

УДК 655.677. 21

ЛАЗЕРНІ ТЕХНОЛОГІЇ У ВИГОТОВЛЕННІ ПОДАРУНКОВОГО ПАКОВАННЯ: ФУНКЦІОНАЛЬНІ МОЖЛИВОСТІ ТА ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ

О. М. Савченко¹, Л. В. Пелик²

¹Національний університет «Львівська політехніка»
вул. С. Бандери, 12, Львів, 79013, Україна

²Львівський торговельно-економічний університет
вул. Уласа Самчука, 9, Львів, 79011, Україна

У статті досліджено сучасні тенденції та технологічні підходи до виготовлення подарункового пакування з використанням лазерної обробки. Особливу увагу приділено сегменту сувенірної та подарункової упаковки, який відзначається специфічними естетичними функціями, що, своєю чергою, зумовлює часте використання складних для утилізації матеріалів. На цьому тлі лазерна обробка демонструє низку переваг: можливість роботи з широким спектром матеріалів (перероблений картон, фанера, акрил, текстиль), зниження кількості відходів, забезпечення персоналізації (іменні написи, логотипи), реалізація складних дизайнерських рішень без використання додаткових барвників та клеїв.

Систематизовано класифікацію лазерів за типом активного середовища, довжиною хвилі, режимом роботи та рівнем небезпеки. Надано рекомендації щодо вибору типу лазера залежно від матеріалу, функціонального призначення пакування та бажаних параметрів обробки. Зокрема, CO₂-лазери потужністю 40–100 Вт визначено як оптимальні для виготовлення подарункових пакувань з паперу, картону, деревини та акрилу.

Підкреслено важливість програмного забезпечення, екологічних вимог, вентиляційних систем та сертифікації обладнання. Акцентовано на економічній доцільності лазерної технології для малосерійного виробництва, що особливо актуально для малого бізнесу та креативних студій. Окреслено перспективи подальших досліджень, пов'язаних з оптимізацією параметрів обробки та впровадженням новітніх екологічно безпечних матеріалів.

Ключові слова: пакувальна продукція, спеціальні способи друкування, лазерні технології, деревоволокнисті матеріали.

Постановка проблеми. У сучасному світі стрімких змін ринкових тенденцій і споживчих очікувань, дизайн пакування перетворився на один із ключових інструментів брендів, які прагнуть виділитися й закріпитися в пам'яті покупців. Тому завданням виробників є створення особливого образу продукції, який зможе донести не лише важливу інформацію, а й цінності бренду та зберегти зацікавленість клієнта.

Пакувальна продукція перестала виконувати суто захисну та інформаційну функцію — сьогодні вона є важливим елементом маркетингової стратегії бренду. У відповідь на зміну споживчих уподобань, глобалізацію ринку та посилення конкуренції, виробництво пакування зазнає суттєвих трансформацій. Виникає потреба в розробці інноваційних технологій, які поєднують естетику, функціональність, екологічність та економічну ефективність. Зростає попит на інтелектуальне, екологічне, адаптивне пакування, здатне не лише привернути увагу покупця, а й забезпечити збереження якості продукту та зменшити вплив на довкілля.

У зв'язку з цим актуальним стає дослідження напрямів розвитку сучасного пакування, визначення технологічних рішень, їх впливу на ефективність виробничих процесів, конкурентоспроможність підприємств, а також виявлення перспектив подальшого розвитку цієї галузі.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Стрімкий розвиток індустрії пакування пояснюється надзвичайно великою кількістю наукових досліджень і галузевих публікацій, які зосереджені на інноваційних технологіях, екологічності матеріалів та зміні функціонального призначення пакувальної продукції. Дослідники наголошують, що сучасне пакування повинно бути інструментом комунікації з кінцевим споживачем, посилювати бренд і сприяти сталому розвитку.

Згідно з аналітичним оглядом Smithers Pira [1], глобальний ринок пакувальної продукції демонструє сукупний річний темп зростання (CAGR) у 3,9% протягом наступних п'яти років з акцентом на перехід до біоорієнтованих, компостованих та багаторазових рішень. За п'ять років до 2028 року світовий ринок упаковки, за прогнозами, зросте з \$1,17 трлн до \$1,42 трлн. Гнучкий пластик буде типом матеріалу з найвищим CAGR: 5,1% у 2023-28 роках. Автори також зазначають, що провідні виробники інвестують у розробку пакування з мінімальним вуглецевим слідом і можливістю переробки.

У науковій статті [2] наведена історична хронологія, яка контекстуалізує еволюцію матеріалів для пакування харчових продуктів від загальних прикладів до передових технологій, таких як біо-нанокомпозити та антимикробна упаковка. Виділено екологічні процеси виробництва та останні досягнення в галузі екологічно чистих матеріалів, демонструючи інноваційні підходи, такі як гібридні наночастинкові покриття та багатофункціональні біо-нанокомпозитні плівки. Обговорюється роль хімічних методів у покращенні властивостей упаковки та розглядаються останні розробки, включаючи нановолокнисті плівки, завантажені аліцином, та желатин-гідрогелеві плівки з регульованою вологістю.

Підвищення стійкості харчової упаковки є складним завданням через суперечливі екологічні та функціональні вимоги, навіть попри те, що це призводить до багатьох негативних впливів на навколишнє середовище на різних фазах життєвого циклу. Стала харчова упаковка прагне досягти балансу у виконанні функцій захисту, спрощення обробки та комунікації, мінімізуючи вплив на навколишнє середовище та економічні витрати. Важливість таких досліджень акцентовано у працях [3-7].

Дослідники із НТУУ «КПІ імені Ігоря Сікорського» [8] проаналізували вплив виду пластифікатора на властивості біорозкладних пластиків на основі крохмалю.

У публікаціях Європейської асоціації виробників упаковки (EPPA) [9] регулярно підкреслюється важливість діджиталізації виробничих процесів, автоматизації дизайну пакування та впровадження моделі «розумної фабрики» у відповідності до концепції Industry 4.0.

Представлені публікації засвідчують актуальність досліджень пакувальних матеріалів у контексті виготовлення екологічної упаковки. Сучасні тенденції у сфері пакування зосереджені на зниженні негативного впливу на довкілля, зокрема шляхом використання біорозкладних, перероблюваних або багаторазових матеріалів. Однак особливу увагу заслуговує сегмент сувенірної та подарункової упаковки, який нерідко ігнорується у дослідженнях, хоча має значний вплив як у побутовому, так і в комерційному середовищі.

На відміну від функціонального харчового пакування, сувенірна та подарункова упаковка часто виконує естетичну функцію, що стимулює виробників до застосування ламінованих, металізованих або комбінованих матеріалів, які складно утилізувати. Наприклад, подарункові коробки, виготовлені з картону з елементами фольги чи пластику, не підлягають повноцінному роздільному збору та переробці.

З огляду на це, актуальним стає пошук альтернативних, екологічно безпечних рішень для пакування преміум-сегменту. У країнах ЄС та Японії набуває популярності використання упаковки з переробленого крафт-паперу, бамбуку, тканини та інших органічних матеріалів, що піддаються вторинній переробці або компостуванню. Крім того, бренди дедалі частіше застосовують мінімалістичний дизайн та відмовляються від надмірного декору, акцентуючи увагу на функціональності та екологічності.

Таким чином, екологізація сувенірної та подарункової упаковки є важливим аспектом у загальному контексті сталого споживання, що вимагає подальших досліджень і розробок як з боку науковців, так і з боку виробників.

Мета статті. Аналіз технологій виготовлення подарункових пакувань методами лазерної обробки.

Виклад основного матеріалу дослідження. У контексті зростаючого попиту на естетично привабливу та водночас екологічно безпечну упаковку, технології лазерної обробки матеріалів набувають особливої актуальності. Лазерне різання, гравіювання та перфорація дозволяють створювати складні декоративні елементи на пакувальних матеріалах без використання додаткових барвників, клеїв чи енергозатратних формоутворювальних процесів.

Однією з головних переваг лазерної обробки є висока точність, можливість обробки широкого спектра матеріалів (картон, фанера, тонка деревина, органічне скло, шкіра, текстиль), а також зменшення кількості відходів. Наприклад, лазерне гравіювання дозволяє персоналізувати упаковку (іменні написи, логотипи, символіка події), що особливо важливо в подарунковому сегменті.

Крім того, лазерні технології дають змогу реалізовувати дизайнерські концепції з ажурною філігранною деталізацією, яка була б складною або неможливою при традиційних методах (висікання, тиснення). У практиці часто використовуються

матеріали на основі переробленого картону чи фанери, які після обробки не втрачають своїх функціональних та естетичних властивостей.

Варто також відзначити економічну ефективність лазерного способу у мало-серійних або індивідуальних замовленнях, що актуально для малого бізнесу, студій дизайну або ремісничих майстерень. Використання комп'ютеризованого програмного забезпечення для лазерного верстата забезпечує оперативне внесення змін у макет, що робить виробництво гнучким та адаптивним до запиту клієнта.

На рис.1 представлені сегменти використання лазерів у поліграфії.

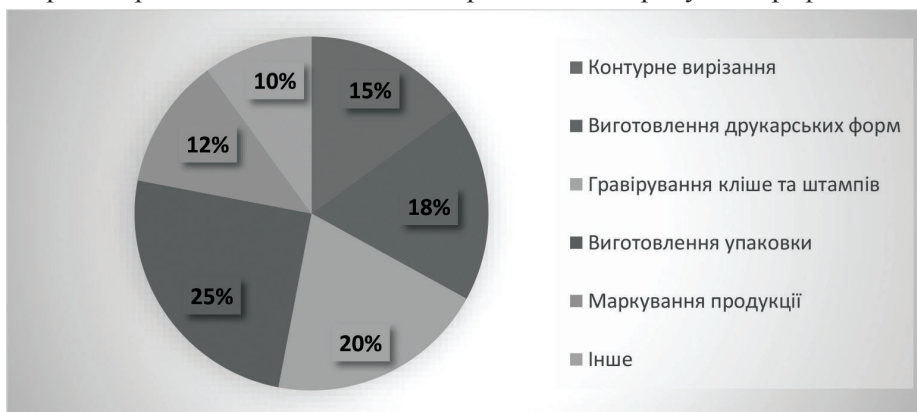


Рис.1. Використання лазерів у поліграфічній галузі

- Лазерне розрізування пакування використовується для точного і швидкого вирізання складних форм із картону, паперу, плівки, пластику чи деревоволоконних матеріалів для пакувальної продукції (рис.2, 3).
- Гравірування кліше та штампів: лазерна технологія дозволяє створювати високоточні форми для блінтового, тиснення фольгою чи друкарських штампів.
- Виготовлення друкарських форм: лазери застосовуються для прямого нанесення зображення на фотополімерні або металеві форми.
- Контурне вирізання етикеток забезпечує точну обробку етикеткових матеріалів без потреби у висікальних штампах.
- Маркування продукції: з використанням лазерів здійснюється нанесення серійних номерів, логотипів або QR-кодів на пакування (рис.4).
- Інше: нестандартні або допоміжні процеси, наприклад, прототипування.



Рис.2. Лазерне розрізування пакувань з пластику, картону, гофрокартону і комбінованих матеріалів

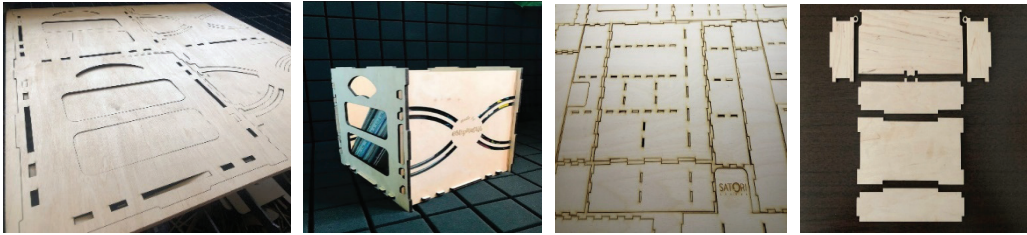


Рис.3. Лазерне розрізування паковань з фанери



Рис.4. Лазерне маркування продукції

На рис.5 представлені найбільш поширені види лазерів. Існує кілька класифікацій лазерів, заснованих на різних параметрах (рис.6).

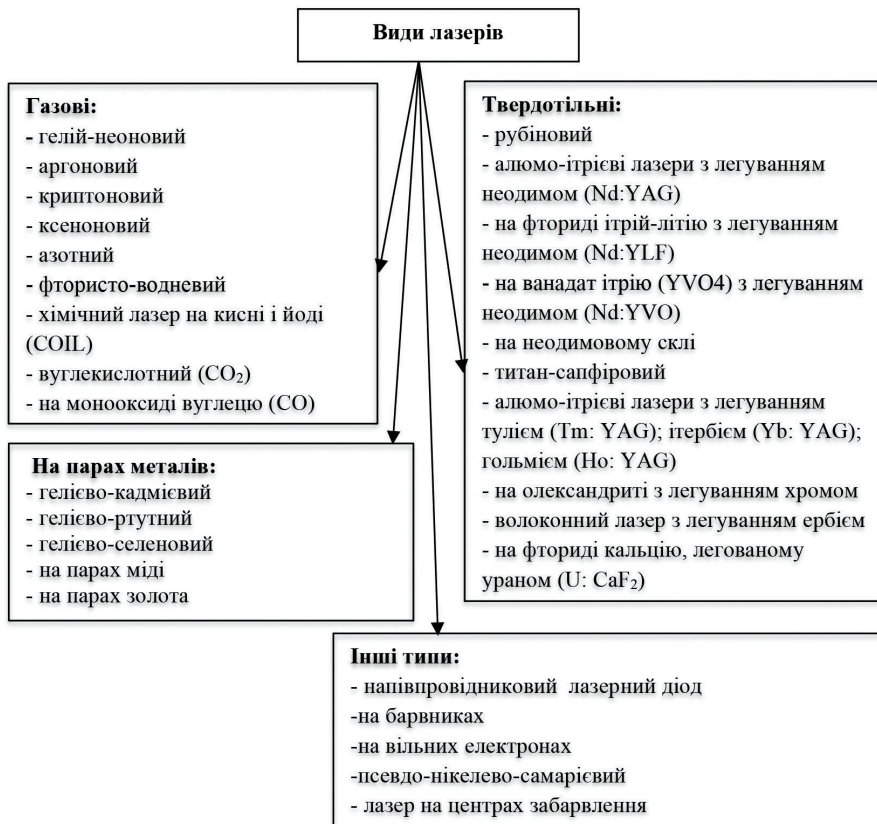


Рис.5. Види лазерів

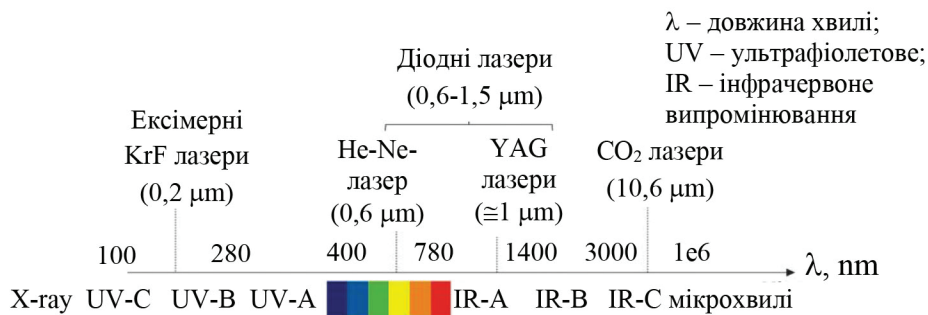


Рис.6. Класифікація лазерів

За активним середовищем:

- Газові лазери — активним середовищем є газ. Приклади: вуглекислотні (CO₂), аргонові, неодимові лазери.
- Напівпровідникові лазери — активне середовище представлено напівпровідниковим кристалом.
- Рідинні лазери — в якості активного середовища використовується спеціальна рідина.
- Твердотільні лазери — активним середовищем є тверда речовина (кристал або скло з домішками).
- Ексимерні лазери — використовують нестійкі молекули (ексимерні), що утворюються при високому тиску.

За довжиною хвилі:

- Інфрачервоні лазери (IR)
- Лазери видимого спектру (VIS)
- Ультрафіолетові лазери (UV)
- Рентгенівські лазери (X-ray)

За режимом роботи:

- Безперервні лазери (CW) — випромінюють світло постійно.
- Імпульсні лазери (PW) — генерують короткі світлові імпульси.

За ступенем небезпеки для очей:

- Клас 1 (безпечні) — не становлять загрози для зору.
- Клас 2 (малонебезпечні) — можуть викликати тимчасове осліплення при прямому погляді.
- Клас 3 (небезпечні) — здатні спричинити незворотне ураження очей при прямому контакті з променем [10, 11].

Проаналізувавши наукову літературу, можна сформулювати основні рекомендації при виборі лазерних технологій для виготовлення пакувальної продукції з урахуванням типу матеріалу, дизайну, продуктивності та екологічних вимог:

1. Визначення типу пакувального матеріалу:

<i>Матеріал</i>	<i>Рекомендований тип лазера</i>
Картон, папір	CO ₂ -лазер (10,6 мкм)
Плівка (PET, PP)	UV-лазер або CO ₂ -лазер з низькою потужністю
Тонка фанера, дерево	CO ₂ -лазер або волоконний (fiber) лазер
Акрил, ПВХ, ПЕТ	CO ₂ -лазер (із фільтрацією диму)
Металізовані етикетки	Волоконний або YAG-лазер

2. Врахування призначення упаковки:

- Масове виробництво — потрібна висока швидкість, автоматизація, надійна вентиляція.
- Подарункова / брендована упаковка — краще застосовувати високоточне гравіювання або ажурне різання.
- Контакт з харчовим продуктом — використовувати лазери, які не залишають токсичних залишків (CO₂ або UV-лазери з сертифікованим відсмоктуванням парів).

3. Вибір параметрів лазерної обробки

- Потужність лазера:
 - до 40 Вт — для гравіювання, дрібного розрізування.
 - 40–150 Вт — універсальне розрізування (папір, дерево, пластик).
 - 150 Вт — для товстих або щільних матеріалів.
- Довжина хвилі:
 - CO₂ (10,6 мкм): для розрізування неметалевих матеріалів (папір, фанера, тканини).
 - UV (355 нм): точне розрізування термочутливих або прозорих плівок.
 - Fiber/YAG (~1 мкм): ефективні для металізованих елементів або фольгованих матеріалів.

4. Програмне забезпечення та дизайн:

- Найкраще обирати лазери з підтримкою форматів CAD / CorelDRAW / Illustrator.
- Підтримування імпорту векторних шаблонів, які використовуються у пакувальному дизайні.
- Наявність попереднього оптичного маркера/камери для точного розташування макету.

5. Екологічні та безпекові аспекти:

- Система вентиляції та фільтрації диму (особливо для ПВХ, фанери).
- Сертифікація лазера (CE, FDA, ISO).
- Використання екологічно безпечних витратних матеріалів.

6. Рентабельність та масштабованість:

- Для невеликих партій або унікального дизайну — підходить CO₂-лазер потужністю 40–60 Вт.
- Для серійного виробництва — варто інвестувати у автоматизовані системи з транспортером і програмною оптимізацією розкрою.

Найоптимальнішим і універсальним вибором для виготовлення пакувальної продукції (особливо з паперу, картону, фанери, акрилу) є CO₂-лазер із потужністю 40–100 Вт, системою витяжки та підтримкою CAD-файлів. Для високоточної обробки — додатково використовують UV- або волоконні лазери.

Висновки. Лазерна обробка є перспективним напрямом у виготовленні подарункових пакувань, який поєднує високу якість, екологічну відповідальність і дизайнерську гнучкість. Ключові висновки підкреслюють важливість лазерної обробки поверхні для покращення властивостей матеріалів, універсальність та точність, що забезпечують переваги безконтактної обробки, високу швидкість та гнучкість лазерного розрізування, гравіювання та маркування при обробці пакувальних матеріалів. Технології лазерної обробки матеріалів надалі продовжують відігравати важливу роль у вдосконаленні виробничих процесів та підвищенні якості продукції. Подальші дослідження у цій сфері мають бути спрямовані на оптимізацію параметрів обробки, вдосконалення матеріалів та оцінювання їхнього впливу на довкілля.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. The Future of Packaging to 2028. URL: <https://www.smithers.com/services/market-reports/packaging/the-future-of-global-packaging-to-2028>.
2. Hussain, Sh., Akhter, R., & Maktedar, S. S. Advancements in sustainable food packaging: from eco-friendly materials to innovative technologies // *Sustainable Food Technology*. – 2024. – Vol. 2, No. 5. – P. 1297–1364. – Available from: <https://doi.org/10.1039/d4fb00084f>.
3. Bher, A., & Auras, R. Life cycle assessment of packaging systems: A metaanalysis to evaluate the root of consistencies and discrepancies // *Journal of Cleaner Production*. – 2024. – Vol. 476:143785. DOI: 10.1016/j.jclepro.2024.143785.
4. Pauer, E., Wohner, B., Heinrich, V., & Tacker, M. Assessing the Environmental Sustainability of Food Packaging: An Extended Life Cycle Assessment including PackagingRelated Food Losses and Waste and Circularity Assessment // *Sustainability*. – 2019. – Vol. 11, No. 3, 925. – DOI: 10.3390/su11030925.
5. Accorsi, R., Battarra, I., Guidani, B., Manzini, R., & Ronzoni, M. Augmented spatial LCA for comparing reusable and recyclable food packaging containers networks // *Journal of Cleaner Production*. – 2022. – Volume 375, 134027. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.134027>.
6. Silva, N. & Pålsson, H. Industrial packaging and its impact on sustainability and circular economy: a systematic literature review // *Journal of Cleaner Production*. – 2022. – Vol. 333, 130165. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.130165>.
7. Jagoda, S., Gamage, J.R., & Karunathilake, H. Environmentally sustainable plastic food packaging: A holistic life cycle thinking approach for design decisions // *Journal of Cleaner Production*. – 2023. – Vol. 400(2):136680. DOI: 10.1016/j.jclepro.2023.136680.
8. Бишко, М. А., Семінський, О. О., & Зубрій, О. Г. (2022). Вплив вибору пластифікатора на властивості полімерів на основі крохмалю. *Вісник НТУУ “КПІ імені Ігоря Сікорського”*, (1), 9–20. <https://doi.org/10.20535/2617-9741.1.2022.254154>.
9. EPPA - European Paper Packaging Alliance. Meta-study for qsr. take-away services. https://epa-eu.org/wp-content/uploads/2023/05/330001928_EPPA_Metastudy_takeaway-1.pdf.

10. Лазерне маркування. <https://www.phoenixcontact.com/uk-ua/tekhnohiiyi/promyslove-markuvannya/promyslove-markuvannya-lazerne-markuvannya>.
11. Özbey, S., & Tikiz, İ. Advanced Laser Material Processing Techniques // *Interdisciplinary Studies on Contemporary Research Practices in Engineering in the 21st Century- VI*. – 2024. – P.103-120. DOI: 10.58830/ozgur.pub426.c1849.

REFERENCES

1. The Future of Packaging to 2028. URL: <https://www.smithers.com/services/market-reports/packaging/the-future-of-global-packaging-to-2028>.
2. Hussain, Sh., Akhter, R., & Maktedar, S. S. Advancements in sustainable food packaging: from eco-friendly materials to innovative technologies // *Sustainable Food Technology*. – 2024. – Vol. 2, No. 5. – P. 1297–1364. – Available from: <https://doi.org/10.1039/d4fb00084f>.
3. Bher, A., & Auras, R. Life cycle assessment of packaging systems: A metaanalysis to evaluate the root of consistencies and discrepancies // *Journal of Cleaner Production*. – 2024. – Vol. 476:143785. DOI: 10.1016/j.jclepro.2024.143785.
4. Pauer, E., Wohner, B., Heinrich, V., & Tacker, M. Assessing the Environmental Sustainability of Food Packaging: An Extended Life Cycle Assessment including PackagingRelated Food Losses and Waste and Circularity Assessment // *Sustainability*. – 2019. – Vol. 11, No. 3, 925. – DOI: 10.3390/su11030925.
5. Accorsi, R., Battarra, I., Guidani, B., Manzini, R., & Ronzoni, M. Augmented spatial LCA for comparing reusable and recyclable food packaging containers networks // *Journal of Cleaner Production*. – 2022. – Volume 375, 134027. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.134027>.
6. Silva, N. & Pålsson, H. Industrial packaging and its impact on sustainability and circular economy: a systematic literature review // *Journal of Cleaner Production*. – 2022. – Vol. 333, 130165. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.130165>.
7. Jagoda, S., Gamage, J.R., & Karunathilake, H. Environmentally sustainable plastic food packaging: A holistic life cycle thinking approach for design decisions // *Journal of Cleaner Production*. – 2023. – Vol. 400(2):136680. DOI: 10.1016/j.jclepro.2023.136680.
8. Byshko, M. A., Semins'kyi, O. O., & Zubriy, O. H. (2022). Vplyv vyboru plastyfikatora na vlastyvoli polimeriv na osnovi krokhmalu. *Visnyk NTUU "KPI imeni Ihorya Sikors'koho"*, (1), 9–20. <https://doi.org/10.20535/2617-9741.1.2022.254154>. [In Ukrainian].
9. EPPA - European Paper Packaging Alliance. Meta-study for qsr. take-away services. https://eppa-eu.org/wp-content/uploads/2023/05/330001928_EPPA_Metastudy_takeaway-1.pdf.
10. Lazerne markuvannya. <https://www.phoenixcontact.com/uk-ua/tekhnohiiyi/promyslove-markuvannya/promyslove-markuvannya-lazerne-markuvannya>. [In Ukrainian].
11. Özbey, S., & Tikiz, İ. Advanced Laser Material Processing Techniques // *Interdisciplinary Studies on Contemporary Research Practices in Engineering in the 21st Century- VI*. – 2024. – P.103-120. DOI: 10.58830/ozgur.pub426.c1849.

LASER TECHNOLOGIES IN GIFT PACKAGING PRODUCTION: FUNCTIONAL CAPABILITIES AND DEVELOPMENT PROSPECTS

O. M. Savchenko¹, L. V. Pelyk²

¹Lviv Polytechnic National University,
12, S. Bandera St., Lviv, 79013, Ukraine
Olha.M.Savchenko@lpnu.ua

²Lviv University of Trade and Economics
9 Ulas Samchuk Street, Lviv, 79011, Ukraine
lpelyk@gmail.com

The article examines modern trends and technological approaches to the production of gift packaging using laser processing. In the context of growing demand for environmentally friendly, aesthetic and functional packaging, laser technologies are considered as a promising solution that combines high accuracy, versatility and minimal environmental footprint. The transformation of the role of packaging from information and protective to marketing and communication is outlined, and the impact of modern consumer demands, market globalization and environmental requirements on the development of the industry is analyzed.

Particular attention is paid to the souvenir and gift packaging segment, which is characterized by specific aesthetic functions, which, in turn, leads to the frequent use of materials that are difficult to recycle. Against this background, laser processing demonstrates a number of advantages: the ability to work with a wide range of materials (recycled cardboard, plywood, acrylic, textiles), reducing waste, ensuring personalization (personal inscriptions, logos), implementing complex design solutions without the use of additional dyes and adhesives.

The classification of lasers by type of active medium, wavelength, operating mode and hazard level is systematized. Recommendations are provided for choosing the type of laser depending on the material, functional purpose of the packaging and desired processing parameters. In particular, CO₂ lasers with a power of 40–100 W are identified as optimal for the manufacture of gift packaging from paper, cardboard, wood and acrylic.

The importance of software, environmental requirements, ventilation systems and equipment certification is emphasized. The emphasis is on the economic feasibility of laser technology for small-scale production, which is especially relevant for small businesses and creative studios. Prospects for further research related to the optimization of processing parameters and the introduction of new environmentally friendly materials are outlined.

Keywords: *packaging products, special printing methods, laser technologies, wood-fiber materials.*

Стаття надійшла до редакції 15.05.2025.

Received 15.05.2025.