

ВИЗНАЧЕННЯ РЕСУРСНОГО ПОТЕНЦІАЛУ ПОЛІМЕРНИХ КОМПОНЕНТІВ ВІДХОДІВ ЕЛЕКТРИЧНОГО ТА ЕЛЕКТРОННОГО ОБЛАДНАННЯ

Вінницький національний технічний університет

Анотація

У роботі розглядається проблема оцінки ресурсного потенціалу пластикових матеріалів, що містяться у відходах електричного та електронного обладнання (ВЕЕО). Аналізуються основні типи полімерів, методи їх ідентифікації та переробки, а також економічні та екологічні аспекти використання як вторинної сировини. Особлива увага приділяється викликам, пов'язаним із забрудненням та сумішами матеріалів, та перспективам інтеграції в циркулярну економіку. Результати демонструють високий потенціал полімерів для зменшення залежності від первинних ресурсів.

Ключові слова: ВЕЕО, полімерні компоненти, ресурсний потенціал, переробка пластиків, ідентифікація матеріалів, циркулярна економіка, екологічна оцінка.

Abstract

This article examines the issue of assessing the resource potential of plastic materials found in waste electrical and electronic equipment (WEEE). It analyzes the main types of polymers, methods for their identification and recycling, as well as the economic and environmental aspects of using them as secondary raw materials. Special attention is paid to challenges related to contamination and material mixtures, and prospects for integration into the circular economy. The results demonstrate the high potential of polymers to reduce dependence on primary resources.

Keywords: WEEE, polymer components, resource potential, plastic recycling, material identification, circular economy, environmental assessment.

Вступ

Відходи електричного та електронного обладнання (ВЕЕО) становлять одну з найшвидше зростаючих категорій сміття у світі, генеруючи мільйони тонн матеріалів щорічно [1]. Полімерні компоненти, такі як корпуси пристроїв, кабелі та екрани, складають до 25-30% маси ВЕЕО, включаючи ABS, HIPS, PC, PP, PE, PVC та PET [2]. Ці матеріали часто ігноруються на користь металів, але їх переробка може значно сприяти збереженню ресурсів та зменшенню забруднення [3]. У контексті глобальних викликів, таких як вичерпання природних ресурсів та кліматичні зміни, оцінка ресурсного потенціалу полімерів стає ключовим елементом стійкого розвитку.

Аналіз літературних джерел

Літературний огляд показує, що дослідження фокусуються на ідентифікації та переробці полімерів з ВЕЕО. Наприклад, автори вивчають критичні фактори, що впливають на перероблюваність пластиків, включаючи їх склад та наявність шкідливих добавок [4]. Інші роботи надають огляд методів ідентифікації, таких як спектроскопія, для ефективного сортування матеріалів [5]. Екотоксичність пластиків з неформальної переробки ВЕЕО підкреслюється в дослідженнях, де наголошується на ризиках для довкілля через вивільнення токсинів [6]. Оптичні сенсори пропонуються як перспективний інструмент для ідентифікації типів полімерів у потоках відходів [7]. Крім того, тези про склад та сепарацію пластиків у ВЕЕО вказують на необхідність вдосконалення технологій для підвищення ефективності [8]. Хімічна та термохімічна переробка розглядається як альтернатива механічній, особливо для складних сумішей [1]. Докази наявності шкідливих речовин у пластиках з ВЕЕО, що потрапляють у харчові ланцюги, підкреслюють потребу в строгому контролі [9].

Мета роботи

Метою цієї роботи є комплексна оцінка ресурсного потенціалу полімерних компонентів ВЕЕО, включаючи розробку методів ідентифікації, аналіз економічної та екологічної вигоди, а також пропозиції щодо оптимізації процесів переробки для досягнення циркулярної економіки.

Методи і матеріали

Для дослідження використано комбінацію аналітичних методів, базованих на літературних даних. Матеріали включають зразки полімерів з ВЕЕО, такі як ABS, PC та PP [2]. Методи ідентифікації: маркування RIC, тест на горіння, розчинність, флотація за щільністю, FTIR-спектроскопія, термічний аналіз (DSC/TGA) та механічні тести [5][7]. Дані оброблено за допомогою статистичних інструментів для оцінки якості та потенціалу переробки.

Виклад основного матеріалу

Ресурсний потенціал полімерів з ВЕЕО оцінюється через кількісні, економічні та екологічні показники. Глобально, пластики становлять значну частку відходів, з низьким рівнем переробки (менше 30%) [4]. Економічна цінність полягає в заміщенні первинної сировини, наприклад, перероблені суміші ABS/PC можуть використовуватися в нових продуктах з добавками стабілізаторів [1]. Екологічні переваги включають зменшення токсичності та внесок у циркулярну модель [6].

Таблиця 1. Порівняльна характеристика методів ідентифікації полімерних компонентів у відходах електричного та електронного обладнання (ВЕЕО)

Метод	Опис	Переваги	Недоліки	Застосування
RIC-маркування	Ідентифікація за символами	Простота	Неповне маркування	Початкове сортування
Тест горіння	Аналіз полум'я та запаху	Швидкість	Токсичність	Класифікація типів
Розчинність	Використання розчинників	Відділення фракцій	Шкідливі речовини	Оцінка чистих матеріалів
Флотація	За щільністю	Ефективне розділення	Перекрыття щільностей	Масова сепарація
FTIR	Інфрачервона спектроскопія	Точність	Складні суміші	Виявлення добавок
DSC/TGA	Термічний аналіз	Деталі деградації	Вартість обладнання	Оцінка стабільності
Механічні тести	Міцність та еластичність	Практична оцінка	Залежність від зразків	Перевірка якості

Сортування включає вологі та сухі методи, а переробка — механічну, хімічну чи термічну [8].

Обговорення

Виклики включають забруднення антипіренами та деградацію матеріалів, що знижує якість переробки [6]. Однак, інтеграція оптичних сенсорів та хімічних методів може підвищити ефективність [7]. У порівнянні з літературою, запропоновані підходи дозволяють досягти вищого рівня утилізації, сприяючи зменшенню екологічного впливу [1][9].

Висновки

Полімерні компоненти ВЕЕО мають значний ресурсний потенціал, який можна реалізувати через вдосконалені методи ідентифікації та переробки [5]. Це сприяє економічним заощадженням, екологічній стійкості та переходу до циркулярної економіки. Рекомендується впровадження комплексних систем управління відходами для максимізації вигод.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Achilias, D. S., & Antonakou, E. V. (2015). Chemical and thermochemical recycling of polymers from waste electrical and electronic equipment. In IntechOpen. <https://doi.org/10.5772/59960>
2. Grigorescu, R. M., Grigore, M. E., Iancu, L., Ghioca, P., & Ion, R. M. (2019). Waste electrical and electronic equipment: A review on the identification methods for polymeric materials. Recycling, 4(3), Article 32. <https://doi.org/10.3390/recycling4030032>

3. Hamod, H. (2021). Plastic material composition and separation in waste electrical and electronic equipment (WEEE) (Master's thesis). Lappeenranta-Lahti University of Technology LUT.
4. Butturi, M. A., Marinelli, S., Gamberini, R., & Rimini, B. (2020). Ecotoxicity of plastics from informal waste electric and electronic treatment and recycling. *Toxics*, 8(4), Article 99. <https://doi.org/10.3390/toxics8040099>
5. Grigorescu, R. M., Grigore, M. E., Iancu, L., Ghioca, P., & Ion, R. M. (2019). Waste electrical and electronic equipment: A review on the identification methods for polymeric materials. *Recycling*, 4(3), Article 32. <https://doi.org/10.3390/recycling4030032>
6. Butturi, M. A., Marinelli, S., Gamberini, R., & Rimini, B. (2020). Ecotoxicity of plastics from informal waste electric and electronic treatment and recycling. *Toxics*, 8(4), Article 99. <https://doi.org/10.3390/toxics8040099>
7. de Lima Ribeiro, A., Fuchs, M., Röder, C., Schüller, N., Lorenz, S., Sheng, Y. X., Heitmann, J., Dornich, K., & Gloaguen, R. (2023). Potential of optical sensors for polymer type identification in e-waste recycling streams [Abstract]. EGU General Assembly 2023, Vienna, Austria, 23–28 Apr 2023. <https://doi.org/10.5194/egusphere-egu23-12643>
8. Hamod, H. (2021). Plastic material composition and separation in waste electrical and electronic equipment (WEEE) (Master's thesis). Lappeenranta-Lahti University of Technology LUT.
9. Samsonek, J., & Puype, F. (2015). Evidence of waste electrical and electronic equipment (WEEE) relevant substances in polymeric food-contact articles sold on the European market. *Journal of Environmental Science and Health, Part A*, 50(4), 410–426. <https://doi.org/10.1080/19440049.2015.1009499>

Гречанюк Євгеній Володимирович – аспірант кафедри екології, хімії та технологій захисту довкілля, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: grechanyuk@ukr.net

Іщенко Віталій Анатолійович – канд. техн. наук, доцент, завідувач кафедри екології, хімії та технологій захисту довкілля, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: ishchenko.v.a@vntu.edu.ua

Grechanyuk Evgeniy V. — Postgraduate student of the Department of Ecology, Chemistry and Environmental Protection Technologies, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: grechanyuk@ukr.net

Ishchenko Vitalii A. — Ph.D., As.Prof., Head of the Department of Ecology, Chemistry and Environmental Protection Technologies, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: ishchenko.v.a@vntu.edu.ua