

ЗАБРУДНЕННЯ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА ВНАСЛІДОК НАДХОДЖЕННЯ ПОЛІМЕРНИХ КОМПОНЕНТІВ ЕЛЕКТРОННИХ ВІДХОДІВ

Анотація. Висвітлюється проблема забруднення навколишнього середовища полімерними компонентами, які містяться в електронних відходах (WEEE). Описано основні шляхи потрапляння полімерів у природне середовище, їх вплив на екосистеми, а також на здоров'я людей. Особливу увагу приділено питанням переробки та утилізації полімерних компонентів електронних відходів, а також аналізуються існуючі технології та їх ефективність. Розглянуто можливі заходи щодо мінімізації негативного впливу полімерних матеріалів на довкілля, включаючи підходи до поліпшення регуляторних механізмів. **Ключові слова:** полімери, електронні відходи, забруднення навколишнього середовища, переробка, утилізація, екосистеми, мікропластик, токсичність, WEEE.

Annotation. The problems of environmental pollution by polymer components that are formed in electronic waste (WEEE) are highlighted. The main ways of passing polymers into the natural environment, their impact on ecosystems, as well as on human health are described. Particular attention is paid to the issues of processing and utilization of polymer components of electronic waste, and existing technologies and their effectiveness are also analyzed. Measures to minimize the negative impact of polymer materials on the environment, including approaches to improving regulatory mechanisms, are considered. **Keywords:** polymers, e-waste, environmental pollution, recycling, utilization, ecosystems, microplastics, toxicity, WEEE.

Вступ. З кожним роком обсяг електронних відходів у світі зростає експоненційними темпами. За даними ООН, у 2023 році глобальне виробництво WEEE перевищило 53 мільйони тон, і ця цифра продовжує збільшуватися [1]. Електронні відходи є складними за складом і містять небезпечні матеріали, серед яких особливої уваги заслуговують полімери. Полімерні компоненти, що входять до складу корпусів пристроїв, кабелів, ізоляції, друкованих плат та інших частин електроніки, представляють серйозну екологічну загрозу через свою хімічну стійкість, тривалий термін розкладу і токсичність [2].

Серед основних полімерів, що використовуються в електронних пристроях, є полівінілхлорид (PVC), полікарбонати (PC), полістироли, поліетилентерефталат (PET) та акрилонітрил-бутадієн-стирол (ABS) [3]. Ці матеріали, як правило, стійкі до біологічного розкладу, що призводить до їх накопичення в навколишньому середовищі. Вони також можуть містити шкідливі добавки, такі як фталати, антипірени, барвники та стабілізатори, що додатково погіршує їхній вплив на довкілля [4].

Метою даного дослідження є аналіз екологічних наслідків полімерних компонентів електронних відходів та визначення ефективних підходів до їхнього управління, включаючи утилізацію та переробку.

Результати дослідження

Механізм впливу полімерних компонентів на довкілля.

Електронні відходи можуть потрапляти в навколишнє середовище на різних етапах їх життєвого циклу, включаючи виробництво, використання та утилізацію. Основні шляхи забруднення довкілля полімерними компонентами включають: 1) неправильне зберігання та утилізація; - відсутність належної інфраструктури для збору і переробки WEEE призводить до того, що полімери потрапляють на звалища, де вони можуть піддаватися фізичному та хімічному руйнуванню під впливом атмосферних факторів [5]. Це призводить до формування мікропластиків, які легко потрапляють у водні ресурси, ґрунти і навіть в атмосферу [6]. 2) спалювання відходів; - часто електронні відходи піддаються неконтрольованому спалюванню, особливо в країнах з низьким рівнем економічного розвитку, що призводить до виділення в повітря небезпечних речовин, таких як діоксини та фурані [7]. Ці сполуки є канцерогенними і можуть викликати серйозні порушення здоров'я у людей і тварин. 3) міграція хімічних речовин; - полімери можуть виділяти шкідливі добавки, такі як антипірени, що використовуються для зниження горючості матеріалів. Ці речовини можуть мігрувати в навколишнє середовище, потрапляти у воду, ґрунт і навіть продукти харчування, що становить загрозу для екосистем і здоров'я людини [8].

Вплив на здоров'я людини та екосистеми.

Полімери, що входять до складу електронних відходів, можуть мати низку негативних ефектів на здоров'я людини та екосистеми. Зокрема, мікропластики, які утворюються в результаті руйнування полімерів, можуть накопичуватися в харчових ланцюгах, що призводить до біоаккумуляції токсичних речовин у живих організмах [9].

Антипірени, які містяться в полімерних компонентах, мають ендокринно-руйнівні властивості. Дослідження показують, що ці хімічні речовини можуть викликати гормональні збої, а також порушення репродуктивних функцій у людини та диких тварин [10]. Додатково, спалювання полімерів призводить до виділення канцерогенних речовин, які можуть спричиняти захворювання органів дихання, шкіри та інші системні захворювання [11].

Переробка та утилізація полімерних компонентів електронних відходів.

Існуючі технології переробки полімерних компонентів WEEE можна розділити на механічну, термічну та хімічну переробку: 1) механічна переробка передбачає подрібнення матеріалів та їх подальше використання у виробництві нових виробів. Хоча цей метод є досить економічним, він не завжди ефективний, оскільки багато полімерних матеріалів не можуть бути перероблені багаторазово без втрати якості [12]. 2) термічна переробка включає спалювання полімерів для отримання енергії. Проте цей метод має значний екологічний ризик, оскільки в процесі спалювання можуть виділятися токсичні гази. 3) хімічна деполімеризація дозволяє розкласти полімери на

мономери, які можна використовувати повторно у виробництві нових полімерних матеріалів. Ця технологія має потенціал для зменшення кількості відходів, але вона ще знаходиться на етапі розвитку і потребує значних фінансових вкладень.

Ефективність регуляторних механізмів.

Управління електронними відходами потребує інтегрованого підходу, що включає міжнародне співробітництво та суворе дотримання екологічних стандартів. Європейський Союз прийняв кілька директив, спрямованих на регулювання управління WEEE, таких як Директива RoHS (обмеження використання небезпечних речовин) і Директива WEEE, яка сприяє розширеній відповідальності виробників. Проте в багатьох країнах, особливо в Африці та Азії, відсутність чіткої законодавчої бази та інфраструктури переробки залишається серйозною проблемою [13].

Висновки

Забруднення навколишнього середовища полімерними компонентами електронних відходів представляє серйозну екологічну проблему глобального масштабу. Неправильне управління цими відходами сприяє накопиченню токсичних речовин у довкіллі, що негативно впливає на екосистеми та здоров'я людини. Рішенням цієї проблеми можуть стати розвиток ефективних технологій переробки, впровадження нових екологічно безпечних матеріалів, а також вдосконалення регуляторних механізмів на національному та міжнародному рівнях. Для мінімізації екологічного навантаження потрібне активне міжнародне співробітництво і розробка нових технологічних рішень, що дозволяють більш ефективно управляти електронними відходами та зменшувати їхній негативний вплив на довкілля.

Список використаної літератури

- [1] Balde, C.P., Wang, F., Kuehr, R., Huisman, J. (2015). "The Global E-Waste Monitor." United Nations University.
- [2] Kang, H.Y., Schoenung, J.M. (2005). "Electronic waste recycling: A review of U.S. infrastructure and technology options." *Resources, Conservation and Recycling*, 45(4), 368-400.
- [3] Brems, A., Baeyens, J., Dewil, R. (2012). "Recycling and recovery of post-consumer plastic solid waste in a European context." *Thermal Science*, 16(3), 669-685.
- [4] Alabi, O.A., Ologunagba, F.O., Alade, G.O. (2019). "Health risks of electronic waste workers in Nigeria." *Environmental Science and Pollution Research*, 26(3), 2355-2366.
- [5] Leung, A.O.W., Duzgoren-Aydin, N.S., Cheung, K.C., Wong, M.H. (2008). "Heavy metals concentrations of surface dust from e-waste recycling and its human health implications in Southeast China." *Environmental Science and Technology*, 42(7), 2674-2680.
- [6] Prata, J.C., da Costa, J.P., Lopes, I., Duarte, A.C., Rocha-Santos, T. (2020). "Environmental exposure to microplastics: An overview on possible human health effects." *Science of The Total Environment*, 702, 134455.
- [7] Wang, F., Kuehr, R., Ahlquist, D., Li, J. (2013). "E-waste in China: A country report." United Nations University.
- [8] Tansel, B. (2017). "From electronic consumer products to e-wastes: Global outlook, waste quantities, recycling challenges." *Environment International*, 98, 35-45.
- [9] Gu, Y., Wu, Y., Xu, M., Wang, H., Zuo, T. (2017). "Waste electrical and electronic equipment (WEEE) recycling for a sustainable resource supply in the electronics industry." *Resources, Conservation and Recycling*, 127, 108-118.
- [10] Chen, D., Bi, X., Zhao, J., Chen, L., Tan, J. (2015). "Pollution characteristics and health risk of heavy metals in street dusts from different functional areas in Chengdu, China." *Environmental Science and Pollution Research*, 22(4), 2449-2460.
- [11] Hadi, P., Xu, M., Lin, C.S.K., McKay, G. (2015). "Waste printed circuit board recycling techniques and product utilization." *Journal of Hazardous Materials*, 283, 234-243.
- [12] Ramesh, S., Ong, B.H., Wong, Y.C., Tan, C.Y., Ramesh, K. (2019). "Recycling of waste materials for polymeric composites – An overview." *Polymer Composites*, 40(S1), 33-42.
- [13] Asante, K.A., Agusa, T., Biney, C.A., et al. (2012). "Multi-Trace Element Levels and Arsenic Speciation in Urine of E-Waste Workers at Agbogbloshie, Ghana." *Science of the Total Environment*, 424, 63-73.