ВИЗНАЧЕННЯ НЕБЕЗПЕКИ ПЛАСТИКОВИХ ВІДХОДІВ ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ МОЖЛИВОСТІ ЇХ УТИЛІЗАЦІЇ ТЕРМІЧНИМИ МЕТОДАМИ

Л. М. Маркіна^{1*}, С. Ю. Ушкац¹, Н. Ю. Жолобенко¹¹Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова, Миколаїв, Україна

*E-mail для листування: markserg@ukr.net

Отримано: 04 Червня 2021; Прийнято: 09 Червня 2021

Цитувати як: Маркіна, Л. М., Ушкац, С. Ю., Жолобенко, Н. Ю. (2021). Визначення небезпеки пластикових відходів для дослідження можливості їх утилізації термічними методами. *Проблеми охорони праці в Україні*, 37(2), 25–37.

Останнім часом виробництво пластиків збільшилось в декілька разів та попит на пластмасові матеріали продовжує зростати, що призводить до збільшення обсягів відходів пластмас, що створює ряд екологічних проблем, а також потенціал для галузі поводження з відходами. У статті розглядаються питання забруднення навколишнього середовища через збільшення кількості пластикових відходів, накопичення їх з акцентом на різні хімічні речовини, які містяться у пластмасових виробах для поліпшення властивостей полімерів і продовження їх терміну служби. Визначено якісний та кількісний склад добавок, таких як пластифікатори, антипірени, термостабілізатори, функціональні добавки, барвники та наповнювачі, що можуть містити важкі метали, галогени, фтормісні, тощо. Встановлено вплив наслідків попадання пластикових відходів в довкілля та вплив на здоров'я населення, визначено шляхи потрапляння шкідливих речовин у навколишнє середовище. Розглянуто методи виявлення токсичних речовин у воді, повітрі та ґрунті та деякі шкідливі речовини, які вивільняються з пластмасових виробів в різних умовах.

Потрапляння хімічних речовин у навколишнє середовище відбувається під час різних процесів поводження з пластиковими відходами, а також з продуктів, вироблених із вторинної сировини. Отже, раціональне збирання, перевезення, сортування, зберігання, утилізація, знешкодження та захоронення мають здійснюватися таким чином, щоб виключити утворення та викид шкідливих речовин на кожному етапі, забезпечуючи постійний захист навколишнього середовища та здоров'я людини, наприклад, персоналу який працює на сортувальних станціях або на сміттєпереробних заводах. Визначено шляхи виявлення небезпечних речовин у довкіллі та продуктах переробки відходів та запропоновано методологію забезпечення безпеки поводження з пластиковими відходами на всіх етапах.

Ключові слова: екологічна безпека, переробка відходів, пластмаси, міграція хімічних речовин.

DETERMINATION OF THE HAZARD OF PLASTIC WASTE FOR INVESTIGATION OF THE POSSIBILITY OF THEIR UTILIZATION BY THERMAL METHODS

L. M. Markina^{1*}, S. Yu. Ushkats¹, N. Yu. Zholobenko¹¹Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Mykolaiv, Ukraine

*Corresponding email: markserg@ukr.net

Received: 04 June 2021; Accepted: 09 June 2021

Cite as: Markina, L. M., Ushkats, S. Yu., Zholobenko, N. Yu. (2021). Determining the danger of plastic waste to study the possibility of their utilization by thermal methods. *Protection Problems in Ukraine*, 37(2), 25–37.

Recently, the production of plastics has increased several times and the demand for plastic materials continues to grow, which leads to an increase in plastic waste, which creates a number of environmental problems, as well as the potential for the waste management industry. The article considers the issues of environmental pollution due to the increase in the amount of plastic waste, their accumulation with an emphasis on various chemicals contained in plastic products to improve the properties of polymers and extend their service life. The qualitative and quantitative composition of additives, such as plasticizers, flame retardants, heat stabilizers, functional additives, dyes and fillers, which may contain heavy metals, halogens, fluorine, tosho. The impact of plastic waste on the environment and the impact on public health have been established, and the ways in which harmful substances enter the environment have been identified. Methods for detecting toxic substances in water, air and soil, and some harmful substances released from plastic products in different conditions are considered.

The release of chemicals into the environment occurs during various processes of plastic waste management, as well as from products made from secondary raw materials. Therefore, the rational collection, transportation, sorting, storage, disposal, disposal and disposal should be carried out in such a way as to exclude the formation and release of harmful substances at every stage, ensuring continuous protection of the environment and human health, such as personnel working at sorting stations or at waste processing plants. The detection of hazardous substances in the environment and waste processing products is recognized, therefore the methodology of ensuring the safety of plastic waste management at all stages is proposed.

Keywords: environmental safety, waste processing, plastics, migration of chemicals.

1. Постановка проблеми та аналіз останніх досліджень і публікацій.

Зростання кількості пластикових відходів, а також проблеми, які вони створюють у навколишньому середовищі (НС), визначили нагальну потребу щодо контролю цього джерела забруднення. За останні роки виробництво полімерів в світі значно збільшилося і у 2019 році оцінювалося в 368 млн тонн. З цієї кількості світового виробництва пластмас 31 % виробляє Китай, в Європі виробництво складало 16 %, що дорівнює майже 58 млн тонн [1]. Ця проблема ще більше загострилася у зв'язку з поширенням коронавірусної інфекції COVID-19, головними заходами для припинення якої було

збільшення використання продукції з пластику, одноразової тари, посуду та засобів захисту, і, як наслідок, збільшення такого роду відходів [2]. Пластикові полімери використовуються не тільки для виробництва споживчих товарів, предметів побуту і домашнього вжитку, але також для виготовлення синтетичних волокон, будівельних пін, покриттів, клеїв і герметиків, які використовуються в багатьох областях.

В Європі у виробництві пластиків переважає упаковка (39,6 %), за нею йдуть будівництво (20,4 %), автомобілебудування (9,6 %), електротехніка та електроніка (6,2 %), будинок, відпочинок і спорт (4,1 %),

сільське господарство (3,4 %), а також побутова техніка, машинобудування, меблі, медицина тощо (16,7 %) [1].

Полімери мають безліч властивостей, що робить їх привабливим і незамінним матеріалом для різних областей застосування, однак таке розмаїття призводить і до різноманітного потоку відходів, значна частина яких потрапляє в навколишнє середовище і стає причиною різних негативних екологічних, економічних та соціальних наслідків [3]. Такий стан справ дав поштовх до формування суворого законодавства, встановленого

Європейським союзом, згідно з яким 50 % пластикової упаковки має бути перероблено до 2025 року і 55 % – до 2030 року [4].

Незважаючи на значні світові досягнення в галузі поводження з відходами, більша частина пластикових відходів, потрапляє на звалища або спалюється, що вважається недоцільним і призводить до втрати цінних ресурсів і завдає шкоди НС. Встановлено негативний вплив наслідків накопичення пластикових відходів на довкілля та здоров'я населення (рис. 1).

Рисунок 1 – Схематичне зображення впливу наслідків накопичення та переробки пластикових відходів на довкілля та здоров'я населення

2. Постановка завдання та його вирішення.

Враховуючи вищезазначене, метою цієї роботи є визначення небезпеки пластикових відходів для дослідження можливості їх утилізації термічними методами.

Завданнями цієї роботи є:

- визначення якісного та кількісного складу добавок: пластифікаторів, антипіренів, термостабілізаторів, функціональних добавок, барвників та наповнювачів, що можуть містити важкі метали, галогени, фторвмісні та ін.;
- визначення шляхів потрапляння шкідливих речовин у навколишнє середовище;
- встановлення впливу наслідків потрапляння пластикових відходів у довкілля та вплив на здоров'я населення;
- аналіз методів виявлення токсичних речовин у воді, повітрі та ґрунті й визначення шкідливих речовин, які вивільняються з пластмасових виробів у різних умовах;
- визначення шляхів потрапляння небезпечних речовин у довкілля та продукти переробки відходів та запропонувати методологію забезпечення безпеки поводження з пластиковими відходами на всіх етапах поводження з ними.

2.1. Матеріали й методи.

Теоретичною та методологічною базою дослідження є систематизація розрізнених знань праць учених у галузі композиційних матеріалів і поводження з відходами, проведено збір інформації про стан екологічної безпеки

композиційних матеріалів і поводження з відходами, проведено збір інформації про стан екологічної безпеки поводження з пластиками, порівняння інформації з різних джерел. У процесі дослідження використано аналітичні методи та методи кількісного та якісного аналізу.

2.2. Результати

Пластмаси вважаються стійкими забруднювачами, більшість з яких не піддається біологічному розкладанню [5], а виробництво і використання біорозкладних пластиків ще необхідно ретельно досліджувати, адже не всі з них є повністю біорозкладними в НС. Полімери, що не піддаються біологічному розкладанню, можуть руйнуватися за допомогою фізичних і хімічних чинників, а ефект від вищезазначених механізмів розкладання полягає в крихкості та фрагментації полімерів на більш дрібні частини [6].

Стан, в якому пластиковий матеріал залишається з плином часу, а більшість полімерів виробляються з урахуванням довгострокової стабільності їх властивостей і не призначені для легкого руйнування, впливає на можливе вивільнення токсичних речовин (добавок), що містяться в ньому, і завдає непоправної шкоди навколишньому середовищу [7].

Викиди шкідливих речовин можуть відбуватися на всіх етапах життєвого циклу пластикового продукту. Визначено шляхи потрапляння їх у навколишнє середовище (рис. 2).

Рисунок 2 – Шляхи потрапляння шкідливих речовин, що утворюються з пластмасових виробів у навколишнє середовище

Визначення масштабів і типу викидів залежить від багатьох факторів, і виявляється за допомогою хроматографічного, оптичного, електрохімічного та

інших методів лабораторного аналізу. Методи виявлення токсичних речовин у воді, повітрі та ґрунті наведено в табл. 1 [8–14].

Таблиця 1 – Методи виявлення токсичних речовин в воді, повітрі та ґрунті

Об'єкти виявлення	Речовини	Методи
Вода		- полум'яної атомно-абсорбційної спектроскопії; - спектрофотометрії з використанням неселективного реагенту піріділазорезорціна і алгоритму проєкції на латентні структури; - атомно-емісійної спектроскопії; - спектроскопії дифузного відбиття з використанням глинистого мінералу, модифікованого родаміном Б; - атомно-абсорбційним методом з електротермічною атомізацією; - електрохімічний метод інверсійної хронопотенціометрії; - фотометричний аналіз; - флуориметричний аналіз;
	Важкі метали	- абсорбційний метод спектрального аналізу; - полум'яно-іонізаційний; - хемілюмінесцентний; - флуоресцентний; - полум'яно-фотометричний; - радіометричний; - гравіметричний; - електрохімічний
Повітря		- мікроморфологічний аналіз; - мінералогічний аналіз; - спектральний аналіз; - атомно-абсорбційний аналіз
Ґрунт		- йодометричне титрування; - тест-методи
Вода		- метод вимірювання концентрацій шкідливих речовин індикаторними трубками; - іонний хроматограф; - фотометричні технологічні аналізатори; - метод іонної хроматографії
Повітря	Галогени	- метод Мора; - спектрофотометричний з алізарінкомплексом; - метод Фольгарда
Ґрунт		- фотометричний метод з лантаналізарінкомплексом; - потенціометричний метод
Вода	Фторвмісні	- метод іонної хроматографії
Повітря		- фотометричний або потенціометричний метод з фторселективним електродом
Ґрунт		

Склад полімерів визначає, що саме може бути виділено із пластику. Тип полімеру, температура, наявність мікроорганізмів, вологі і прямі сонячні промені також впливають на фактично потенційне вивільнення шкідливих речовин в НС, тобто потенціал міграції та ступінь небезпеки. Наприклад, під час термічного розкладання азотовмісних пластмас (нейлон, поліакрилонітрил і поліуретани) виділяють ціаністий водень, матеріали (PVC), які містять хлор, виділяють хлористий водень і діоксини, бісфенол А, вінілхлорид, фталати та кадмій [15]. Фторвмісні полімери (політетрафторетилен (PTFE) і полівініліденфторид) вивільняють фторид водню і перфторізобутен, (PS) при контакті з гарячою їжею виділяє токсичний стирол, а при контакті з алкоголем – формальдегід / фенол [16].

При тривалому нагріванні (наприклад, з PET пляшки, що знаходиться тижнями в машині на сонці) при багаторазовому використанні в рідину виділяється сурма; при нагріванні HDPE до 250°C і одночасному контакті з повітрям виділяються діоксид вуглецю, CO і альдегіди, в тому числі і формальдегід, LDPE при нагріванні виділяє кислоти, ефіри, перекісні та карбонільні з'єднання [17]. Суміш різних видів пластиків і полімерів, які не ввійшли в окрему групу, а їх повторне використання і переробки не стандартизовані є найнебезпечнішою групою, яка при

нагріванні здатна виділяти бісфенол А [6, 18]. В таблиці 2 показано деякі шкідливі речовини які вивільняються з пластмасових виробів в різних умовах і їх вплив на НС та здоров'я людини.

У пластикових матеріалах, що використовуються для більшості пластмасових виробів, основний полімер включається до пластичного складу з різними «добавками», що додаються для поліпшення характеристик, функціональності та властивостей полімерів. Найчастіше в різні типи полімерних пакувальних матеріалів використовують такі добавки, як пластифікатори (табл. 3), що застосовуються для підвищення гнучкості, міцності й розтяжності полімерних плівок. Вони також підвищують ударостійкість та надають матеріалу м'якість і липкість [19, 20, 21].

До складу деяких пластифікаторів входять ефіри фталевої кислоти, в складі PVC використовуються пластифікатори Біс (2-етилгексил) фталати, що складають близько 80 % об'єму, PET можуть включати діпентілфталат, ди- (2-етилгексил) адипат, діоктил адипат, діетилфталат, діізобутілфталат і дибутилфталат, ацетилтрібутілцитрат-пластифікатор на основі полівініліденхлоріда.

Таблиця 2 – Шкідливі речовини та їх вплив на НС та здоров'я людини

Відходи	Значок	Матеріал	Шкідливі компоненти	Вплив на НС та людину
Пляшки для води, безалкогольних напоїв, соків, засобів для чищення тощо	PET, PETE, ПЭТ, ПЭТФ	Поліетилен-терефталат (лавсан)	Токсичні метали, фторид водню і перфторізобутілен	Можуть накопичуватись у кістках і різних органах, спричиняючи їх дисфункцію. Викликають рак.
Іграшки, пляшки з під молока та шампуней, трубки, посуд тощо	PEHD, HDPE, ПЭВП, ПЭНД	Поліетилен високої щільності, поліетилен низького тиску	Бісфенол А, Кадмій і свинець; Октілфенол; Тріон (TGIC) Гідроксіанізол, метан (Irganox 1010) Суанок 2246 і 425, Іргафос 168	Впливають на роботу ендокринної, нервової та імунної систем, вражають нирки та печінку, викликають алергічні реакції. Метан сприяє посиленню парникового ефекту.
Віконні рами, профілі, підлога та покриття стін, труби, ізоляція кабелів, садові шланги, надувні басейни тощо	PVC, V, ПВХ	Полівінілхлорид	Дігептіл адипинат, (2-етілексил) фталат (ДЕГФ), діізонафталат (ДІНФ), діізодецилфталат (ДІДФ), ді (2-пропілгептіл) фталат (ДПГФ), Олеамид, ерукамид, стеарамид, хлористий водень і діоксини, Бісфенол А (БФА)	Призводять до подразнення дихальних шляхів та очей. Порушують нормальне функціонування нирок і печінки. Діоксини можуть викликати проблеми в області репродуктивного здоров'я і розвитку, ураження імунної системи, гормональні порушення та ракові захворювання
Багаторазові пакети, підноси та контейнери, сільсько-господарська плівка, упаковка для їжі тощо	LDPE, PELD ПЭНП, ПЭВД	Поліетилен низької щільності, поліетилен високого тиску	Irganox 1010, 1076, Irgafos 168, Ethanox 330	Забруднюють воду, потрапивши до харчового ланцюжка спричиняють ендокринні порушення, пов'язані з розвитком астми, і порушують репродуктивну систему
Харчова упаковка, обгортки, кришки, контейнери, труби, автомобільні деталі, банкноти тощо.	PP, ПП	Поліпропілен	Бісфенол А, Суанок 2246, Chimassorb 81, Irganox 1035, 1010, 1330, 1076, Irgafos 168, Tinuvin 326, 328, Фталати	Викликають рак, вроджені дефекти, гормональні зміни, зниження кількості сперматозоїдів, безпліддя, ендометріоз і ослаблення імунної системи.
Харчова упаковка, будівельна ізоляція, електричне та електронне обладнання, оправи для окулярів тощо.	PS, EPS ПС	Полістирол	Стирол, Стирол Ді (2-етилгексил) адипат	Забруднює їжу та відкладається в жирових клітинах тіла. Негативно впливає на функцію печінки і нирок, кровоносну і нервову системи. Підвищує ризик лімфатичних і ракових захворювань.
Оптичні волокна, лінзи для окулярів, покривельні листи, екрани, покриття кабелів, медичні імплантати, хірургічні пристрої, мембрани, клапани та ущільнення, захисні покриття багато ін.	OTHER, О	Інші	С, Н, N, S, O, метали і галогени, хлор. Може містити всі вищеперераховані шкідливі речовини, так як комбінована упаковка, складається з декількох шарів різних матеріалів, клеїв, герметиків тощо	При нагріванні або тривалому застосуванні з таких виробів може виділятися бісфенол А, який спричиняє гормональні порушення в організмі

Іншими, часто згадуваними пластифікаторами, є дибутилфталат, дігептіл адипинат, діціклогексилфталат, бутілбензилфталат, гептіладипінат і гептілу октіладипат [20, 21].

Для додання вогнестійкості горючим полімерам широко використовують хімічно активні антипірени (табл. 4), при взаємодії яких з полімером до його складу

вводяться атоми хлору, бром, фосфору, азоту, бору, деяких металів (наприклад, кальцію, барію, магнію) [21].

Антиоксиданти вбудовані в різні полімерні смоли, щоб уповільнити загальну окислювальну деградацію пластмас при впливі ультрафіолетового світла [19, 21, 22]. Вільні радикали з високою реакційною здатністю, які утворюються під дією тепла, випромінювання і механічного

Таблиця 3 – Пластифікатори, використовувані в пластикових матеріалах

Категорія / Тип добавки	Типовий діапазон кількості (% мас.)	Речовини	Додаткові коментарі-пояснення
Пластифікатори	10–70	Коротколанцюгові хлоровані парафіни з середнім і довгим ланцюгом (SCCP / MCCP / LCCP); Діізогептілфталат (DIHP); DHNUP; Бензілбутилфталат (BBP); Біс (2-етилгексил) фталат (DEHP): біс (2-метоксіетил) фталат (DMEP): дибутилфталат (DBP); діпентілфталат (DPP), ди- (2-етилгексил) адипат (DEHA), діоктіладіпат (DOA), діетилфталат (DEP), діізобутилфталат (DiBP); Трис (2-хлоретил) фосфат (TCPP); діціклогексилфталат (DCHP), бутілбензілфталат (BBP), дігептіладіпат (DHA), гептіладіпат (HAD) і гептілоктіладіпат (HOA).	Близько 80 % використовується в ПВХ, а інші 20 % – у біорозкладному пластиці.

Таблиця 4 – Антипірени, використовувані в пластикових матеріалах

Категорія / Тип добавки	Типовий діапазон кількості (% мас.)	Речовини	Додаткові коментарі-пояснення
Антипірени	3–25 (для бромованих)	Хлоровані парафіни з коротким, середнім і довгим ланцюгом (SCCP / MCCP / LCCP): борна кислота; Бромовані антипірени з сурмою (Sb) в якості синергиста (наприклад, полібромдіфенілові ефіри (ПБДЕ); декабромдіфенілетан; тетрабромбісфенол А (ТВВРА); Фосфорний антипірен (наприклад, трис (2-хлоретил) фосфат (TCPP), трис (2-хлорізопропіл) фосфат (TCPP).	Три групи: • органічні неактивні (наприклад, складні ефіри фосфорної кислоти, складні ефіри галогенованих фосфорної кислоти, галогеновані вуглеводні); • неорганічні інертні (наприклад, оксид сурми, тригідрат оксиду алюмінію, борат цинку, ортофосфат амонію, сульфат амонію); • реакційноздаті (наприклад, полііоли, що містять бром або фосфор, галогеновані феноли, тетрафторфталевий ангідрид, складні ефіри фосфонові кислоти, дібромонеопентіловий спирт).

зсуву (часто поглиблюються наявністю металевих домішок), викликають розкладання полімеру. У харчовій упаковці ймовірність окислення збільшується у випадку впливу високих температур, включаючи контакт з гарячими харчовими продуктами, впливи інфрачервоного і мікрохвильового нагріву, обробки в автоклаві. Найбільш часто використовувані антиоксиданти в пластиковій упаковці для харчових продуктів – це аріламіни, також в якості антиоксидантів використовуються фенольні смоли і органофосфіти (використовувані для відновлення гідропероксидів, що утворюються при окисненні до спиртів). До першої групи належать бутильований гідрокситолуол, 2- і 3-трет-бутил-4-гідроксіанізол, Irganox 1010, бісфенол А і Cyapox 2246 і 425 [19, 23].

Термостабілізатори (табл. 5) запобігають термічному розкладанню полімерів при впливі підвищених температур, наприклад, під час термічної обробки харчових продуктів. Деякі типи полімерів, наприклад PVC, полівініліденхлорид, сополімери вінілхлориду (вінілхлорид, вінілацетат) і суміші PVC, потребують додавання термостабілізаторів для збереження їх функціональності [19, 24].

Існує три типи первинних термостабілізаторів (суміші солей металів, оловоорганічні з'єднання, з'єднання свинцю) і три типи вторинних термостабілізаторів (алкілорганічні фосфіти, епоксидні сполуки і бета-дикетони). Як правило, епоксидні

стабілізатори – це похідне епоксидіроване соєвої, лляної і соняшникової олії, які найчастіше зустрічаються в пластмасах для упаковки харчових продуктів [22, 23, 25, 26].

Деактиватори нейтралізують будь-які залишки каталізатора, зародки утворювачі кристалізації збільшують прозорість смоли і скорочують час обробки, а пігменти забезпечують різноманітність кольорів. Антистатики дозволяють знімати статичну електрику із плівки або деталі, а додавання антипіренів дозволяє використовувати поліпропілен в електроніці, будівництві, на транспорті. Агенти, що перешкоджають злипанню і ковзанню, зазвичай використовують в плівках. Поглинаючі кислоти, світлостабілізатори, мастильні матеріали, пігменти, антистатики, що відіграють особливу роль в забезпеченні та поліпшенні кінцевих функціональних властивостей пластмасових виробів, можна розділити на 4 категорії (табл. 6): функціональні добавки (стабілізатори, антистатики, антипірени, пластифікатори, мастила, добавки, що знижують ковзання, отверджувачі, піноутворювачі, біоциди тощо); барвники (пігменти, розчинні азоколюранти тощо); наповнювачі (слюда, тальк, каолін, глина, карбонат кальцію, сульфат барію); армуючі елементи (скло, вуглецеве волокно) [19, 22, 23, 27, 28].

У таблиці 7 представлені найбільш поширені барвники, наповнювачі та підкріплювачі, що використовують у пластмасах [29–34].

Таблиця 5 – Термостабілізатори, використовувані в пластикових матеріалах

Категорія / Тип добавки	Типовий діапазон кількості (% мас.)	Речовини	Додаткові коментарі-пояснення
Термостабілізатори	0,5–3	Сполуки кадмію і свинцю; Нонілфенол (солі барію і кальцію).	В основному використовується в ПВХ. На основі сполук Pb, Sn, Ba, Cd і Zn. Pb є найбільш ефективним і використовується в менших кількостях

Таблиця 6 – Функціональні добавки

Категорія / Тип добавки	Типовий діапазон кількості (% мас.)	Речовини	Додаткові коментарі-пояснення
Стабілізатори, антиоксиданти та УФ-стабілізатори	0,05–3	Бісфенол А (BPA); Сполуки кадмію і свинцю; З'єднання нонілфенол; Октілфенол; 1,3,5-Тріс (оксиран-2-ілметил) - 1,3,5-тріазинан-2,4,6-Тріон (TGIC) / 1,3,5-трис [(2Si 2R) - 2, 3-епоксіпропіл] -1,3,5-тріазин-2,4,6- (1H, 3H, 5H)-тріон (β-TGIC), бутильований гідрокситолуол (BHT), 2- і 3-трет-бутил-4 гідроксіанізол (BHA), тетракісметілен- (3,5-ді-трет-бутил-4-гідроксигідроцінамат) метан (Irganox 1010) і бісфенол, такі як Cyapox 2246 і 425, трис-нонілфенілфосфат (TNPP), трис (2,4-ді -три-бутилфеніл) фосфо (Irgafos 168).	Кількість залежить від хімічної структури добавки і пластичного полімеру. Фенольні антиоксиданти використовуються в невеликих кількостях, а фосфіти – у великих. Найнижчі кількості в поліолефінів (LDPE, HDPE), більше в HIPS і ABS.
Ковзаючі агенти	0,1–3	Аміди жирних кислот (первинний ерукамід і олеамід), складні ефіри жирних кислот, стеарати металів (наприклад, стеарат цинку) і воски.	Кількість залежить від хімічної структури добавки, що знижує тертя, і типу пластичного полімеру.
Мастильні матеріали (внутрішні та зовнішні)	0,1–3	-	–
Антистатика	0,1–1	-	Більшість видів гідрофільних і можуть переходити у воду.
Затверджувачі	0,1–2	4,4-діамінодіфенілметан (МДА); 2,2 дихлор-4,4-метілендіанілін (MOCA); Формальдегід – продукти реакції з аніліном; гідазин; 1,3,5-трис (оксиран-2-ілметил) - 1,3,5-тріазинан-2,4,6-Тріон (TGIC) / 1,3,5-трис [(2Si 2R) - 2, 3 -епоксіпропіл] -1,3,5-тріазин-2,4,6- (1H, 3H, 5H) -тріон (β-TGIC).	Пероксиди та інші зшивають агенти, каталізatori, прискорювачі.
Піноутворювачі	Залежить від щільності піни і потенційного газоутворення агента.	-	Азодикарбонамід, бензолдісульфонілгідазид (BSH), пентан, CO ₂ .
Біоциди	0,001–1	Сполуки миш'яку; Органічні сполуки олова; триклозан.	М'який ПВХ і спінені поліуретани – основні споживачі біоцидів. Вони розрізняються за хімічною структурою і включають гетероцикли хлорованого азоту та сірки і з'єднання на основі Sn, Hg, As, Cu і Sb, наприклад гідритрибутилова і 10,10-оксібісфеноарсіна.

Таблиця 7 – Барвники і наповнювачі, які використовуються в пластикових матеріалах

Категорія / Тип добавки	Типовий діапазон кількості (% мас.)	Речовини	Додаткові коментарі-пояснення
Барвники			
Розчинні (наприклад, азоколюранти)	0,25–5	-	Вони легко мігрують і використовуються в дуже прозорих пелюстках. Вони дорогі, з обмеженою світло- і термостійкістю. В основному використовуються в пелюстках PS, PMMA і целюлозі для отримання яскравого прозорого кольору.
Органічні пігменти	0,001–2,5	Діацетат кобальту (II).	Вони нерозчинні з низькою тенденцією до міграції.
Неорганічні пігменти	0,01–10	Сполуки кадмію; Сполуки хрому; Сполуки свинцю.	Наприклад, сульфід цинку, оксид цинку, оксид заліза, кадмій-марганець, хром, ультрамарин і діоксид титану.
Особливий ефект	Варіюється з ефектом і речовини в питанні	-	Порошок Al і Cu, карбонат або вісмутоксидхлорид свинцю і речовини з флуоресценцією. Речовини з флуоресценцією можуть мігрувати, а перші – ні.
Наповнювачі			
	До 50	-	Карбонат кальцію, тальк, глина, оксид цинку, мерехтіння, металевий порошок, деревний порошок, азбест, сульфат барію, скляні мікросфери, кремніста земля.
Підкріплення			
	15–30	-	Скловолокно, вуглецеве волокно, арамидне волокно. 15–30 % припадає на скло тільки через його високу щільність

Зараз у світі використовуються різні способи переробки та утилізації пластикових відходів. Спалювання, механічні, хімічні й термічні методи. Головною проблемою при спробі заощадити ресурси і зберегти цінність використаних матеріалів під час переробки пластмас є висока неоднорідність полімерів, присутня в більшості пластикових відходів у змішаному вигляді [35]. Добавки безпосередньо впливають на здатність пластику до переробки [36] або можуть впливати на розкладання пластику.

Відкрите спалювання призводить до забруднення НС, неякісне сортування, поганий розподіл відходів і забруднення іншими матеріалами впливають на кінцеву якість продукту. Можуть виникнути проблеми з переробкою багатокомпонентних (композиційних) матеріалів, а особливою проблемою є перенесення певних груп добавок у нові перероблені продукти [19, 21, 23]. Наприклад, бромовані антипірени, включаючи стійкі органічні забруднювачі, фосфорні антипірени і фталати, були виявлені в дитячих іграшках, матеріалах, що контактують з харчовими продуктами, і побутових товарах, які були виготовлені з перероблених матеріалів [37].

Спалювання пластикових електронних відходів і кабелів призводить до утворення та викиду складних сумішей стійких органічних забруднювачів, включаючи поліхлоровані дібензо-п-діоксини/фурани, полібромовані дібензо-п-діоксини та фурани, діоксіноподібні загальні поліхлоровані біфеніли з особливо високими рівнями бромованих і змішаних галогенованих [38–41]. В Європі значна кількість (42,6 %) пластмасових відходів направляється на регенерацію енергії [1]. Неконтрольоване спалювання пластикових відходів, зокрема, відходів, що містять галогени (ПВХ, тефлон, пластик, що містить бромовані антипірени тощо), може викликати викиди небезпечних

речовин. Галогени, що виділяються при згоранні пластикових відходів, можуть стати причиною корозії в сміттєспалювальних заводах та інших теплових об'єктах. Хлор і бром можуть накопичуватися в системі цементних печей, що обмежує їх здатність термічного відновлення пластику [42].

Механічний рециклінг (вторинна переробка) є найбільш поширеним методом, оскільки він вимагає відносно невеликих витрат енергії та ресурсів, а кінцевим результатом є поява нового пластикового матеріалу [43]. Однак механічна переробка стикається з різними проблемами, такими як термомеханічне розкладання і не змішуваності різних полімерів. Первинна переробка з заміною первинних полімерів можлива для деяких типів і фракцій пластмас, проте, забруднення після використання, перешкоджає переробці або ускладнює її [44]. Наявність ароматичних компонентів, фарб і чорнил, що містять метали та галогени, викликають проблеми з дотриманням нормативних вимог через можливу міграцію забруднюючих речовин з переробленого матеріалу. Застосовувані в промисловості технології попередньої обробки, сортування, просіювання та подрібнення, залишають у відходах пластикової упаковки після споживача різні типи компонентів, що створюють проблеми для механічної переробки, а це може бути потенційним ризиком для здоров'я споживачів, особливо коли це стосується матеріалів, що контактують з харчовими продуктами [45]. Більшість фракцій пластикових відходів (наприклад, велика частина упаковки, пластику електроніки, пластику та полімерів транспортного і будівельного секторів) вимагає трудомісткого або високотехнологічного сортування, щоб отримати високоякісний вторинний продукт, який можна використовувати для заміни первинних матеріалів [46].

Проблемою плавлення та екструзії є здатність кількох металовмісних добавок, солей або оксидів металів (Fe₂O₃,

СuхО і ZnO), утворювати прооксиданти і каталізатори фотоокислення, які сприяють руйнуванню пластмас під час переробки. При високих температурах може виділятися ряд небезпечних речовин (токсичні метали, леткі органічні сполуки, фталати, поліциклічні ароматичні вуглеводні, полібромовані дифенілові ефіри, ефіри фталевої кислоти, полібромовані дібензо-парадіоксин і фурані) [22, 47].

Хімічний метод дозволяє розбивати пластикові відходи на складові компоненти, згодом їх змішують і обробляють для створення нових матеріалів. При термічному методі матеріал піддається температурній обробці, в результаті чого виробляється енергія або альтернативне паливо. Найчастіше цей метод використовують для переробки забрудненого матеріалу. Для прискорення процесу деполімеризації використовують мікрохвильовий реактор, в якому під впливом мікрохвиль відбувається і механічне подрібнення і хімічна реакція. З отриманої рідини виходить чистий ПЕТ, який згодом буде знову використовуватись для виробництва пластику або синтетичних тканин [31, 48].

Стійкою і ефективною обробкою вважається піроліз, завдяки якому може вироблятися ряд корисних вуглеводнів, потенційно використовуваних як хімічна сировина або енергія, тим самим зводячи до мінімуму залежність від не відновлюваних викопних видів палива [49, 50]. Але відходи зазвичай містять суміші органічних,

полімерних і паперових забруднень, що вводять небажані гетероеlementи (азот, кисень, сірка, фосфор ін.) у сировину для піролізу [51]. Це призводить до експлуатаційних проблем, корозії технологічного обладнання та реакторів галогенами і сіркою, забруднення каталізаторів і коксування в реакторі через присутність металів, а також утворення сажі через присутність кисню [52]. Іншою проблемою є наявність хлору, оскільки він дуже агресивний та може пошкодити технологічне і реакторне обладнання, а високий вміст хлору в продукті піролізу перешкоджає його використанню як паливо або сировину для нафтохімії [53].

При виборі методу необхідно враховувати всі вихідні компоненти, речовини і елементи, які потім перейдуть в новий продукт або будуть виділятися під час самого процесу переробки/утилізації. Потрібен контроль виділення на кожному етапі від виробництва до утилізації. Існує потреба в загальнодоступній інформації про використання хімічних речовин у пластмасах і про точний хімічний склад готових пластмасових виробів. Необхідні інновації розподілу, збору та утилізації. Крім того, необхідні дослідження розкладання хімічного складу матеріалів, щоб отримані продукти та компоненти могли бути перероблені в більш цінну сировину в нових і вже існуючих промислових процесах. Розроблена методологія забезпечення екологічної безпеки утилізації пластикових відходів показана на рис. 3.

Рисунок 3 – Методологія забезпечення екологічної безпеки поводження з пластиковими відходами

2.3. Дискусії

У статті розглянуто питання загострення кількості накопичення пластикових відходів та їх нагромадження у навколишньому середовищі, особливо у зв'язку з поширенням коронавірусної інфекції COVID-19 (закриття кордонів, зниження соціальних контактів, збільшення кількості одноразового пакування та інше). Встановлено шляхи забруднення НС (розповсюдження у воді, повітрі та ґрунті) хімічними речовинами, важкими металами, галогенами, фтормісними тощо, що містяться у добавках які додаються у пластмаси для поліпшення властивостей полімерів, таких як пластифікатори, антипірени, термостабілізатори, функціональні добавки, барвники та наповнювачі. Визначено шляхи потрапляння хімічних речовин у навколишнє середовище: міграція, вилуговування, випаровування та інше. Встановлено

вплив та наслідки накопичення пластикових відходів на довкілля та здоров'я населення. Визначено, що масштаб і тип викидів при поводженні з відходами залежить від багатьох факторів і виявляється за допомогою хроматографічного, оптичного, електрохімічного та інших методів лабораторного аналізу. Визначено, що тип полімеру, температура, наявність мікроорганізмів, вологи і прямих сонячних променів впливають на фактично потенційне вивільнення шкідливих речовин в НС, тобто потенціал міграції та ступінь небезпеки.

Запропоновано методологію забезпечення безпеки утилізації пластикових відходів на кожному етапі поводження з відходами: нагромадження, зберігання, переробка або утилізація, технології отримання кінцевої продукції та обладнання використання отриманої продукції

Висловлення вдячності.

Автори висловлюють подяку адміністрації Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова за надання можливості проведення дослідження.

Конфлікт інтересів.

У жодного з авторів немає потенційних конфліктів інтересів, пов'язаних з цим дослідженням.

ЛІТЕРАТУРА

1. Пластмаси - факти 2020 Аналіз європейського виробництва пластмас, попиту та даних про відходи. AF Пластмаси факти- WEB-2020-ING FINAL.pdf (4,041.94 KB) (2020), 64 р.
2. Маркіна Л. М., Жолобенко Н. Ю., Ушкац С. Ю. Особливості управління відходами під час пандемії COVID-19. *Суднобудування та морська інфраструктура*. № 1 (13) 2020. 75–88.
3. Брауер Р., Гаджийська Д., Іоакеймідіс Ч., Удердорп Х. Соціальні витрати на морське сміття вздовж європейських узбережжя, узбережжя океану. *Управління*. 138 (2017).
4. Європейська комісія. Регламент Комісії (ЄС) 2018/848 про органічне виробництво та маркування органічних продуктів та скасування Постанови Ради (ЄС) No 834/2007, (2018).
5. UNEP, Біорозкладані пластмаси та морське сміття, хибні уявлення, занепокоєння та вплив на морське середовище, (2015).
6. Равве А. Принципи хімії полімерів, 2-е вид., Клувер Академік, Видавництва Пленуму, Нью-Йорк, (2000).
7. UNEP, Морське пластикове сміття та мікропластик. Глобальні уроки та дослідження, які надихають на дії та керують зміною політики, (2016).
8. Бурюкіна І. В., Власова К. А., Спиридонова. Определение металлов в природных водах методом спектрофотометрии в сочетании с алгоритмом pls п.а. Аналитика и контроль. 2014. Т. 18. № 4. 418-423.
9. Рамазанов А. Ш., Есмаил Гамил Касим Определение меди, цинка, кадмия и свинца в воде методом спектроскопии диффузного отражения. *Аналитика и контроль*. 2015. Т. 19, № 3. С. 259-267.
10. Васенко О. Г., Мельников А. Ю. Дослідження вмісту важких металів у воді р. Дунай в межах України. *Екологічна безпека*, № 2. 2017 (24). 64–69.
11. Кармазиненко С. П., Кураєва І. В., Самчук А. І., Войтюк Ю. Ю., Манічев В. Й. Важкі метали у компонентах навколишнього середовища м. Маріуполь (еколого-геохімічні аспекти). Київ : Інтерсервіс, 2014. 168 с.
12. Конарбаєва Г. А., Якименко В. Н. Изменение содержания галогенов в системе почва – растение в условиях агроценозов. *Вестник Томского государственного университета. Биология*. 2014. № 3 (27). С. 23-35
13. Егорова Л. С., Бобина Ю. П. Тест-методы определения активного хлора в водах, ХИМИЯ. 164-166.
14. Танделов, Ю. П. Фтор в системе почва-растение. 2-е изд., перераб. и доп. / Ю.П. Танделов; под ред. акад. РАСХН В.Г. Минеева. Красноярск, 2012. 146 с.
15. Локенсгард Е., Річардсон Т.Л. Промислова пластмаса: теорія та застосування, Дельмар навчання, Нью-Йорк, (2004).
16. Прокофьева Е.С., Махонько М.Н., Шкребова Н.В. Пластик и его влияние на здоровье современных потребителей *Вісник медичних Інтернет-конференцій*. 1176-1178
17. Токсичные добавки в пластике и многооборотная экономика (2020) https://ipen.org/sites/default/files/documents/plastics_and_additives_-_v1-o-ru.pdf. 58 с.
18. Бхунія К., Саблани С. С., Танг Дж., Раско Б. Міграція хімічних сполук із пакувальних полімерів у мікрохвильовці, звичайної термічної обробки та зберігання, Compr. Rev. Food Sci. Харчовий сейф.12 (2013) 523-545.
19. Робертсон. Принципи та практика упаковки харчових продуктів, 2-е видання, CRC Press, Тейлор і Френсіс Груп, Бока Ратон, Ф.Л., (2006).
20. Арванітоянніс І. С., Боснея Л. Міграція речовин із пакувальних матеріалів для харчових продуктів до харчових продуктів, Crit. Rev. Food Sci. Nutr. 44 (2004). 63–76.
21. Каттас Л., Гастрок Ф., Каччіаторе А. Пластикові добавки, в: С.А. Харпер (ред.), Modern Plastics, McGraw-Hill, New York, NY, (2000), 4.1–4.66.
22. Саблани С.С., Рахман М.С. Взаємодія з харчовою упаковкою, в: М.С. Рахмана (ред.), Довідник із збереження їжі, CRC Press, Тейлор та Френсіс, Бока Ратон, Ф.Л., (2007), pp. 939-956.
23. Огляд хімічних добавок, присутніх у пластмасах: міграція, вивільнення, доля та вплив на навколишнє середовище під час їх використання, утилізації та переробки. *Журнал небезпечних матеріалів*. 344 (2018). 179–199.
24. Кромптон Т. Міграція добавок із пластмас у їжу, 1-е видання, Smithers Rapra Technology Limited, Шоубері, Шрусбері, Шропшир, Великобританія, (2007).
25. Boussoum M. O., Atek D., Belhaneche-Bensemra N. Взаємодія між полі (вінілхлоридом), стабілізованим епоксидованою соняшниковою олією, та імітаторами їжі, Polym. Деградувати. Колотися. 91 (2006). 579–584.
26. UNEP, Стокгольмська конвенція про стійкі органічні забруднювачі, (2015).
27. Півненко К., Еріксен М. К., Мартін-Фернандес Дж., Еріксон Е., Аструп Т.Ф. Переробка пластикових відходів: наявність фталатів у пластмасах від домогосподарств та промисловості. *Управління відходами*. 54 (2016). 44–52.
28. Поява, доля, поведінка та екотоксикологічний стан фталатів у різних матрицях навколишнього середовища. Net, S, et al. 2015, Environment. Наук. Технол. 49, 4019e4035. <http://dx.doi.org/10.1021/es505233b>.
29. Недоліки процесу переробки: шкідливі органічні хімічні речовини в дитячих іграшках. Ionas AC, Dirtu AC, Anthonissen T, Neels H, Covaci A. 2014, Environment Int. 65, 54–62.
30. Поява бромованих антипіренів у чорних термочашках та окремих кухонних приладах, придбаних на європейському ринку. Samsonak J, Puupe F. 2013, Food Addit Contam Part A: Chem Anal Control Expo Risk Assess. 30(11), pp. 1976-1986.
31. Підвищений рівень міграції бісфенолу А з полікарбонатних дитячих пляшок після миття посуду, кип'ятіння та чищення щіткою., Ч. Бреді, П. Фельдаль, І. Ск'єврак, Х. Герікстад., 2003, Харчова добавка. Контам., pp. 684-689.
32. Бромовані антипірени у чорному пластиковому посуді: концентрація та наслідки впливу людини. Куанг Дж., Абдалла М.А., Гаррад С. 2018 р., Sci Total Environment, pp. 610-611, 1138-1146.
33. Характеристики вилугування полібромдифенілових ефірів (ПБДЕ) із вогнезахисних пластмас, Y.-J. Кім, М. Осако, С.-і. Осако., 2006, Хемосфера 65, 506–513.

34. На шляху до розробки швидкої та ефективної стратегії неруйнівного контролю з метою виявлення бромованих антипіренів у пластмасі споживчих товарів. Галлен С., Банки А., Брандсма С., Бадуель С., Тайланд П., Іглшем Г., Хеффернан А., Леонардс П., Бейнтон П., Мюллер JF. 2014, Sci Total Environment, 2014, Sci Total Environ., pp. 491-492, 255-265.
35. Вплив бісфенолу А (EDC) на репродуктивний потенціал *Helisoma duryi* (Wetherby, 1879). Габр, Мостафа та ін. 2015, *Егіпетський журнал водної біології та рибальства*. 19. 35–49. 10.21608/ ejabf.2015.2275.
36. Екологічна оцінка бісфенолу-А: дані порівняльної біології. Крейн, DA, et al. 2007, *Repr Toxic*, pp. 225-39.
37. Перфтороктанова кислота (PFOA) – основні проблеми та регулятивні події в Європі з екологічної точки зору. Вірке, Лена, Стауд, Клавдія та Біг, Аннегет. s.l. : Springer Berlin Heidelberg, травень 2012 р., *Environment Sci Eur* (2012) 24: 16. <https://doi.org/10.1186/2190-4715-24-16>.
38. Фталати та інші добавки в пластмасах: вплив людини та пов'язані з цим наслідки для здоров'я. Мікер, Джон Д., Сатьянараяна, Шила та Х. Суон, Шана. s. l. : Королівське товариство, липень 2009 р., *Philos Trans R Soc Lond B Biol Sci*.
39. Докази відходів електричного та електронного обладнання (WEEE), що стосуються полімерних продуктів, що контактують з продуктами харчування, що продаються на європейському ринку. Puype F, Samsonek J, Knoop J, Egelkraut-Holtus M, Orlieb M. 2015, *Food Addit. Контам. Частина А Хім. Анальний Контроль оцінки ризику впливу*. 32, 410–426.
40. Відновлення бромів та сурми з пластмас WEEE 2016, стор. 1-5. Schlummer M, Popp L, Trautmann F, Zimmermann F, Mäurer A. 2016, *Electronics Goes Green 2016+ (EGG) Berlin*, 2016, pp. 1-5.
41. Puype F, Samsonek J, Knoop J, Egelkraut-Holtus M, Orlieb M. Докази відходів електричного та електронного обладнання (WEEE), що мають значення у полімерних продуктах, що контактують з продуктами харчування, що продаються на європейському ринку, *Food Addit. Контам. Частина А Хім. Анальний Контроль оцінки ризику впливу*. 32 (2015). 410–426.
42. Tue NM, Goto A., Takahashi S., Itai T., Asante KA, Kunisue T., Tanabe S. Вивільнення хлорованих, бромованих та змішаних галогенованих сполук, пов'язаних з діоксином, у ґрунти при відкритому спалюванні електронних відходів в Agbogboshie (Аккра, Гана), Дж. Хазард. Матер. 302 (2016) 151–157.
43. Гарсія, Дж. М. ; Робертсон, М. Л. Майбутнє переробки пластмас: хімічний прогрес збільшує частку полімерних відходів, які можна переробити. *Наука* (2017), 358, 870–872.
44. UNEP, Керівництво з інвентаризації комерційного ефіру пентабромодифенілу (с-ПентаБДЕ), комерційного ефіру октабромодифенілу (с-октаБДЕ) та гексабромдифенілів (ГББ) відповідно до Стокгольмської конвенції про стійкі органічні забруднювачі; Чернетка. UNEP/POPS/COP.7/INF/27 (2015).
45. Детальний аналіз складу відібраних відходів з пластикової упаковки та їх наслідків для механічної та термохімічної переробки. Мартін Рузен, Ніколас Мис, Марвін Кузенберг, Пітер Біллен, Ен Дюмулен, Джо Девульф, Кевін М. Ван Гім, Кім Рагаерт та Стівен Де Містер. *Environmental Science & Technology*. (2020), 54, 13282-13293.
46. Z.He, G.Li, J.Chen, Y. Huang, T. An, C. Zhang, Характеристики забруднення та оцінка ризику для здоров'я легких органічних сполук, що виділяються з різних цехів з переробки твердих пластикових відходів, *Environment. Міжнародний* 77 (2015) 85-94.
47. Стандарт ASTM D5033. Стандартне керівництво з розробки стандартів ASTM щодо переробки та використання переробленої пластмаси, ASTM International, West Conshohocken, PA, (2000), <http://dx.doi.org/10.1520/ D5033-00>.
48. Al-Salem S. M, Lettieri P., Baeyens J. Шляхи переробки твердих пластикових відходів (PSW): огляд, *Управління відходами*. 29 (2009). 2625–2643.
49. Аль-Салем С. М., Ангелова А., Константинов А., Манос Г., Дутта А. Огляд термічного та каталітичного піролізу твердих твердих побутових відходів (PSW), *Ж. Середовище. Управління*. 197 (2017). 177–198.
50. Маркіна Л. М., Крива М. С. Вивчення технологічних параметрів піролізу відпрацьованих шин при статичному навантаженні. *Наука та інновації*. 2018, 14(6): 35–49. <https://doi.org/ 10.15407/scin14.06.038>.
51. Ануар Шаруддін С. Д., Абніса Ф., Ван Дауд В.М.А., Ароуа М.К. Відновлення енергії від піролізу пластикових відходів: дослідження даних непереробленої пластмаси (NRP) як реальний показник пластикових відходів, *Energy Convers. Управління*. 148 (2017). 925–934.
52. Рагаерт, К.; Дельва, Л.; Ван Гім, К. Механічна та хімічна переробка твердих пластикових відходів. *Управління відходами*. (2017), 69, 24–58.
53. Symoens, S.H.; Олахова, Н.; Муньос Гандарільяс, А. Е.; Карімі, Х.; Джокіч, М. Р.; Рейньє, М. Ф.; Марін, Г. Б.; Ван Гім, К. М. Екологічна наука та технології pubs.acs.org/est Стаття <https://dx.doi.org/10.1021/acs.est.0c03371> *Environment. Наук. Технол.* (2020), 54, 13282–13293 13292 Сучасне утворення коксу під час розтріскування парою: AntiCoking Surface Technologies. *Інд. Інж. Хім. Рез.* (2018), 57, 16117–16136.

REFERENCES

1. *Plastics – the Facts 2020* An analysis of European plastics production, demand and waste data. AF Plastics the facts-WEB-2020-ING FINAL.pdf (4,041.94 KB) (2020), 64 p.
2. Markina L. M, Zholobenko N. Yu., Ushkats S. Yu. Features of waste management during the COVID-19 pandemic. «Shipbuilding and marine infrastructure» № 1 (13) 2020. P. 75-88.
3. Brouwer R., Hadzhiyska D., Ioakeimidis C., Ouderdorp H. The social costs of marine litter along European coasts, *Ocean Coast. Manage.* 138 (2017).
4. European Commission. Commission Regulation (EU) 2018/848 on Organic Production and Labelling of Organic Products and Repealing Council Regulation (EC) No 834/2007, (2018).
5. UNEP, Biodegradable plastics and marine litter, Misconceptions, Concerns and Impacts on Marine Environments (2015).
6. Ravve, Principles of Polymer Chemistry, 2nd ed., Kluwer Academic, Plenum Publishers, New York, (2000).
7. UNEP A. Marine Plastic Debris And Microplastics. Global Lessons and Research to Inspire Action and Guide Policy Change, (2016).
8. Buryukina IV, Vlasova KA, Spiridonova Determination of metals in natural waters by spectrophotometry in combination with the pls algorithm p.a. *Analytics and control*. 2014. T. 18. № 4. P 418–423.
9. Ramazanov A. Sh., Esmail Gamil Kasim Determination of copper, zinc, cadmium and lead in water by diffuse reflection spectroscopy. *Analytics and control*. 2015. T. 19, № 3. 259–267.
10. Vasenko OG, Melnikov AY. Research of heavy metals content in the water of the Danube river within Ukraine. *Ecological safety* № 2. 2017 (24). 64–69.

11. Heavy metals in the components of the environment of Mariupol (ecological and geochemical aspects) / S.P. Karmazinenko, IV Kuraeva, AI Samchuk, Yu.Yu. Voytuk, V. Manichev. Kyiv: Interservice, 2014. 168 pp.
12. Konarbaeva GA, Yakimenko VN. Change of halogen content in the soil - plant system in the conditions of agroecosystems. Bulletin of Tomsk State University. Biology. 2014. № 3 (27). 23–35
13. Egorova LS, Bobina Yu. P. Test methods for determination of active chlorine in waters, CHEMISTRY. 164–166.
14. Танделов, Ю. П. Фтор в системе почва-растение. 2-е изд., перераб. и доп. / Ю.П. Танделов; под ред. акад. РАСХН В.Г. Минеева. Красноярск, 2012. 146 pp.
15. Lokensgard E., Richardson T.L., Industrial Plastics: Theory and Applications, Delmar Learning, New York, (2004).
16. Prokofieva ES, Makhonko MN, Shkrobova NV Plastic and its impact on the health of modern consumers Bulletin of Medical Internet Conferences P. 1176-1178
17. Toxic additives in plastics and multi-cycle economy (2020) https://ipen.org/sites/default/files/documents/plastics_and_additives_-_v1-o-ru.pdf. 58 pp.
18. K. Bhunia, Sablani S.S., Tang J., Rasco B. Migration of chemical compounds from packaging polymers during microwave, conventional heat treatment, and storage, Compr. Rev. Food Sci. Food Saf. 12 (2013). 523–545.
19. Robertson G.L. Food Packaging Principles and Practice, 2nd ed., CRC Press, Taylor and Francis Group, Boca Raton, F.L, (2006).
20. Arvanitoyannis I. S., Bosnea L. Migration of substances from food packaging materials to foods, Crit. Rev. Food Sci. Nutr. 44 (2004). 63–76.
21. Kattas L., Gastrock F., Cacciatore A. Plastic additives, in: C.A. Harper (Ed.), Modern Plastics, McGraw-Hill, New York, NY, (2000), 4.1–4.66.
22. Sablani S.S., Rahman M.S. Food packaging interaction, in: M.S. Rahmna (Ed.), Handbook of Food Preservation, CRC Press, Taylor and Francis, Boca Raton, F.L, (2007), 939–956.
23. An overview of chemical additives present in plastics: Migration, release, fate and environmental impact during their use, disposal and recycling John N. Hahladakis, Costas A. Velis a, Roland Weber, Eleni Iacovidou, Phil Purnella. Journal of Hazardous Materials 344 (2018). 179–199.
24. T. Crompton, Additive Migration from Plastics into Food, 1st ed., Smithers Rapra Technology Limited, Shawbury, Shrewsbury, Shropshire, UK, (2007).
25. Boussoum M. O., Atek D., Belhaneche-Bensemra N. Interactions between poly(vinyl chloride) stabilised with epoxidised sunflower oil and food simulants, Polym. Degrad. Stab. 91 (2006). 579–584.
26. UNEP, Stockholm Convention on Persistent Organic Pollutants, (2015).
27. Pivnenko K., Eriksen M.K., Martín-Fernández J.A., Eriksson E., Astrup T.F. Recycling of plastic waste: presence of phthalates in plastics from households and industry, Waste Manage. 54 (2016). 44–52.
28. Occurrence, fate, behavior and ecotoxicological state of phthalates in different environmental matrices. . Net, S, et al. 2015, Environ. Sci. Technol. 49, 4019e4035. <http://dx.doi.org/10.1021/es505233b>.
29. Downsides of the recycling process: harmful organic chemicals in children's toys. Ionas AC, Dirtu AC, Anthonissen T, Neels H, Covaci A. 2014, Environ Int. 65, pp. 54–62.
30. Occurrence of brominated flame retardants in black thermo cups and selected kitchen utensils purchased on the European market. Samsonik J, Puype F. 2013, Food Addit Contam Part A: Chem Anal Control Expo Risk Assess. 30(11), 1976–1986.
31. Increased migration levels of bisphenol A from polycarbonate baby bottles after dishwashing, boiling and brushing. . C. Brede, P. Fjeldal, I. Skjevrak, H. Herikstad. 2003, Food Addit. Contam. 684–689.
32. Brominated flame retardants in black plastic kitchen utensils: Concentrations and human exposure implications. Kuang J, Abdallah MA, Harrad S. 2018, Sci Total Environ, pp. 610–611, 1138–1146.
33. Leaching characteristics of polybrominated diphenyl ethers (PBDEs) from flame-retardant plastics, Y.-J. Kim, M. Osako, S.-i. Osako. 2006, Chemosphere 65, 506–513.
34. Towards development of a rapid and effective non-destructive testing strategy to identify brominated flame retardants in the plastics of consumer products. Gallen C, Banks A, Brandsma S, Baduel C, Thai P, Eaglesham G, Heffernan A, Leonards P, Bainton P, Mueller JF. 2014, Sci Total Environ., 491–492, 255–265.
35. Effect of Bisphenol A (EDC) on the reproductive potential of *Helisoma duryi* (Wetherby, 1879). Gabr, Mostafa, et al. 2015, Egyptian Journal of Aquatic Biology and Fisheries. 19. 35–49. 10.21608/ejabf.2015.2275.
36. An ecological assessment of bisphenol-A: evidence from comparative biology. Crain, DA, et al. 2007, Repr Toxic, pp. 225–39.
37. Perfluorooctanoic acid (PFOA) – main concerns and regulatory developments in Europe from an environmental point of view. Vierke, Lena, Staude, Claudia and Bieg, Annegret. s.l. : Springer Berlin Heidelberg, May 2012, Environ Sci Eur (2012) 24: 16. <https://doi.org/10.1186/2190-4715-24-16>.
38. Phthalates and other additives in plastics: human exposure and associated health outcomes. Meeker, John D, Sathyanarayana, Sheela and H. Swan, Shana. s.l. : The Royal Society, Jul 2009, Philos Trans R Soc Lond B Biol Sci.
39. Evidence of waste electrical and electronic equipment (WEEE) relevant substances in polymeric food-contact articles sold on the European market. Puype F, Samsonik J, Knoop J, Egelkraut-Holtus M, Ortlieb M. 2015, Food Addit. Contam. Part A Chem. Anal. Control Exposure Risk Assess. 32, pp. 410–426.
40. Recovery of bromine and antimony from WEEE plastics 2016, pp. 1–5. Schlummer M, Popp L, Trautmann F, Zimmermann F, Mäurer A. 2016, Electronics Goes Green 2016+ (EGG) Berlin, 2016, pp. 1–5.
41. Puype F., Samsonik J., Knoop J., Egelkraut-Holtus M., Ortlieb M. Evidence of waste electrical and electronic equipment (WEEE) relevant substances in polymeric food-contact articles sold on the European market, Food Addit. Contam. Part A Chem. Anal. Control Exposure Risk Assess. 32 (2015). 410–426.
42. Tue N. M., Goto A., Takahashi S., Itai T., Asante K. A., Kunisue T., Tanabe S. Release of chlorinated, brominated and mixed halogenated dioxin-related compounds to soils from open burning of e-waste in Agbogboshie (Accra Ghana), J. Hazard. Mater. 302 (2016). 151–157.
43. Garcia, J. M.; Robertson, M. L. The Future of Plastics Recycling: Chemical Advances Are Increasing the Proportion of Polymer Waste That Can Be Recycled. Science (2017), 358, 870–872.

44. UNEP, Guidance for the Inventory of commercial Pentabromodiphenyl ether (c-PentaBDE), commercial Octabromodiphenyl ether (c-OctaBDE) and Hexabromobiphenyls (HBB) under the Stockholm Convention on Persistent Organic Pollutants; Draft. UNEP/POPS/COP.7/INF/27 (2015).
45. Detailed Analysis of the Composition of Selected Plastic Packaging Waste Products and Its Implications for Mechanical and Thermochemical Recycling. MartijnRoosen, Nicolas Mys, Marvin Kusenbergh, Pieter Billen, Ann Dumoulin, Jo Dewulf, Kevin M. Van Geem, Kim Ragaert, and Steven De Meester. *Environmental Science & Technology*. (2020), 54, 13282–13293.
46. He Z., Li G., Chen J., Huang Y., An T., Zhang C. Pollution characteristics and health risk assessment of volatile organic compounds emitted from different plastic solid waste recycling workshops, *Environ. Int.* 77 (2015). 85–94.
47. ASTM Standard D5033. Standard Guide to Development of ASTM Standards Relating to Recycling and Use of Recycled Plastics, ASTM International, West Conshohocken, PA, (2000), <http://dx.doi.org/10.1520/D5033-00>.
48. Al-Salem S. M., Lettieri P., Baeyens J. Recycling and recovery routes of plastic solid waste (PSW): a review, *Waste Manage.* 29 (2009). 2625–2643.
49. Al-Salem S. M., Antelava A., Constantinou A., Manos G., Dutta A. A review on thermal and catalytic pyrolysis of plastic solid waste (PSW), *J. Environ. Manage.* 197 (2017). 177–198.
50. Markina L.M., Kryva M.S. Study of technological parameters of pyrolysis of waste tires under static load. *Science and Innovation*. 2018, 14(6): 35–49. <https://doi.org/10.15407/scin14.06.038>.
51. Anuar Sharuddin S. D., Abnisa F., Wan Daud W.M.AAroua, M.K. Energy recovery from pyrolysis of plastic waste: study on non-recycled plastics (NRP) data as the real measure of plastic waste, *Energy Convers. Manage.* 148 (2017). 925–934.
52. Ragaert, K.; Delva, L.; Van Geem, K. Mechanical and Chemical Recycling of Solid Plastic Waste. *Waste Manage.* (2017), 69, 24–58.
53. Symoens, S. H.; Olahova, N.; Munoz Gandarillas, A. E.; Karimi, H.; Djokic, M. R.; Reyniers, M. F.; Marin, G. B.; Van Geem, K. M. *Environmental Science & Technology* pubs.acs.org/est Article <https://dx.doi.org/10.1021/acs.est.0c03371> *Environ. Sci. Technol.* (2020), 54, 13282–13293 13292 State-of-the-Art of Coke Formation during Steam Cracking: AntiCoking Surface Technologies. *Ind. Eng. Chem. Res.* (2018), 57, 16117–16136.

Л. Н. Маркина, С. Ю. Ушкац, Н. Ю. Жолобенко

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПАСНОСТИ ПЛАСТИКОВЫХ ОТХОДОВ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ВОЗМОЖНОСТИ ИХ УТИЛИЗАЦИИ ТЕРМИЧЕСКИМИ МЕТОДАМИ

В последнее время производство пластика увеличилось в несколько раз и спрос на пластмассовые материалы продолжает расти, что приводит к увеличению объемов отходов пластмасс, создает ряд экологических проблем, а также потенциал для отрасли обращения с отходами. В статье рассматриваются вопросы загрязнения окружающей среды из-за увеличения количества пластиковых отходов, накопления их с акцентом на различные химические вещества, содержащиеся в пластмассовых изделиях для улучшения свойств полимеров и продления срока их службы. Определены качественный и количественный состав добавок, таких как пластификаторы, антипирены, термостабилизаторы, функциональные добавки, красители и наполнители, которые могут содержать тяжелые металлы, галогены, фторсодержащие вещества и др. Выявлено влияние последствий попадания пластиковых отходов в окружающую среду и здоровье населения; определены пути попадания вредных веществ в окружающую среду. Рассмотрены методы обнаружения токсичных веществ в воде, воздухе и почве, и некоторые вредные вещества, которые высвобождаются из пластмассовых изделий в различных условиях.

Попадание химических веществ в окружающую среду происходит при различных процессах обращения с пластиковыми отходами, а также из продуктов, произведенных из вторичного сырья. Рациональный сбор, перевозка, сортировка, хранение, утилизация, обезвреживание и захоронение должны осуществляться таким образом, чтобы исключить образование и выброс вредных веществ на каждом этапе, обеспечивая постоянную защиту окружающей среды и здоровья человека, в частности персонала, работающего на сортировочных станциях или на мусороперерабатывающих заводах. Установлены возможные варианты выявления опасных веществ в окружающей среде и продуктах переработки отходов, предложена методология обеспечения безопасности обращения с пластиковыми отходами на всех этапах.

Ключевые слова: экологическая безопасность, переработка отходов, пластмассы, миграция химических веществ.