

<https://doi.org/10.30857/2786-5371.2024.5.4>

УДК 678.65.  
98.41

БУЛГАКОВ Є. С., РОЗВОРА Л. В., САВЧЕНКО Б. М.,  
СОВА Н. В., СЛЄПЦОВ О. О.

Київський національний університет технологій та дизайну, Україна

## ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНА ОЦІНКА ЗАСТОСУВАННЯ МІНЕРАЛЬНОГО НАПОВНЮВАЧА У ВИРОБНИЦТВІ ПЛІВКИ З ПОЛІЕТИЛЕНУ

**Мета дослідження.** Метою даної статті є техніко-економічна оцінка впливу використання карбонату кальцію в якості наповнювача у поліетиленових плівках.

**Методи дослідження.** Густина плівкових зразків визначали за ISO 1183 методом гідростатичного зважування. Об'ємну та масову собівартість плівкової композиції визначали за розрахунковими формулами. Міцність та відносне видовження при розриві для досліджуваних зразків визначали за ISO 527.

**Результати.** Проаналізовано способи модифікації полімерних матеріалів шляхом введення в них різних добавок, що здатні регулювати властивості кінцевих виробів. Розглянуто можливості застосування карбонату кальцію як модифікатора властивостей поліетиленових плівок, зокрема регулювання густин кінцевих виробів та зниження собівартості. Отримано плівки з поліетилену низької густини марки Sabic LDPE HP2023J з різним вмістом наповнювача карбонату кальцію з використанням концентрату марки Omyalene 2021 виробництва Omya AG, що містить 70% наповнювача. Коефіцієнт роздуву плівки складав 2,5, а коефіцієнтом повздовжнього витягування – 4,5. Визначено густина отриманих плівок розрахунковим способом за методом адитивності та методом вимірювання. Встановлено, що введення карбонату кальцію до 16% зумовлює зниження густини плівки на 8,6%, що ймовірно зумовлено кавітаційним ефектом. Об'ємна собівартість композиції, що містить 40% наповнювача на 2,5% нижче за вартість вихідного поліетилену низької густини, що дозволяє ефективно застосовувати карбонат кальцію як наповнювач для здешевлення плівкових композицій. Введення до 30% наповнювача дозволяє зберегти рівень механічних властивостей, придатний для застосування поліетиленових плівок, хоча густина плівки зростає при цьому.

**Наукова новизна.** Встановлено вплив наповнювача на основі карбонату кальцію на механічні властивості плівки з поліетилену низької густини.

**Практична значимість.** Встановлено межі раціонального вмісту наповнювача при застосуванні розрахунку вартості до одиниці об'єму готової продукції.

**Ключові слова:** поліетилен низької густини; карбонат кальцію; густина; плівка; собівартість.

**Вступ.** Полімери є найбільш масовими матеріалами сучасності. Необхідність у функціональній модифікації полімерів призвела до того, що вони досить рідко використовуються у чистому вигляді і зазвичай є складовими продукту модифікації – полімерних матеріалів або пластиків. Найпоширенішими шляхами модифікації є створення сумішей з гомогенними та гетерогенними матеріалами, котрі відомі під назвами полімерні суміші та полімерні композити [1]. Полімерні композити утворюються з полімерної матриці або зв'язуючого та наповнювача, котрий має відмінну хімічну будову (гетерогенність) та чітку межу розподілу фаз [2]. Наповнювачі в полімерних композитах – це матеріали, що мають визначену форму та розмір часток та визначені характеристики їх статистичного розподілу, а також певні характеристики поверхні. За механізмом впливу наповнювачі можуть бути активними та пасивними, але найбільш поширеними є саме пасивні наповнювачі або скорочено – наповнювачі. Застосування наповнювачів у складі полімерних матеріалів дозволяє модифікувати численні корисні властивості, зокрема колір поверхні, густина, реологічні властивості, собівартість одиниці маси та об'єму та багато інших [3].

Найбільше застосування як наповнювачі для полімерних матеріалів знайшли матеріали природнього та штучного походження на основі карбонату кальцію. Наповнювачі на основі карбонату кальцію промислово одержуються двома шляхами: переробкою сировини природнього походження з вмістом карбонату кальцію або хімічним перетворенням сировини з виділення карбонату кальцію. Найбільше промислове значення мають мінерали, що містять карбонат кальцію – мрамур, кальцит, вапняк, крейда. В залежності від геологічного походження структура мінералів суттєво відмінна, але в загальному, структура карбонату кальцію може мати виражену кристалічну або аморфну складову. Мінеральне походження сировини та технологія подрібнення визначають основні якісні характеристики наповнювача, такі як гранулометричний склад, ступінь білизни, питома поверхня та форма часток, сипучість та насипна густина. Наповнювачі, призначені для застосування у галузі полімерів, зазвичай проходять поверхневу обробку хімічного або фізичного характеру. Вона як правило здійснюється під час подрібнення, або як окрема стадія процесу виробництва наповнювача. Для поверхневої обробки найчастіше використовують стеаринову кислоту, органічні сполуки кремнію – силани та сполуки цирконієвої і титанової кислоти та мінеральні олії. Поверхнева обробка наповнювача покращує змочування часток полімерним розплавом та покращує адгезію на межі контакту [4, 5].

Останнім часом на ринку з'являються карбонати кальцію, оброблені і іншими органічними сполуками, такі як Omyafiber, Omyamax, Omya Smartfill, та ін. від флагману на ринку карбонату кальцію, компанії Omya. Нові типи обробки карбонату кальцію необхідні для покращення розподілу наповнювача в полімерній матриці, але самі речовини, що використовуються для обробки, приховуються компанією як комерційна таємниця [6].

Карбонат кальцію може виконувати цілу низку корисних функцій в якості наповнювача: він може бути пігментом, модифікатором реології, матуючою добавкою, антиблокуючим агентом для плівок, нейтральним наповнювачем для біорозкладних пластиків, доданком для підвищення щільності, модифікатором розподілу інших наповнювачів або барвників, модифікатором механічних характеристик (підвищення модулю пружності, зменшення розтріскування) тощо, але в більшості випадків, українські виробники полімерних виробів додають карбонат кальцію з єдиною метою – здешевлення кінцевого виробу.

Далі у статті буде продемонстровано, що карбонат кальцію далеко не завжди здешевлює кінцевий виріб. Буде окремо розібрано сфери застосування карбонату кальцію. Але, спершу, введемо поняття об'ємної вартості полімерів.

Постачальники полімерних матеріалів та наповнювачів до них, завжди виставляють ціни на свої матеріали у гривнях (або іншій валюті) за одиницю ваги. Так само за вагою ведуться усі типи обліку в аналітичних компаніях, що займаються аналізом ринку та всередині самих компаній, що переробляють полімери. Собівартість у внутрішньому обліку на підприємствах також рахується у гривнях за кілограм готової продукції. Проте ніхто, фактично, не враховує об'ємну вартість сировини, яку вони закупають. Хоча цей параметр є набагато важливішим для кінцевого споживача. Ми купуємо плівку або шпалери у гривнях за метр квадратний, пакети-майка в магазинах або вазони для квітів – у гривнях за одиницю, труби або шланги для поливу – у гривнях за метри довжини. Практично жоден полімерний виріб не доходить до кінцевого споживача у гривнях за кілограм. Наприклад, в умовах жорсткого та висококонкурентного українського ринку, якому притаманні риси споживчого тероризму, українські виробники вимушені давати знижки мережам роздрібної торгівлі, котрих не так багато, задля збереження своєї долі на ринку та об'єму виробництва для підтримання самого підприємства. Самі знижки розраховуються в якості відсотків від ціни кінцевого виробу (знову ж, ці ціни вказуються у грн/од., грн/м, грн/м<sup>2</sup>). Необхідність зниження цін штовхає підприємців до зниження собівартості виробів. З огляду на собівартість свого

продукту у грн/кг (як ми сказали раніше, вся сировина для переробки доходить до підприємця у грн/кг), підприємець «наочно» бачить найбільш простий та очевидний спосіб економії: додати більше дешевого компоненту своєї суміші та менше дорогого компоненту. Як правило, дешевим компонентом є карбонат кальцію, а дорогим – сам базовий полімер. Проте, вплив доданого карбонату кальцію на щільність кінцевого виробу залишається «підводним каменем», на який зважають далеко не всі. А як раз зміна щільності виробу є критичним фактором цього розрахунку, адже зниження масової собівартості виробу за рахунок введення карбонату кальцію зовсім нелінійно знижує об'ємну собівартість того ж виробу.

**Постановка завдання.** Метою даної статті є техніко-економічна оцінка впливу використання карбонату кальцію в якості наповнювача у поліетиленових плівках.

**Вихідні дані.** Для досліджень було використано поліетилен низької густини марки Sabic LDPE HP2023J, концентрат наповнювача марки Omyalene 2021 виробництва Omya AG, що містить 70% наповнювача.

Плівкові зразки з різним вмістом наповнювача було одержано на лабораторній лінії видування плівок «SCM20 film blowing machine» виробництва «LJ Machine», КНР. Технологічні параметри виготовлення плівок відповідали типовим умовам переробки в промислових умовах. Коефіцієнт роздуву 2,5. Коефіцієнт повздовжнього витягування 4,5. Температурний профіль екструдера 170–200–195°C, кільцева голівка – 200–205°C. Плівкові зразки у вигляді рукава використовувалися для визначення густини методом гідростатичного зважування на вагах Radwag AS 220.R2. Міцність при розриві та відносне видовження дослідних зразків визначали на розривні машині P50 за ISO 527.

Для розрахунку собівартості композиції сировини у поліетиленовій плівці було використано усереднені ціни за типом сировини на вибрані досліджувані матеріали у об'ємній та масовій вартості, що представлені в табл.1.

Таблиця 1

Ціни полімеру та добавки у 2024 році

Полімер	Ціна, грн/кг	Щільність, кг/дм <sup>3</sup>	Ціна, грн/дм <sup>3</sup>
ПЕ низької густини	59	0,92	54,28
70% концентрат наповнювача на основі карбонату кальцію	32	2,01	64,32

Розрахунок собівартості композиції проводили за наступними формулами [7]:

Масова собівартість  $C_m$ :

$$C_m = \sum_{i=1}^n N_i * C_i / M,$$

де  $n$  – кількість матеріалів;  $N_i$  – витрати матеріалу  $i$ -го найменування;  $C_i$  – ціна матеріалу  $i$ -го найменування;  $M$  – маса отриманого продукту.

Об'ємна собівартість  $C_{об}$ :

$$C_{об} = \sum_{i=1}^n N_i * C_i / \sum_{i=1}^n N_i / \rho_i,$$

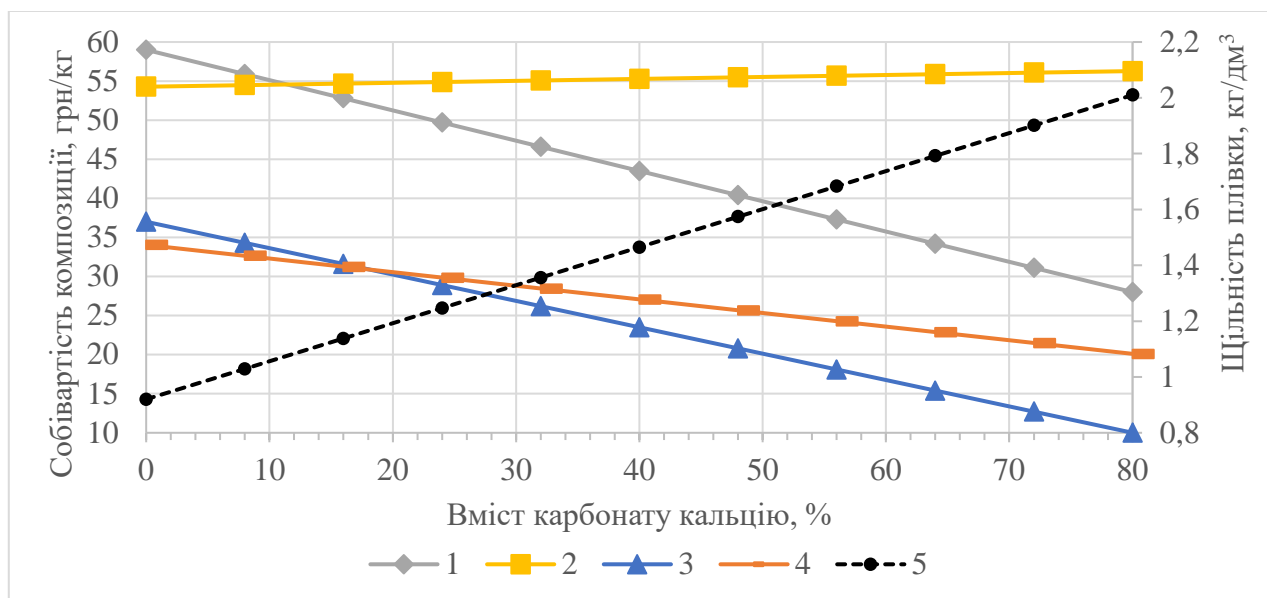
де  $n$  – кількість матеріалів;  $N_i$  – витрати матеріалу  $i$ -го найменування;  $C_i$  – ціна матеріалу  $i$ -го найменування;  $\rho_i$  – щільність матеріалу  $i$ -го найменування.

Теоретичний розрахунок щільності композиції проводили за наступною формулою:

$$\rho_k = \sum_{i=1}^n C_i * \rho_i,$$

де  $n$  – кількість компонентів;  $C_i$  – масова частка компоненту  $i$ -го найменування;  $\rho_i$  – щільність компоненту  $i$ -го найменування.

**Результати дослідження.** Розглянемо використання концентрату наповнювача на основі карбонату кальцію у плівках, виготовлених методом роздуву для виробництва пакетів типу майка. Так, за формулами, наведеними вище, проведемо розрахунок об'ємної та масової собівартості композиції для плівки, виготовленої з поліетилену низької густини за цінами 2024 року та зобразимо отримані результати графічно (рис. 1).



Легенда: 1 – масова собівартість композиції 2024, грн/кг; 2 – об'ємна собівартість композиції 2024, грн/дм³; 3 – масова собівартість композиції 2020, грн/кг; 4 – об'ємна собівартість композиції 2020, грн/дм³; 5 – розрахункова щільність плівки, кг/дм³.

**Рис. 1. Залежність розрахункової об'ємної та масової собівартості композиції для плівки, виготовленої з поліетилену низької густини від вмісту карбонату кальцію**

Розрахункова масова собівартість такої композиції (1) закономірно знижується. Але зміна об'ємної собівартості (2) виглядає вкрай неочевидною, особливо враховуючи те, що типове введення наповнювача на основі карбонату кальцію українського виробника поліетиленових пакетів складає цілих 40%. Як можна бачити з графіку, об'ємна собівартість композиції є вищою за вартість чистого поліетилену.

Виникає цілком закономірне запитання: навіщо виробники плівки це роблять і невже ніхто раніше не помітив, що таких підхід не призводить до економії? Відповідь на це питання полягає у ринкових умовах, що наразі створено на ринку: карбонат кальцію порівняно дешевий продукт, його вартість у, наприклад, Туреччині, – основній країні-виробнику дрібнодисперсного карбонату кальцію, що постачається в Україну, може складати 40–45 доларів США за 1000 кг.

Величезний вплив на вартість карбонату кальцію має вартість логістики. Після повномасштабної російської агресії на початку 2022 року, дешеві морські логістичні шляхи закрилися і вартість карбонату кальцію суттєво підвищилась, в той час як ціни на полімери почали знижуватись. Таким чином, баланс цін, що тримався роками, суттєво змінився. Для порівняння, наведемо залежність тих самих розрахунків, але з цінами у 2020 році (де ціна на поліетилен складала близько 0,9 дол. США/кг, а карбонат кальцію – 0,5 дол. США/кг):

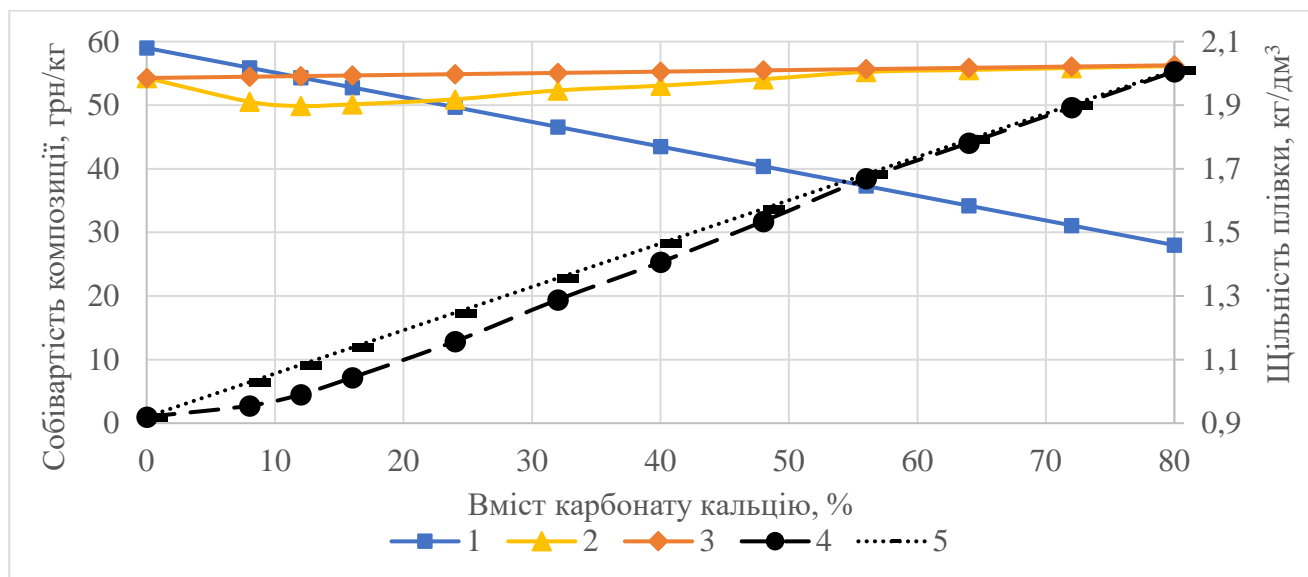
Із огляду на рис. 1, видно, що до зміни балансу цін, введення карбонату кальцію до поліетиленових плівок працювало більш закономірно: масова собівартість (3) лінійно і пропорційно знижувалась, об'ємна собівартість (4) також знижувалась, але не так стрімко.

Така ситуація на ринку зберігалась десятиріччями, що створило стійкий стереотип щодо економічної ефективності використання карбонату кальцію у поліетиленовій плівці.

Проте з таких прямих розрахунків є і виключення. По-перше, прямий розрахунок щільності не буде коректним у випадку орієнтації виробів. Відомо, що біаксіально-орієнтовані плівки при введенні карбонату кальцію практично не змінюють своєї щільності, а інколи їх щільність навіть знижується до  $0,7-0,75 \text{ кг/дм}^3$ , що значно менше за щільність поліпропілену ( $0,93 \text{ кг/дм}^3$ ) завдяки утворенню кавітаційних порожнин [8–11]. Утворення порожнин спостерігається і при одержанні рукавних плівок, хоча вона зазнає значно менш інтенсивної орієнтації під час формування у розплаві.

Нами було проведено серію дослідів із вимірювання щільності плівки, виготовленої з поліетилену низької густини з різним вмістом наповнювача на основі карбонату кальцію. Для плівки з поперечним роздувом у розмірі 2,5 крат та повздовжньою витяжкою 4,5 крат (типова кратність витяжки плівки, виготовленої методом роздуву) густина спочатку знижується на 8,6% (при введенні карбонату кальцію до 16%), після чого поступово зростає, хоча при вмісті наповнювача 80% все ж таки на 0,2% нижче – розрахованої. Така відмінність у значення густини зумовлена ймовірно ефектом кавітації – утворення мікропор внаслідок витягування плівки. Тому включимо в розрахунки виміряну густину плівки для врахування ефекту кавітації.

Для більшої наочності, знову ж наведемо залежність зміни об'ємної та масової собівартості композиції для плівки, виготовленої з поліетилену низької щільності залежно від ступеня введення наповнювача карбонату кальцію за цінами 2024 року з урахуванням кавітаційного ефекту у вигляді графіку та порівняємо їх із розрахунковими даними без урахування кавітацій (рис. 2).



Легенда: 1 – масова собівартість композиції 2024, грн/кг; 2 – об'ємна собівартість композиції (за виміряною щільністю) 2024, грн/дм<sup>3</sup>; 3 – розрахункова об'ємна собівартість композиції (за розрахунковою щільністю) 2024, грн/дм<sup>3</sup>; 4 – виміряна щільність плівки, кг/дм<sup>3</sup>; 5 – розрахункова щільність плівки, кг/дм<sup>3</sup>.

Рис. 2. Залежність об'ємної та масової собівартості композиції для плівки, виготовленої з поліетилену низької густини залежно від вмісту карбонату кальцію за цінами 2024 року

Як можна бачити з графіку, виміряні значення густини плівки, що містить наповнювач відрізняються від розрахованих. При вмісті наповнювача 16% виміряна густина нижча за

розраховану на 8,6%. Завдяки цьому собівартість плівкової композиції знизилась на 8,3%. Відмінність вимірної густини від розрахованої ймовірно пов'язана з негомогенним приляганням часток наповнювача до полімерної матриці. Виявлена відмінність густини позитивно впливає на техніко-економічні показники виробництва. При вмісті наповнювача 40%, об'ємна собівартість такої композиції на 2,5% нижче за вартість вихідного поліетилену.

Оцінка міцності при розриві та відносного видовження для плівкових зразків є важливим аспектом при експлуатації готових виробів. В табл. 2 наведено механічні властивості зразків плівок з різним вмістом наповнювача, виготовлених методом екструзії з роздувом.

Таблиця 2

**Механічні властивості зразків плівок та сумішей**

№	Вміст наповнювача, % мас	Щільність, кг/дм <sup>3</sup>	Видовження при розриві, %	Міцність при розриві, МПа
1	0	0,92	950	26
2	8	0,95	1050	26
3	16	1,04	750	24
4	24	1,16	560	19
5	32	1,29	480	17
6	40	1,41	430	13
7	48	1,57	360	8
8	56	1,68	170	4
9	64	1,79	-	-
10	72	1,90	-	-
11	80	2,01	-	-

Зразки з вмістом наповнювача понад 70% виявилися технологічно непридатними для виготовлення на лабораторній установці, внаслідок втрати технологічних властивостей. Прийнятний для подальшого застосування рівень механічних властивостей зберігається при вмісті наповнювача від 0 до 50%. При вмісті наповнювача до 30% спостерігається збереження рівня механічних властивостей, придатного для більшості застосувань поліетиленових плівок.

**Висновки.** Розглянуто вплив введення карбонату кальцію на собівартість плівкових композицій на основі поліетилену низької густину. Встановлено, що введення наповнювача карбонату кальцію у поліетиленову плівку в кількості 15% приводить до зниження об'ємної собівартості композиції на 8%. При введенні 40% наповнювача вдається отримати зниження об'ємної собівартості плівкової композиції на 2,5%, що зумовлено ймовірно явищем кавітаційного ефекту при орієнтації плівки. Введення наповнювача понад 40% призводить до зростання об'ємної собівартості композиції вище за вартість вихідної первинної сировини і застосування наповнювача є недоцільним.

Введення високоякісного наповнювача дозволяє забезпечити прийнятні механічні властивості плівок на основі поліетилену до вмісту наповнювача 30%.

Об'ємна собівартість композиції майже не залежить від вмісту наповнювача. Зниження собівартості за рахунок ймовірного кавітаційного ефекту має більш вагомий внесок в економічний ефект, ніж введення наповнювача. Застосування наповнювача на основі карбонату кальцію є доцільним при реалізації готової продукції на вагу, а не у кількісному вимірі. Дані розрахунки сильно залежать від співвідношення цін на первинну сировину та концентрат наповнювача на локальному ринку України. Розрахунки собівартості, проведені в цінах 2020 року ілюструють іншу динаміку впливу наповнювача на собівартість.

На ринку України користується популярністю концентрат наповнювача на основі вторинної полімерної сировини, що потребує окремих досліджень техніко-економічних показників плівкових композицій.

### References

1. Graziano, A., Jaffer, S., Sain, M. (2019). Review on modification strategies of polyethylene/polypropylene immiscible thermoplastic polymer blends for enhancing their mechanical behavior. *Journal of elastomers & plastics*, No. 51 (4), P. 291–336.
2. Parida, S. K. et al. (2024). Introduction of Polymers and Polymer Composites: Basic Fundamentals." *Polymer Composites: Fundamentals and Applications. Singapore: Springer Nature Singapore*, 2024. P. 1–37.
3. Moharana, S., Sahu, B. B., Nayak, A. K., Tiwari, S. K. (eds.) (2024). *Polymer Composites: Fundamentals and Applications*. Springer Nature.
4. Qiu, J., Lyu, J. W., Yang, J. L., Cui, K. B., Liu, H. Z., Wang, G. F., Liu, X. (2024). Review on Preparation, Modification and Application of Nano-Calcium Carbonate. *Particle & Particle Systems Characterization*, 2400097.
5. Zakirova, L. Y., Galimzyanova, R. Y., Khakimullin, Y. N. (2024). The Effect of Calcium Carbonate on the Properties of Sealing Compositions Based on Low-Molecular-Weight Polyethylene. *Polymer Science, Series D*, No. 17 (2), P. 311–314.
6. Omyafiber. URL: <https://www.omya.com/en/products/polymers/omyafiber>.
7. Прокопівний С. Ф. (2001). *Економіка підприємства: підручник* [Enterprise economics: a textbook]. Kyiv: KNEU [in Ukrainian].
8. Mobley, G., Boutelle, T., Garrett, S., Joiner, L. (2002). Effect of calcium carbonate on the abrasive wear of melt processing equipment in filled systems. *Journal of Vinyl and Additive Technology*, 2002, P. 271–277.
9. Yuksekkalayci, C., Yilmazer, U., Orbey, N. (1999). Effects of nucleating agent and processing conditions on the mechanical, thermal, and optical properties of biaxially oriented polypropylene films. *Polymer Engineering & Science*, 1999, P. 1216–1222.
10. Brunner, M. (2017). Calcium Carbonate CaCO<sub>3</sub> as cavitation and voiding agents in biaxially oriented films. Edana.
11. Zgheib, N., Seif, S., El Hajj, N. (2019). PP-CBW/m-LLDPE/micro-CaCO<sub>3</sub> composite films manufactured from bumper waste by blown film extrusion. *MATEC Web of Conferences*, 2019, 03001.

### Література

1. Graziano A., Jaffer S., Sain M. Review on modification strategies of polyethylene/polypropylene immiscible thermoplastic polymer blends for enhancing their mechanical behavior. *Journal of elastomers & plastics*. 2019. No. 51 (4). P. 291–336.
2. Parida, S. K. et al. Introduction of Polymers and Polymer Composites: Basic Fundamentals. *Polymer Composites: Fundamentals and Applications*. Singapore: Springer Nature Singapore, 2024. P. 1–37.
3. Moharana S., Sahu B. B., Nayak A. K., Tiwari S. K. (eds.) *Polymer Composites: Fundamentals and Applications*. Springer Nature, 2024.
4. Qiu J., Lyu J. W., Yang J. L., Cui K. B., Liu H. Z., Wang G. F., Liu X. Review on Preparation, Modification and Application of Nano-Calcium Carbonate. *Particle & Particle Systems Characterization*, 2024. 2400097.
5. Zakirova L. Y., Galimzyanova R. Y., Khakimullin Y. N. The Effect of Calcium Carbonate on the Properties of Sealing Compositions Based on Low-Molecular-Weight Polyethylene. *Polymer Science, Series D*. 2024. No. 17 (2). P. 311–314.
6. Omyafiber. URL: <https://www.omya.com/en/products/polymers/omyafiber>.
7. Прокопівний С. Ф. *Економіка підприємства: підручник*. Київ: КНЕУ, 2001.
8. Mobley G., Boutelle T., Garrett S., Joiner L. Effect of calcium carbonate on the abrasive wear of melt processing equipment in filled systems. *Journal of Vinyl and Additive Technology*. 2002. P. 271–277.
9. Yuksekkalayci C., Yilmazer U., Orbey N. Effects of nucleating agent and processing conditions on the mechanical, thermal, and optical properties of biaxially oriented polypropylene films. *Polymer Engineering & Science*. 1999. P. 1216–1222.
10. Brunner M. Calcium Carbonate CaCO<sub>3</sub> as cavitation and voiding agents in biaxially oriented films. Edana, 2017.
11. Zgheib N., Seif S., El Hajj N. PP-CBW/m-LLDPE/micro-CaCO<sub>3</sub> composite films manufactured from bumper waste by blown film extrusion. *MATEC Web of Conferences*, 2019, 03001.

**BULHAKOV YEVHENII**

Postgraduate Student,  
Department of Chemical Technologies and  
Resource Saving, Kyiv National University  
of Technologies and Design, Ukraine  
E-mail: [Yevhenii.bulhakov97@gmail.com](mailto:Yevhenii.bulhakov97@gmail.com)

**SAVCHENKO BOHDAN**

Doctor of Technical Sciences, Professor,  
Department of Chemical Technologies and  
Resource Saving, Kyiv National University  
of Technologies and Design, Ukraine  
<https://orcid.org/0000-0002-8636-5734>  
Scopus Author ID: 56685269800  
E-mail: [1079@ukr.net](mailto:1079@ukr.net)

**ROZVORA LYUBOMIR**

Postgraduate Student,  
Department of Chemical Technologies and  
Resource Saving, Kyiv National University  
of Technologies and Design, Ukraine  
E-mail: [lew.9.bv@gmail.com](mailto:lew.9.bv@gmail.com)

**SOVA NADIYA**

Doctor of Technical Sciences, Professor,  
Department of Chemical Technologies and  
Resource Saving, Kyiv National University  
of Technologies and Design, Ukraine  
<https://orcid.org/0000-0003-3550-6135>  
Scopus Author ID: 56685569600  
E-mail: [djanc@ukr.net](mailto:djanc@ukr.net)

**SLIEPTSOV ALEXANDR**

PhD, Assistant,  
Department of Chemical Technologies and  
Resource Saving, Kyiv National University  
of Technologies and Design, Ukraine  
<https://orcid.org/0000-0002-0608-1855>  
Scopus Author ID: 57189215952  
E-mail: [slyepcov.oo@kntd.edu.ua](mailto:slyepcov.oo@kntd.edu.ua)

**BULHAKOV Y. S., ROZVORA L. V., SAVCHENKO B. M., SOVA N. V., SLIEPTSOV A. O.**  
Kyiv National University of Technologies and Design, Ukraine

**TECHNICAL AND ECONOMIC EVALUATION OF MINERAL FILLER APPLICATION  
IN POLYETHYLENE FILM PRODUCTION**

**Purpose.** The purpose of this article is to make assessment of the raw material composition cost for polyethylene film with calcium carbonate base filler.

**Methodology.** The density of the film samples was determined according to ISO 1183 by hydrostatic weighing. The volume and mass cost of the film composition was determined by the calculation formulas. Blown film with different filler content was obtained on laboratory extrusion equipment. The strength and relative elongation at break for the tested samples were determined according to ISO 527.

**Findings.** The methods of modifying polymeric materials by introducing various additives that can regulate the properties of final products are analyzed. The possibilities of using calcium carbonate as a modifier of the properties of polyethylene films, in particular, to regulate the density of final products and reduce their cost, are considered. Low-density polyethylene films of the Sabic LDPE HP2023J brand with different content of calcium carbonate filler were obtained using Omya AG's Omyalene 2021 concentrate containing 70% filler. The film blow-up coefficient was 2.5, and the longitudinal stretching coefficient was 4.5. The density of the obtained films was calculated by the additive method and the measured by hydrostatic weighting method. It was found that calcium carbonate filler content 16% causes a decrease in film density by 8.6% comparing to calculated value, which is probably due to the cavitation or interface effect. The volume cost of the composition containing 40% of the filler is 2.5% lower than the cost of the original low-density polyethylene, which makes it possible to effectively use calcium carbonate as a filler to reduce the cost of film compositions. The introduction of up to 30% of filler allows maintaining the level of mechanical properties suitable for the industrial use of polyethylene films, with corresponding density increases.

**Originality.** The effect of a filler based on calcium carbonate on the mechanical properties of a low-density polyethylene film was determined.

**Practical value.** The limits of the rational content of the filler when applying the cost calculation to the unit volume of the finished product are established.

**Keywords:** low-density polyethylene; calcium carbonate; density; film composition cost.