортання та скріплення вантажів у транспортних пакетах на піддонах. Фізико-механічні властивості зразків п'ятишарової стретч-плівки визначали на обладнанні Highlight Ultimate в Tarragona TS&D Lab (рис. 3). При цьому властивості плівки досліджували у порядку пріоритетності при використанні їх для обгортання та скріплення вантажів у транспортному пакеті на піддоні: максимальне відносне видовження ( $E_p$ ) та зусилля ( $M_p$ ) плівки при розриві, зусилля утримання ( $M_{ym}$ ), міцність плівки на прокол ( $M_{np}$ ) [6].

$E_p$  у (%) та  $M_p$  у (кг) визначали при розтягуванні плівки на приладі Highlight Ultimate з двома роликками, один з яких обертався з постійною швидкістю, а швидкість іншого поступово зменшувалася для досягнення максимального видовження і подальшого розриву зразка плівки. Для визначення  $M_{ym}$  у (кг) використовували прилад в обладнанні Highlight Ultimate, в якому на зразок плівки поступово на довжину 7,5 см висувався спеціальний закруглений накінецьник (рис. 5). Фіксувалось первинне прикладене зусилля та зусилля при розриві плівки. Тест симулював умови транспортування вантажу, коли плівка підлягає тиску з боку незагостреного виступу.

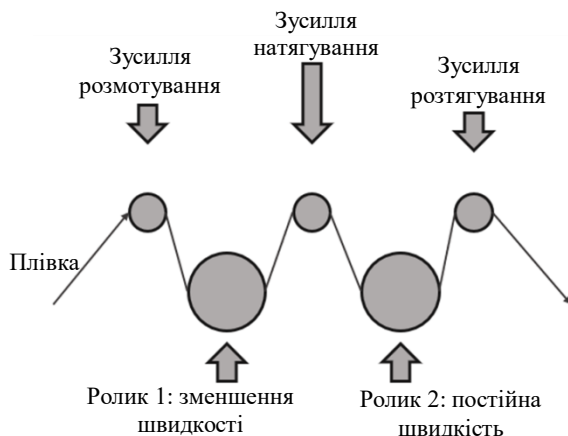


Рис. 3. Схема обладнання Highlight Ultimate для дослідження фізико-механічних властивостей плівок

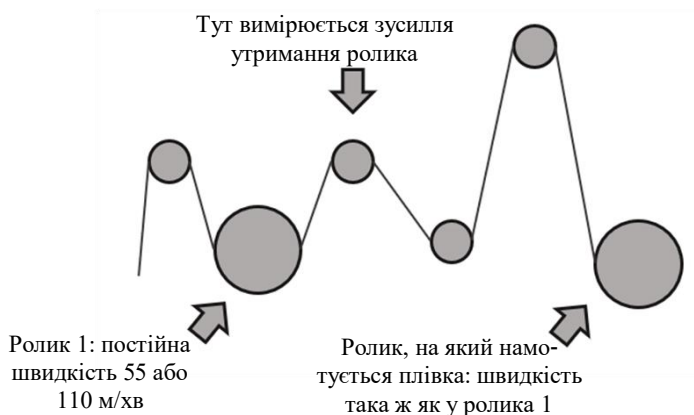


Рис. 4. Схема обладнання Highlight Ultimate для дослідження утримування зусилля плівки та міцності на прокол



Рис. 5. Зразок плівки при визначенні зусилля утримання плівкою

Визначення міцності до проколу виконувалось аналогічно попередньому тесту, але використовували загострений накінецьник, який видовжувався на 10 см. Цей тест слугує для імітації впливу гострого предмета на піддоні (рис. 6). Плівка розтягувалась на 70% від максимального відносного видовження зі швидкістю 55 м/хв.

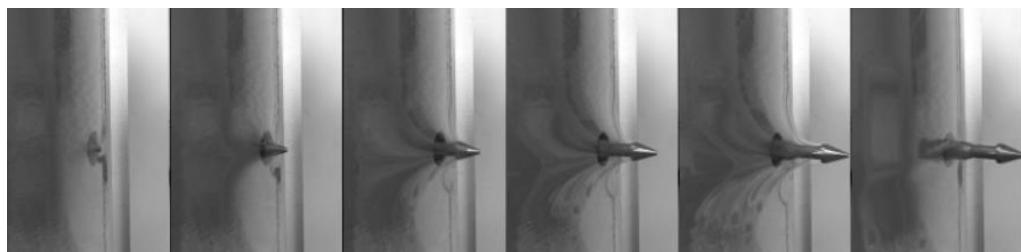


Рис. 6. Зразок плівки при визначенні стійкості до проколу

**Результати дослідження.** За результатами визначення максимального видовження (рис. 7) найкращий результат порівняно зі зразком 1, який не містить вторинних матеріалів, мали зразки 2 і 3, в яких у шарі В були застосовані полімери E1 і D2, які забезпечували баланс технологічності переробки, механічних властивостей і відносного видовження.

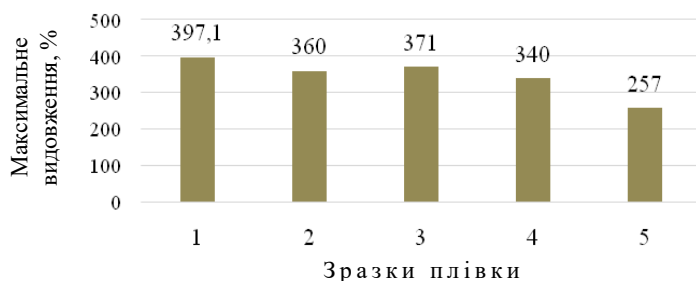


Рис. 7. Максимальне видовження при розриві зразків п'ятишарової стретч-плівки

Результати визначення зусилля при розриві (рис. 8) демонструють більш високі значення для всіх зразків плівок з вторинними матеріалами порівняно зі зразком 1, який їх не містить.

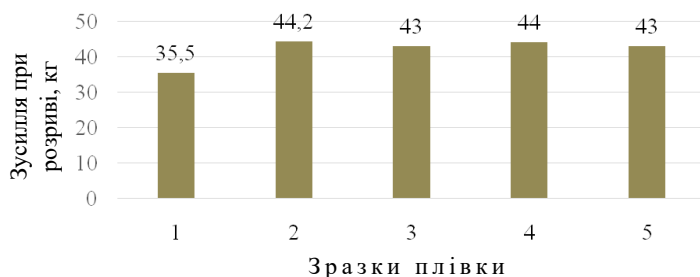


Рис. 8. Зусилля при розриві зразків п'ятишарової стретч-плівки

При виконанні тесту на визначення міцності на утримання (рис. 9) всі зразки плівки з PCR (2—5) порвалися три рази. Найкращі результати порівняно зі зразком-еталоном продемонстрував зразок 4, у складі якого використано полімер E2, який

має оптимізований баланс відносного видовження, ударної міцності та стійкості до проколу.

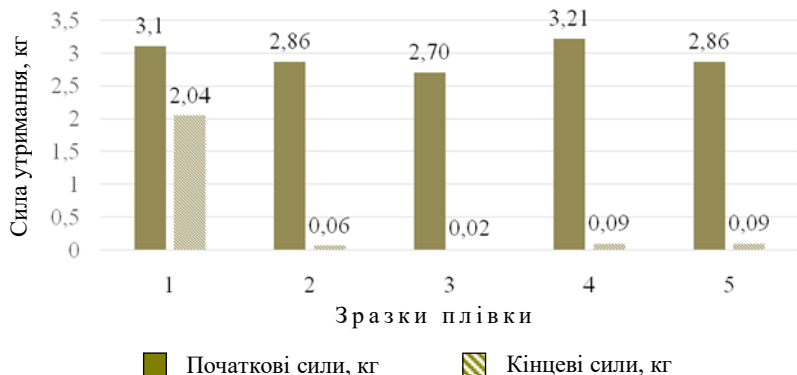


Рис. 9. Утримання зразків п'ятишарової стретч-плівки

Результати визначення стійкості на прокол свідчать (рис. 10), що зразок 5 має навіть більшу стійкість до проколу порівняно зі зразком 1. Це можна пояснити тим, що в рецептурі зразка 5 був застосований полімер D3, який покращує стійкість до проколу та розриву.

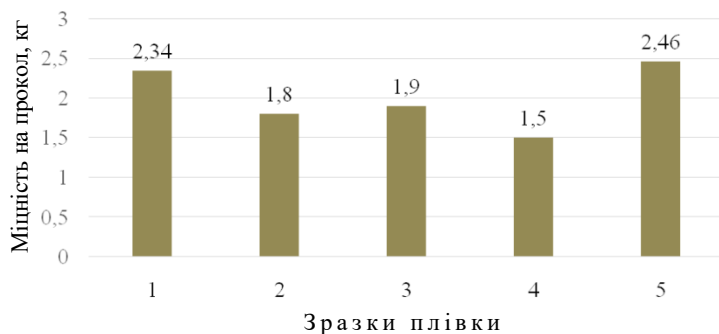


Рис. 10. Міцність на прокол зразків п'ятишарової стретч-плівки

**Висновки.** 1. Результати визначення основних фізико-механічних характеристик стретч-плівок з використанням вторинної сировини та їх порівняння з відповідними параметрами стандартної стретч-плівки дають змогу зробити висновок, що вони є прийнятними, тому що не відрізняються від відповідних параметрів стандартної стретч-плівки більш ніж на 5—7%. Ці результати є підставою для перспектив ефективного використання стретч-плівок з додаванням вторинної сировини для обгортання транспортних палет зі збереженням продуктивності та надійності.

2. Показано, що моделювання рецептур стретч-плівок з додаванням вторинної сировини за рахунок використання первинних полімерів, які мають певні властивості, покращують властивості стретч-плівок до прийнятних значень.

3. Дослідження буде продовжене в напрямку моделювання рецептур стретч-плівок з використанням вторинної сировини для забезпечення прийнятних значень всіх основних фізико-механічних параметрів в одному зразку плівки.

*Подяка: автори висловлюють щире подяку компанії Dow Chemical за можли-*

*вість стажування студентів НУХТ у R&D центрі компанії Dow Chemical, Таррагона, а також Стефану Юнге, професору Берлінського університету прикладних наук за сприяння в організації стажування, за допомогу і підтримку українських студентів і України у складні часи російської агресії.*

### **ЛІТЕРАТУРА**

1. 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: Issued 16<sup>th</sup> of January 2018: (official text).
2. Palletization films. The global market 2020. A research report from AMI consulting. December 2020, 232 pages.
3. Wagner, J. R. Handbook of Troubleshooting Plastic Processes: A Practical Guide/ John Wagner, 2012.
4. El Marrasse, Zariouri. 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, 2020.
5. Levy, S. Plastics extrusion technology handbook, (2nd Ed.) / Levy S., Carley J. F — Industrial Press, 1989.
6. Шредер, В. Л. Полімерна упаковка: монографія / В. Л. Шредер, В. М. Кривошей, Н. В. Кулик. К.: Принт Медіа, 2021. 579 с.