

ТЕХНОЛОГІЯ ХАРЧОВОЇ ТА ЛЕГКОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ

УДК [621.798.13:678.742.2-027.33]:006.83
DOI <https://doi.org/10.32782/2663-5941/2024.4/44>

Павлюк С.К.

Український державний університет науки і технологій

Суша І.В.

Український державний університет науки і технологій

ЕКОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ ТАРИ: ПРОБЛЕМА ПЕТ ТАРИ ТА ЇЇ УТИЛІЗАЦІЯ

У харчовій промисловості для пакування продукції використовують різні види тари, яка створює велику екологічну проблему у світі. Тара виготовляється з різноманітної сировини: скла, паперу, фольги, полімерних і комбінованих матеріалів. Спеціалістами виконуються дослідження різних типів пакувань з метою оцінювання їхнього ризику та негативного впливу на організм людини. Використання полімерної тари, у тому числі з поліетилентерефталату (ПЕТ), призводить до великої кількості відходів. У статті досліджено питання переробки ПЕТ відходів. Розглянуто проблеми ПЕТ тари та її утилізації. У статті приділена велика увага цій проблемі як з екологічного, так і з економічного погляду. Доведено, що пляшки харчового призначення, як й інші види тари, слугують потенційним джерелом забруднення, з них у харчові продукти можуть мігрувати шкідливі речовини. Зроблено висновки що зростання обсягів виробництва та споживання ПЕТ-тари призводить до необхідності вдосконалення технологій її переробки з метою зменшення екологічного впливу. Відходи ПЕТ-тари є серйозною екологічною проблемою через їх велику кількість та повільний розклад. Утилізація та переробка є необхідними для зменшення негативного впливу на навколишнє середовище. Вторинна ПЕТ-тара може бути використана для пакування харчових продуктів з урахуванням вимог щодо міграції хімічних речовин та забезпечення безпеки продуктів. Підвищення уваги до проблеми міграції хімічних речовин з пакувального матеріалу до продуктів харчування відкриває можливості для дослідження нових методів переробки та використання безпечних альтернативних матеріалів. Стаття аналізує сучасні методи утилізації ПЕТ тари, такі як механічна та хімічна переробка, а також інноваційні підходи до зменшення використання пластику, включаючи біорозкладні матеріали та повторне використання. Обговорюються також проблеми, пов'язані з низьким рівнем переробки ПЕТ тари в деяких регіонах, і пропонуються рекомендації для покращення ситуації, зокрема впровадження більш ефективних систем збору та переробки, а також підвищення екологічної свідомості населення. Застосування вторинної ПЕТ-тари в харчовій промисловості вимагає постійного моніторингу та вдосконалення технологій, щоб забезпечити високу якість та безпеку продуктів для споживачів.

Ключові слова: поліетилентерефталат, тара, проблеми ПЕТ тари, утилізація, екологічні аспекти.

Постановка проблеми. На сьогоднішній день кількість сміття з кожним роком зростає. Особливо це стосується пакування харчових продуктів, яке виготовляється з різних матеріалів, таких як скло, папір, фольга, полімерні і комбіновані матеріали. Експерти проводять дослідження різних типів упаковки для оцінки їхнього потенційного впливу на здоров'я людини та навколишнє середовище.

Одним із основних джерел забруднення є полімерна тара, зокрема виготовлена з ПЕТ. Використання такої тари призводить до значної кількості

відходів, які потрібно ефективно утилізувати та переробляти. Це важливе завдання з екологічної та економічної точок зору.

Серед широкого асортименту продуктів, що виготовляються з вторинного ПЕТ-матеріалу, зокрема пляшки харчового призначення, є потенційним джерелом забруднення. З них можуть мігрувати шкідливі речовини до харчових продуктів, що становить серйозну загрозу для здоров'я споживачів. Тому необхідно проводити дослідження та розробляти більш екологічно безпечні та нешкідливі альтернативи упаковки для змен-

шення негативного впливу на навколишнє середовище та здоров'я людини.

Сучасна проблема полягає у необхідності дослідження безпеки використання полімерних матеріалів, що виготовлені з вторинної сировини ПЕТ, для упаковки харчових продуктів, з огляду на можливу міграцію токсичних компонентів з них. Враховуючи ріст використання вторинної сировини для зменшення відходів та екологічних аспектів, важливо провести детальні дослідження та встановити стандарти безпеки для забезпечення здоров'я споживачів.

Виділення недосліджених частин загальної проблеми. Виробництво ПЕТ тари має суттєвий вплив на навколишнє середовище через використання обмежених природних ресурсів, значні енергетичні витрати та викиди шкідливих речовин. Основні екологічні аспекти, пов'язані з виробництвом ПЕТ тари, включають наступне:

Використання сировини: для виробництва ПЕТ тари необхідні значні обсяги сировини, такі як етіленгліколь та терефталева кислота. Отримання цих речовин часто пов'язане з видобутком та переробкою нафти, що може призводити до забруднення довкілля.

Використання енергії: процеси виробництва ПЕТ тари потребують значних енергетичних ресурсів. Використання енергії зазвичай супроводжується викидами парникових газів та інших забруднюючих речовин.

Викиди: виробництво ПЕТ тари може призводити до викидів шкідливих речовин, таких як діоксини та оксиди азоту, які негативно впливають на якість повітря та здоров'я людей.

Відходи: великі обсяги відходів генеруються в процесі виробництва ПЕТ тари, таких як обрізки та відпрацьований матеріал. Якщо ці відходи не переробляються або використовуються повторно, вони можуть негативно впливати на довкілля.

Використання води: процеси виробництва ПЕТ тари можуть вимагати значних обсягів води для охолодження та промивання обладнання. Використання води може призводити до вичерпання водних ресурсів та забруднення водних джерел [1].

Загальний огляд екологічних аспектів використання та утилізації ПЕТ тари свідчить про необхідність подальших досліджень у цій області та розробки ефективних стратегій управління відходами. Дослідження альтернативних матеріалів для упаковки та розвиток більш ефективних систем утилізації можуть сприяти зменшенню негативного впливу ПЕТ тари на навколишнє середовище.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Під час дослідження екологічних аспектів тари було використано праці як іноземних, так і вітчизняних науковців. Наукові дослідження присвячені темам екологічним аспектам діяльності підприємств, а також їхнім актуальним проблемам. У роботах розглядаються перспективи розвитку екологічної відповідальності підприємств, завдання екологічного менеджменту та екологічна політика компаній.

Наприклад, О. Гусева та Н. Марценюк аналізують поточний стан і перспективи розвитку соціальної відповідальності бізнесу, тоді як Л. Бобко та О. Гришнова акцентують увагу на ролі дотримання екологічних стандартів у межах соціальної відповідальності. А. Кузнецова, Л. Семів та З. Скринник обговорюють важливість питання у контексті інноваційного та соціально-гуманітарного розвитку, зокрема підвищення ефективності екологічно відповідальних практик.

Зарубіжні дослідники, такі як С. Newman, J. Rand, F. Tarp та N. Trifkovic, вивчають значення корпоративної відповідальності для розвитку підприємницьких структур. G. Briggs, B. Dale та N. Stylianou розглядають можливості попередження екологічних катастроф та запобігання їм, підкреслюючи, що ці загрози є ключовими для збереження нашої планети.

Метою роботи є вирішення актуальної проблеми утилізації ПЕТ тари та вдосконалення технології рециклінгу, створення наукових засад та новітніх методів переробки ПЕТ-тари та застосування оброблених відходів ПЕТ і керованої зміни властивостей полімерних матеріалів.

Виклад основного матеріалу. Система роздільного збору сміття, законодавчо затверджена в Європі, дозволяє значно зменшити кількість відходів, які потрапляють на звалища, попередньо сортуючи їх та знижуючи до 5% від загального обсягу сміття великих міст. При цьому 95% відходів використовується для утилізації. На жаль, ситуація в країнах пострадянського простору, зокрема в Україні, суттєво відрізняється: лише 5% відходів направляються на переробку. Це призводить до постійного збільшення кількості звалищ у передмістях кожного року [2].

Утилізація полімерів дає їм друге життя, що є не лише економічно вигідним для тисяч підприємств, а також важливим внеском у збереження навколишнього середовища. Поєднання економічних та екологічних переваг робить систему пакувального бізнесу не лише комерційно вигідною, а й благородною з позиції збереження довкілля [3].

Пластик, особливо ПЕТ, який використовується, здебільшого, для виготовлення пляшок, є одним з найпоширеніших матеріалів у світі. В Україні лише з близько 60 тисяч тонн такої сировини на рік виробляють щонайменше 800 мільйонів пляшок (за деякими оцінками ця цифра є вдвічі більшою), а споживання ПЕТ зростає у країні на не менше ніж 20% щорічно. Проте лише близько 3% використаного поліетилентерефталату піддається вторинній переробці, і більшість сировини відправляється на сміттєзвалища твердих побутових відходів (ТПВ).

У країнах Європейського Союзу згідно з Директивою Єврокомісії від 2006 року утилізується та переробляється від 55 до 70% полімерних пакувальних матеріалів. Наприклад, Німеччина щорічно переробляє більше 400 тисяч тонн використаного ПЕТ, проте, значно поступається перед лідерами у цій галузі, такими як Австрія, Бельгія, Франція, Італія та Швейцарія. Приблизно п'яту частину вторинного ПЕТ країн ЄС експортують, головним чином, в Південно-Східну Азію [4].

На підприємствах Азії, таких як Тайвань, Китай, Японія та Південна Корея, значна кількість ПЕТФ переробляється у текстильне волокно, штапельне волокно, покриття для підлоги, покрівельні матеріали, деталі освітлювальних приладів, коробки для яєць, одноразові квіткові горщики та спортивний інвентар. В Україну щомісяця імпортується понад 10 тисяч тонн ПЕТ грануляту, більша частина якого використовується для виробництва пляшок, що з часом перетворюються на відходи. Однак сумарні потужності з переробки відходів ПЕТФ в Україні дозволяють впоратися лише з 1 тисячею тонн на місяць [5].

Виробництво пластівців має низьку рентабельність і, в основному, забезпечується переробкою великих обсягів полімерної продукції, що в основному експортується. Основними напрямками експорту ПЕТ – пластівців є ринки Азії та Близького Сходу. Виробництво грануляту з вторинної сировини потребує значних інвестицій, проте є високорентабельним [6].

Розвиток промисловості переробки полімерів призводить до збільшення обсягу споживання та розширення асортименту полімерних матеріалів та композитів на їх основі. Однак виникає потреба в створенні нових типів полімерних матеріалів з певними контрольованими властивостями для різних галузей застосування.

Вторинна переробка виробів з полімерних матеріалів стає дедалі більш важливою, оскільки вона вирішує актуальні завдання, такі як збере-

ження навколишнього середовища та економічна доцільність [7].

Найпоширенішим застосуванням полімерів за останні два десятиліття є ПЕТ, який має чудові хімічні та фізичні властивості для багатьох застосувань, наприклад, властивість газового бар'єру, низьку дифузію, чудові механічні та термомеханічні властивості, високу інертність матеріалу, прозорість і тонке виконання процесу [8-11].

З іншого боку, ПЕТ-відходи вже є важливими для людини та навколишнього середовища. Загальна кількість пластикових відходів, утворених у світі з 1950 по 2015 рік, становила приблизно 6,3 мільярда тонн, близько 9% з яких було перероблено, 12% спалено, а 79% накопичена на звалищах або в природному середовищі [12]. Щороку приблизно мільйон метричних тонн ПЕТ-відходів потрапляє в океан і на звалища. В даний час методи переробки пластику включають захоронення, спалювання, відновлення енергії та переробку. Мова йде про звичайні методи захоронення та спалювання, оскільки пластиковий компонент може звільнитись в навколишнє середовище під час обробки. Методи захоронення та спалювання мають викиди небезпечних речовин у навколишнє середовище [13-14]. Більшість пластмас не розкладаються або цей процес дуже довгий, ймовірно, сотні років; однак ніхто точно не знає, коли пластик розкладається на звалищі. За даними Агентства з охорони навколишнього середовища переробка пластику поділяється на три частини: використання безпосередньо; фізична переробка, наприклад, подрібнення, плавлення та реформування; хімічна обробка, коли компоненти виділяють і переробляють для використання в хімічній промисловості [15-17].

Можна застосувати кілька стратегій для зменшення відходів ПЕТ до 2040 року. Підхід до нульового забруднення пластиком поділяється на чотири критичні типи заходів: скорочення, заміна, переробка та утилізація. Крім того, можна реалізувати вісім заходів: – мінімізувати кількість одноразового використаного пластику;

- замінити нафтовий пластик іншим варіантом матеріалів і систем доставки;
- запровадити дизайн для переробки;
- підвищити потужність збору;
- збільшити потужність сортування та механічної переробки;
- збільшити потужність хімічного перетворення;
- мінімізувати витік у навколишнє середовище після збору;
- торгівля пластиком зменшиться [18-20].

Процес переробки ПЕТ може бути здійснений за допомогою механічних та хімічних процесів. Однією з головних ідей переробки ПЕТ є модифікація полімеру, щоб створити економічно придатні форми для повторного використання. Хімічна переробка ПЕТ широко застосовується в різних хімічних продуктах, таких як поліефірна формувальна маса, лаки, полімерна штукатурка, армовані фінішні покриття, розчини та мінеральні наповнювачі, волокно, поліол для поліуретанового еластомеру, поліуретани з низькою горючістю та піни [21].

Однак основною метою переробки ПЕТ є не лише зниження витрат на виробництво, а й збереження екологічного балансу для стійкості нашої планети. Важливо зазначити, що вартість хімічної переробки ПЕТ вища, ніж фізичної. Тому необхідний розвиток інноваційних технологій для забезпечення ефективної хімічної переробки ПЕТ [22-24].

Дана робота націлений на демонстрацію новітніх технологій переробки ПЕТ з метою зменшення відходів у навколишньому середовищі. Декілька досліджень вже виявили потенціал хімічної переробки ПЕТ для заміни традиційних методів захоронення та спалювання [25]. Дослідження кінетики хімічної переробки ПЕТ також проводиться

для отримання більш детальної інформації, що може сприяти створенню більш екологічно стійкого кінцевого продукту переробки ПЕТ [26].

Висновки. Зростання обсягів виробництва та споживання ПЕТ-тари призводить до необхідності вдосконалення технологій її переробки з метою зменшення екологічного впливу.

Відходи ПЕТ-тари є серйозною екологічною проблемою через їх велику кількість та повільний розклад. Утилізація та переробка є необхідними для зменшення негативного впливу на навколишнє середовище.

Вторинна ПЕТ-тара може бути використана для пакування харчових продуктів з урахуванням вимог щодо міграції хімічних речовин та забезпечення безпеки продуктів. Підвищення уваги до проблеми міграції хімічних речовин з пакувального матеріалу до продуктів харчування відкриває можливості для дослідження нових методів переробки та використання безпечних альтернативних матеріалів.

Застосування вторинної ПЕТ-тари в харчовій промисловості вимагає постійного моніторингу та вдосконалення технологій, щоб забезпечити високу якість та безпеку продуктів для споживачів.

Список літератури:

1. Raza M, Inayat A, Al Jaber B, Said Z, Ghenai C (2020) Simulation of the pyrolysis process using blend of date seeds and coffee waste as biomass. *IEEE*, New York, pp 1–5
2. Liu W, Tian Y, Yan H, Zhou X, Tan Y, Yang Y, Li Z, Yuan L (2021) Gasification of biomass using oxygen-enriched air as gasification agent: a simulation study. *Biomass Conv Biorefin*. <https://doi.org/10.1007/s13399-021-02035-2>
3. Hussain M, Zabiri H, Uddin F, Yusup S, Tufa LD (2021) Pilot-scale biomass gasification system for hydrogen production from palm kernel shell (part A): steady-state simulation. *Biomass Conv Biorefin*. <https://doi.org/10.1007/s13399-021-01474-1>
4. Andrady, A. L., & Neal, M. A. (2009). Applications and societal benefits of plastics. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 364 (1526), 1977-1984
5. Hopewell, J., Dvorak, R., & Kosior, E. (2009). Plastics recycling: challenges and opportunities. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 364(1526), 2115-2126
6. Goodship V. Plastic Recycling. *Science Progress*. 2007;90(4):245-268. doi:10.3184/003685007X228748
7. La Mantia, F. P., M. Morreale, L. Botta, M. C. Mistretta, M. Ceraulo, and R. Scaffaro. 2017. "Degradation of polymer blends: A brief review." *Polymer Degradation and Stability* 145:79-92. doi: <https://doi.org/10.1016/j.polymdegradstab.2017.07.011>.
8. Ubeda, S., Aznar, M., Nerín, C. (2018) Determination of oligomers in virgin and recycled polyethylene terephthalate (PET) samples by UPLC-MS-QTOF]. *Anal. Bioanal. Chem.*, 410, 2377–2384.
9. Welle, F. (2014) Food Law Compliance of Poly(ethylene Terephthalate) (PET) Food Packaging Materials. *In Food Additives and Packaging; ACS Symposium Series; American Chemical Society: Washington, DC, USA; Volume 1162*, pp. 167–195.
10. Li, B.; Wang, Z.-W.; Lin, Q.-B.; Hu, C.-Y. (2016) Study of the Migration of Stabilizer and Plasticizer from Polyethylene Terephthalate into Food Simulants. *J. Chromatogr. Sci.*, 54, 939–951.
11. Begley, T.H.; Biles, J.E.; Cunningham, C.; Piring, O. (2004) Migration of a UV stabilizer from polyethylene terephthalate (PET) into food simulants. *Food Addit. Contam.*, 21, 1007–1014.
12. Geyer, R.; Jambeck, J.R.; Law, K.L. (2017) Production, use, and fate of all plastics ever made. *Sci. Adv.*, 3, e1700782.

13. Hopewell, J.; Dvorak, R.; Kosior, E. (2009) Plastics recycling: Challenges and opportunities. *Philos. Trans. R. Soc. B Biol. Sci.* 2009, 364, 2115–2126.
14. Le, D.K.; Ng, G.N.; Koh, H.W.; Zhang, X.; Thai, Q.B.; Phan-Thien, N.; Duong, H.M. (2020) Methyltrimethoxysilane-coated recycled polyethylene terephthalate aerogels for oil spill cleaning applications. *Mater. Chem. Phys.*, 239, 122064.
15. Administration, F.D. (1992) *Points to Consider for the Use of Recycled Plastics: Food Packaging, Chemistry Considerations*; FDA Division of Food Chemistry and Technology Publication: Washington, DC, USA, Volume 410.
16. Nikles, D.E.; Farahat, M.S. (2005) New Motivation for the Depolymerization Products Derived from Poly(Ethylene Terephthalate) (PET) Waste: A Review. *Macromol. Mater. Eng.*, 290, 13–30.
17. Jankauskaite, V.; Macijauskas, G.; Lygaitis, R. (2008) Polyethylene terephthalate waste recycling and application possibilities: A review. *Mater. Sci. (Medzg.)*, 14, 119–127
18. Lau, W.W.Y.; Shiran, Y.; Bailey, R.M.; Cook, E.; Stuchtey, M.R.; Koskella, J.; Velis, C.A.; Godfrey, L.; Boucher, J.; Murphy, M.B.; et al. (2020) Evaluating scenarios toward zero plastic pollution, 369, 1455–1461.
19. Chowdhury, S.; Maniar, A.T.; Suganya, O. (2013) Polyethylene Terephthalate (PET) Waste as Building Solution. *Int. J. Chem. Environ. Biol. Sci.*, 1, 2320–4087.
20. Alaloul, W.S.; John, V.O.; Musarat, M.A. (2020) Mechanical and Thermal Properties of Interlocking Bricks Utilizing Wasted Polyethylene Terephthalate. *Int. J. Concr. Struct. Mater.*, 14, 1–11
21. Jankauskaite, V. (2016) Recycled Polyethylene Terephthalate Waste for Different Application Solutions. *Environ. Res. Eng. Manag.*, 72, 5–7.
22. Sanches, R.A.; Takamune, K.; Guimarães, B.; Alonso, R.; Baroque-Ramos, J.; de Held, M.S.B.; Marcicano, J.P.P. (2014) Wearability Analysis of knited fabrics produced with colored organic cotton. Bamboo rayon, corn, recycled pet/cotton and recycled pet/polyester. *Am.Int. J. Contemp. Res.*, 4, 28–37.
23. Shen, L.; Worrell, E.; Patel, M.K. (2010) Open-loop recycling: A LCA case study of PET bottle-to-fibre recycling. *Resour. Conserv. Recycl.*, 55, 34–52.
24. Kumartasli, S.; Avinc, O. *Important Step in Sustainability: Polyethylene Terephthalate Recycling and the Recent Developments*; Springer International Publishing: Cham, Switzerland, 2020; pp. 1–19.
25. Othmer, K. (1982) *Encyclopedia of Chemical Technology; Radiation Curing*; Wiley – Interscience: New York, NY, USA, 1982; Volume 15, pp. 607–624.
26. Forrest, M. (2016) *Recycling of Polyethylene Terephthalate*; Smithers Rapra: Shrewsbury, UK.

Pavliuk S.K., Sukha I.V. ECOLOGICAL ASPECTS REGARDING PACKAGING: THE PROBLEM OF PET PACKAGING, AND ITS DISPOSAL

In the food industry, various types of packaging are used, which create a significant environmental problem worldwide. Packaging is made from diverse raw materials: glass, paper, foil, polymer, and composite materials. Researchers conduct studies on different types of packaging to evaluate their risks and negative impact on human health. The use of polymer packaging, including polyethylene terephthalate (PET), leads to a large amount of waste. The article explores the issue of PET waste processing and discusses the problems of PET packaging and its disposal. The article pays great attention to this issue from both ecological and economic perspectives. It is proven that food-grade bottles, like other types of packaging, serve as a potential source of contamination, as harmful substances can migrate from them into food products. It was concluded that the increase in the volume of production and consumption of PET containers leads to the need to improve the technologies of its processing in order to reduce the environmental impact. Waste PET containers are a serious environmental problem due to their large amount and slow decomposition. Disposal and recycling are necessary to reduce the negative impact on the environment. Secondary PET containers can be used for packaging food products, taking into account the requirements for the migration of chemical substances and ensuring product safety. Increasing attention to the problem of migration of chemicals from packaging material to food opens up opportunities for research into new processing methods and the use of safe alternative materials. The article examines current methods of recycling PET containers, such as mechanical and chemical recycling, as well as innovative approaches to reducing the use of plastic, including biodegradable materials and reuse. Problems related to the low level of recycling of PET containers in some regions are also discussed, and recommendations are offered to improve the situation, in particular, the implementation of more efficient collection and recycling systems, as well as increasing the environmental awareness of the population. The use of secondary PET containers in the food industry requires constant monitoring and improvement of technologies to ensure high quality and safety of products for consumers.

Key words: polyethylene terephthalate, packaging, PET packaging issues, disposal, ecological aspects.