

**- РОЗДІЛ 5 АЕРОГЕННІ ЗАБРУДНЮВАЧІ, ТВЕРДІ
ВИРОБНИЧІ Й ПОБУТОВІ ВІДХОДИ –**

УДК 504.05:504.5:628.47(477.64-2)

**ОЦІНКА СТАНУ ЗАБРУДНЕННЯ ПОЛІМЕРНИМИ
СПОЛУКАМИ ПОЛІГОНІВ ТПВ м. ЗАПОРІЖЖЯ**

Маслова О.В., Маслов Д.В.

Запорізький національний університет

znuecologmas@gmail.com

Дана оцінка стану полігонів ТБО г. Запоріжжя, изучалась динамика накопления полимерными соединениями полигонів за последние годы и построен прогноз загрязнения до 2030 года. Целью работы является оценка состояния загрязнения полимерными соединениями полигонів ТБО г. Запоріжжя. Методы исследования заключаются в использовании аналитических и статистических данных и их обработки. Согласно прогнозу, к 2030 масса полипропилена возрастет в 2,5 раза, масса АБС-пластика вырастет почти в 2 раза, масса полиэтилена возрастет более чем в 3,7 раза, масса полистирола возрастет в 1,4 раза, другие виды пластика – 1,6 раза. Динамика накопления ТБО, в частности полимеров, в которых период разложения измеряется веками, позволяет предположить о том, что с течением времени полигоны не смогут полностью выполнять поставленные задачи. Поэтому уже сейчас встает вопрос о строительстве мусороперерабатывающих заводов и вывода новых средств переработки.

Твердые бытовые отходы (ТБО), полиэтилен, полигон, полипропилен, прогноз динамики загрязнений, метод пиролиза.

Проблема охорони навколишнього середовища та його відтворення стає однією з найважливіших задач. Бурхливий розвиток нових технологій призводить до появи перед людством гострої проблеми збереження екологічних систем. Останніми роками екологічні системи потерпають від впливу антропогенних факторів, а особливо гостро стає питання утилізації відходів. Тому прогноз зміни екологічних систем внаслідок вказаних причин є актуальним завданням, вирішення якого складається з двох етапів: а) дослідження

процесу забруднення навколишнього середовища твердими побутовими відходами (ТПВ); б) оцінка впливу шкідливих забруднень на довкілля.

Полігон для твердих побутових відходів – це спеціальна споруда, призначена для ізоляції та знешкодження ТПВ.

Згідно з Українським законодавством [1, 2] полігони повинні гарантувати санітарно-епідеміологічну безпеку населення. На полігонах забезпечується статична стійкість ТПВ з урахуванням динаміки ущільнення, мінералізації, газовиділення, максимального навантаження на одиницю площі, можливості подальшого раціонального використання ділянки після закриття полігонів (рекультивациі).

Матеріали та методи досліджень

Метою дослідження є оцінка стану забруднення полімерними сполуками полігонів ТПВ м. Запоріжжя. Методи дослідження полягають у використанні аналітичних і статистичних даних та їх обробки.

У Запоріжжі з населенням приблизно 800 тис. осіб та загальною площею 280 км² існує три полігона для побутових відходів. На полігоні ТПВ № 1, який експлуатується з 1952 р. проектною площею 47 га, мається можливість щорічно розмішувати близько 250–300 тис. т відходів [3]. На сьогодні тут накопичено 15,5 млн. т сміття (рис. 1).

Міський полігон № 2 знаходиться недалеко від Хортицького району міста Запоріжжя. Полігон ТПВ № 2 повністю заповнений і його закрили у 2007 р. Тому виникла гостра необхідність створювати третій полігон. Під полігон твердих побутових відходів № 3 виділили ділянку площею 27 га на території Сонячного районної ради. Полігон ТПВ № 3 почали будувати в 2012 р., але на сьогоднішній день виконано будівельних робіт на 67 %, тому єдиним діючим полігоном ТПВ у місті Запоріжжя залишається полігон № 1.



Рисунок 1 – Полігон ТПВ № 1, розташований у Шевченківському районі міста Запоріжжя

Figure 1 – Landfill № 1 is located in Shevchenkivsky district of Zaporizhzhya

Один з найбільш основних компонентів сміття є пластична маса (пластмаса) – штучно створені матеріали на основі синтетичних або природних полімерів.

Пластмаси формують при підвищеній температурі, у той час коли вони мають високу пластичність. Сировиною для отримання полімерів є нафта, природний газ, кам'яне вугілля, сланці.

У роботі досліджувались основні види пластмаси такі як поліетилен, поліпропілен, АБС-пластик та полістірол.

Поліетилен (ПЕ, PE – polyethylene) – $(-\text{CH}_2 - \text{CH}_2-)$ полімер етилену, твердий, легкий і водостійкий матеріал, гарний діелектрик з високою морозостійкістю (до $-60\text{ }^\circ\text{C}$), стійкий проти агресивних середовищ, який застосовується для виготовлення кабелів, плівок, труб, ємностей технічного і побутового призначення тощо. Недоліками є низька гранична температура експлуатації, висока газопроникність і низька маслостійкість. Поліетилен практично нешкідливий; у навколишнє середовище з нього не виділяються небезпечні для здоров'я людини речовини [5].

Поліпропілен (хостален, данлай, моплен, новольйон, олеформ, поліпро, пропатен, профакс та ін.) – $[-CH_2CH(CH_3)-]_n$, безбарвний термопластичний полімер. Залежно від просторового розташування груп $-CH_3$ відомі ізотактичний, синдіотактичний, атактичний і стереоблоковий поліпропілени. Найбільше промислове значення має ізотактичний поліпропілен (ступінь ізотактичності – 95–99 %), макромолекули якого мають спіральну конформацію. Стійкий у воді (аж до температури 130 °С) і агресивних середовищах, крім сильних окисників (концентр. HNO_3 , H_2SO_4 , хромова суміш). У тонких плівках практично прозорий [4].

АБС-пластик $((C_8H_8) : (C_4H_6) : (C_3H_3N))$, або X:Y:Z) – ударостійка технічна термопластична смола на основі сополімера акрилонітрилу з бутадієном і стиролом. Пропорції можуть варіюватися в межах: X = 40 %–60 % (стиролу); Y = 5 %–30 % (бутадієну); Z = 15 %–35 % (акрилонітрилу). Використовується АБС-пластик для виготовлення: великих деталей автомобілів (приладових щитків, елементів ручного управління, решітки радіатора), корпусів великої побутової техніки, радіо- і телеапаратури, деталей електроосвітлювальних і електронних приладів, пилососів, кавоварок, пультів управління, телефонів, факсових апаратів, комп'ютерів, моніторів, принтерів, калькуляторів, іншої побутової та оргтехніки, спортінвентарю, човнів, меблів, виробів сантехніки, вимикачів, перемикачів, канцелярських виробів, музичних інструментів, настільних приладів, іграшок, дитячих конструкторів, валіз, контейнерів, деталей медичного обладнання, смарт-карт а також використовуються у 3D принтерах [5].

Полістирол (PS) – синтетичний ароматичний полімер, виготовлений із мономерного стиролу. Полістирол може бути твердим або спіненим. Полістирол загального призначення є прозорим, твердим і досить крихким. Полістирол діє як слабкий бар'єр для кисню і водяної пари і

має відносно низьку температуру плавлення [5]. Полістирол є одним з найбільш широко використовуваних пластмас, масштаб його виробництва становить кілька мільйонів тонн на рік [6] Полістирол може бути природним прозорим, але може бути забарвлений барвниками. Використовуються захисні упаковки (такі як упаковка арахісу, футляри для CD та DVD), контейнери (такі як «розкладачки»), кришки, пляшки, лотки, барабани, одноразові столові прилади [5].

Результати та їх обговорення

Екологічна ситуація у сфері поводження з відходами, а особливо з виробами із полімерних сполук, залишається гострою і, в першу чергу, через великі обсяги їх щорічного утворення, розміщення та накопичення впродовж тривалого часу.

Так, у 2014 р. у Запоріжжі вироблялось на 10 % менше, ніж у 2016 р. продукції різного виду пластмаси. Запорізька область має сільськогосподарсько-промисловий напрямок розвитку, тому кількість підприємств, що випускають напої та продукти харчування, стає дедалі більше і їх продукція потребує сучасної упаковки [6]. Найрентабельніше будувати виробництво пластикових пляшок, яке розташовується на території власного виробництва. Мінімальний штампувальний автомат пластикових пляшок можливо розташувати на площі 30 м². Автомат, який виробляє 3000 пляшок на годину, вагою до 35 г, споживає близько 25 кВт, що робить таке підприємство масово доступним. У Запоріжжі виготовляються також великогабаритні пластмасові вироби. Один з найбільших виробників такої пластмасової продукції є ЗДП «Кремнійполімер» та «Альфа Пак». Крім власного виробництва на полігон потрапляє пластмаса, яка виготовлялася в інших містах.

За даними на 1 січня 2014 р. полігон № 1 заповнений на 17 % і може експлуатуватися ще протягом 10–15 років [3]. Такий великий термін експлуатації пов'язаний з будівництвом підприємством «Біогаз-Україна» системи

збору природного газу газокompресорної станції компанією «АЕУ» безпосередньо на полігоні, що дає можливість використовувати компактне пресування залишків ТПВ.

Традиційна технологія знешкодження побутового сміття не може бути перспективною для виробів з пластмаси, так як фізико-хімічні властивості цих сполук не дають бажаного результату. Термін розкладання поліетиленової пляшки складає 100 років, а поліетиленової плівки 200 років.

Відповідно до даних Агентства з охорони навколишнього середовища США, у 2011 р. пластмаси твердих побутових відходів було більше 12 % [7]. У 1960-х рр. пластмаси становили менше 1 % твердих побутових відходів. Таким чином, у 2030 р. у кожній тонні сміття, яка буде потрапляти на полігон ТПВ, маса пластика різного типу буде складати близько 160 кг. Враховуючи термін розкладання пластикової сполуки та з метою зменшення накопичення пластмаси різного типу на полігонах ТПВ у різних країнах були прийняті наступні рішення:

1. Припинення виробництва харчової пластикової тари і поліетиленових пакетів у Китаї та Індії [8].

2. Подальша розробка так званих біополімерів, тобто, пластика, що швидко розкладається в природних умовах без виділення токсичних речовин (США, Німеччина та Україна) [9].

3. Зміна складу побутових полімерів на оборотні, які можна багаторазово переплавляти (Японія) [10].

4. Виведення спеціального виду бактерій, які будуть переробляти і нейтралізувати залишки пластику в спеціальних сховищах. Вивести такі бактерії передбачається методом генної модифікації (США та Франція) [7, 10].

Згідно з отриманими даними виробництва полімерів та статистичних показників ринку збуту, використовуючи програмне забезпечення для обробки отриманих результатів, ми побудували прогноз накопичення різних видів полімерів у регіоні до 2030 року. На рисунку 2 показана динаміка

зростання накопичення полімерних сполук на полігонах ТПВ м. Запоріжжя.



Рисунок 2 – Динаміка зростання накопичення полімерних сполук на полігонах м. Запоріжжя

Figure 2 – Dynamics of growth of accumulation of polymer compounds at landfills of Zaporizhzhya

Як видно з діаграми, наведеної на рис. 2, по осі абсцис відображені роки дослідження, а саме з 2014 р. по 2017 р. – це накопичення полімерних сполук (офіційні дані Департаменту економічного розвитку Запорізької міської ради) [6]. З 2017 р. до 2030 р. – теоретично отримана, статистично прогнозована лінія тренду. По осі умовних одиниць – прийнято масу поліпропілену, виробленого у 2016 р., тобто маса полімерних сполук (поліпропілен, АБС-пластик, поліетилен, полістирол та інші види пластмаси) розраховується за принципом відношення до маси поліпропілену, виробленого у 2016 р.

Згідно прогнозу, до 2030 р. маса поліпропілену зросте у 2,5 рази, АБС-пластику – майже в 2 рази, поліетилену – понад 3,7 рази, полістиролу – у 1,4 раз, інші види пластику – у 1,6 раз.

Таким чином гостро стає питання утилізації пластикових відходів враховуючи їх фізико-хімічні властивості. Поліетилен стійкий до нагрівання у вакуумі (що є основним принципом піролізу); деструктує у разі нагрівання на повітрі вже за температури 80 °С. Під дією сонячної радіації, особливо УФ-променів, зазнає фотостаріння. При низьких температурах поліетилен виділяє токсини, а при високих температурах він виділяє формальдегід (НСНО), який призводить до онкологічних хвороб. Як антиоксиданти поліетилену найбільш ефективними є ароматичні аміни, феноли, фосфіти, як світло-стабілізатори – сажа, похідні бензофенонів [5, 11]. Тому дія сонячних променів сприяє швидкому розкладанню, тоді як поховання в ґрунт консервує відходи.

Поліпропілен легко окислюється на повітрі, особливо за температури понад 100 °С; термоокисна деструкція відбувається автокаталітично. Термічна деструкція починається за температури 300 °С, а максимальна температура експлуатації виробів з поліпропілену становить 120–140 °С. Поліпропілен легко піддається хлоруванню [4].

АБС-пластик є, як правило, безпечним матеріалом і деякі види АБС можуть руйнуватися під впливом сонячного світла, але при нагріванні утворюються пари акрилонітрилу, бутадієн тастирол, які є отруйними канцерогенами для людини. АБС-пластик може використовуватися для зберігання холодної їжі. Але алкоголь може призвести до реакції, аналогічної нагріву і почне виділятися стирол. Неприпустиме використання АБС-пластику при взаємодії з біоматеріалом [11].

Полістирол хімічно дуже інертний, стійкий до дії кислот і основ, але легко розчиняється багатьма хлорними розчинниками та багатьма ароматичними вуглеводневими розчинниками. Крім того, як термопластичний полімер, полістирол знаходиться в стані твердого (склоподібного) стану при кімнатній температурі, але протікає при нагріванні

при температурі близько 100 °С, що використовують при піролізі [5, 12].

Піролізний метод утилізації ТПВ вважається набагато безпечніше спалювання. Однак, навіть не дивлячись на те, що процес піролізу набагато більш трудомісткий, ніж традиційне спалювання сміття, дана технологія є найбільш перспективною, оскільки під час піролізу кількість викидів, що потрапляють до атмосфери, значно менше, ніж при традиційному спалюванні. Під піролізом твердих побутових відходів прийнято розуміти процес термічного розкладання відходів, що відбувається без доступу кисню. В кінцевому результаті цей процес дозволяє отримати твердий вуглецевий залишок і піролізний газ. Піроліз ТПВ сприяє створенню сучасних безвідходних технологій утилізації сміття і максимально раціонального використання природних ресурсів [11].

Кількість речовин, що утворюються в процесі піролізу, безпосередньо залежить від початкового складу твердих побутових відходів і від поточних умов, при яких відбувається сам процес піролізу. Процеси піролізу можуть протікати з різним температурним рівнем:

1. Низькотемпературний піроліз (при температурі 450–900 °С). При такому піролізі вихід газу мінімальний, а кількість твердого залишку, смол і масел навпаки, максимальна. Зі збільшенням температури піролізу, кількість одержуваного газу збільшується, а кількість смол і масел, відповідно, зменшується.

2. Високотемпературний піроліз (при температурі понад 900 °С). Вихід газу при даному способі максимальний, а вихід смол мінімальний. При даному методі піролізу утворюється мінімальна кількість відходів.

Економічно вигідний низькотемпературний піроліз, а екологічно кращим є високотемпературний метод піролізу утилізації пластмасових видів відходів.

З метою покращення використання земельних ділянок, які відведені під полігон ТПВ необхідно проводити

проектування полігонів з урахуванням складу сміття та планово здійснювати рекультивацию сміттєзвалищ з використанням наукових методів.

Висновки

1. Згідно прогнозу до 2030 р. маса поліпропілену зросте у 2,5 рази, АБС-пластику – майже в 2 рази, поліетилену – більш як у 3,7 рази, полістиролу – у 1,4 раз, інші види пластику – 1,6 раз.

2. Динаміка накопичення ТПВ, зокрема полімерів, у яких період розкладу вимірюється століттями, дозволяє зробити припущення – про те, що із плином часу полігони не зможуть повністю виконувати поставлені задачі. Тому вже зараз постає питання про будівництво сміттєпереробних заводів та виведення нових засобів переробки.

Література:

1. Закон України «Про відходи», 05.03.1998 р. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://zakon5.rada.gov.ua/laws/show/187/98-вр>.

Zakón Ukraïny «Pro vidhódy», 05.03.1998 r. [Elektronniy resurs]. – Rezhim dostupu: <http://zakon5.rada.gov.ua/laws/show/187/98-вр>.

2. Правила експлуатації полігонів побутових відходів, 2010 р.

Pravyla ekspluatacii' poligoniv pobutovyh vidhodiv, 2010 r.

3. Регіональна доповідь Запорізької області за 2014–2016 роки.

Regional'na dopovid' Zaporiz'koi' oblasti za 2014–2016 roki.

4. ДСТУ 2406-94 Пластмаси, полімери і синтетичні смоли. Хімічні назви. Терміни та визначення, УКНД: 01.040.83; 83.080.01 / Діє з 01.01.1995. – 32 с.

DSTU 2406-94 *Plastmasy, polimery i syntetychni smoly. Himichni nazvy. Terminy ta vyznachennja, UKND: 01.040.83; 83.080.01 / Dije z 01.01.1995. – 32 s.*

5. Воробьев В.А. *Технология полимеров / В.А. Воробьев, Р.А. Андрианов. – М., 1980. – 303 с.*

Vorob'ev V.A. Tehnologija polimerov / V.A. Vorob'ev, R.A. Andryanov. – M., 1980. – 303 s.

6. *Звіти департаменту економічного розвитку Запорізької міської ради за 2014–2016 роки.*

Zvity departamentu ekonomichnogo rozvytku Zaporiz'koi' mis'koi' rady za 2014–2016 roki.

7. *U.S. Environmental Protection Agency (EPA) / Prech D., 2011. – 155 с.*

8. *Медоуз Д. Пределы роста. 30 лет спустя / Пер. с англ. яз.; Медоуз Д., Рандерс Й., Медоуз Д. – М., 2007. - 342 с.*

Medouz D., Randers J., Medouz D. Predely rosta. 30 let spustja / Per. s angl. jaz.; Medouz D., Randers J., Medouz D., - M., 2007. - 342 s.

9. *Денисов В.В. Экология города / Денисов В.В., Курбатова А.С., Денисова И.А. [и др.]; под. ред. В.В. Денисова. – М., 2008. – 832 с.*

Denysov V.V. Ekologija goroda / Denysov V.V., Kurbatova A.S., Denysova Y.A. [i dr.]; pod. red. V.V. Denysova. – M., 2008. – 832 s.

10. *Директиви (ЄС) 2015/720 / Директиви на упаковку і відходи упаковки, 29 квітня 2015 р.*

Dyrektyvy (JeS) 2015/720 / Dyrektyvy na upakovku i vidhody upakovky, 29 kvitnja 2015 r.

11. *Мюррей Р. ZeroWaste / Р. Мюррей; пер. с англ. яз., – М., 2004. – 231 с.*

Mjurrej R. Zero Waste / R. Mjurrej; per. s angl. jaz., – M., 2004. – 231 s.

12. *Ward P.G. A two step chemo-biotechnological conversion of polystyrene to a biodegradable thermoplastic / Ward P.G., Goff M., Donner M., Kaminsky W., O'Connor //*

Environmental Science and Technology. – 2006. 40 (7). – P. 2433–2437.

ASSESSMENT OF THE POLLUTION STATE OF MSW LANDFILLS IN ZAPORSZHYZHA BY POLYMERIC COMPOUNDS

Maslova O. V., Maslov D. V.

Zaporizhzhia National University

znuecologmas@gmail.com

The evaluation of the condition of Zaporizhzhya municipal solid waste polygons is given, the dynamics of the accumulation of polygons by polymeric compounds in recent years has been studied, and a pollution forecast has been constructed up to 2030. The purpose of the study is to assess the state of pollution by polymer compounds of the landfills of Zaporizhzhya. The research methods consist in the usage of analytical and statistical data and their processing.

Landfill for solid household waste is a special construction, designed for the isolation and disposal of solid waste. In Zaporizhzhya, with a population of about 800 thousand people and a total area of 280 km², there are three landfills for household waste. On the landfill of MSW № 1, which was operated since 1952, its design area is 47 hectares, it is possible to place annually about 250–300 thousand tons of waste. Today, 15.5 million tons of garbage have been accumulated there.

The ecological situation in the field of waste management, and especially with products from polymer compounds, remains acute and, above all, due to the large amounts of their annual formation, placement and accumulation happen over a long period of time. Traditional waste disposal technology as the physical and chemical properties of these compounds do not produce the desired result. The term of the decomposition of a plastic bottle is 100 years, and of a polyethylene film – 200 years.

According to the obtained data on the production of polymers and statistical indicators of the market, using the software for processing the obtained results, the forecast of the

accumulation of different types of polymers in the region up to 2030 was constructed.

In order to improve the use of land plots allocated for the landfill, it is necessary to carry out the design of landfills taking into account the composition of garbage and planned remediation of garbage dumps using scientific methods.

The pyrolytic waste disposal method is considered to be much safer than burning. However, even though the process of pyrolysis is much more time-consuming than conventional waste incineration, this technology is the most promising, since during pyrolysis the amount of emissions into the atmosphere is less than with conventional combustion. Pyrolysis of solid household wastes is understood as the process of thermal decomposition of waste that occurs without the access of oxygen. Ultimately, this process makes it possible to obtain a solid carbon residue and a pyrolysis gas. Pyrolysis of solid waste contributes to the creation of modern non-waste technologies for the disposal of garbage and the most rational use of natural resources.

Economically beneficial is low-temperature pyrolysis, and the most environmentally-friendly is high-temperature pyrolysis method for the recycling of polyethylene waste.

Below there are examples of methods for solving the problems of utilization of polymer waste in different countries around the world:

1. Suspension of the production of food plastic packaging and polyethylene bags in China and India.
2. Further development of so-called biopolymers, that is, plastic which quickly decomposes in natural conditions without the release of toxic substances (USA, Germany and Ukraine).
3. Change in the composition of household polymers on reversible, which can be re-melted many times (Japan).
4. Deletion of a special type of bacteria that will process and neutralize plastic residues in special storage facilities. Such bacteria are to be extracted by genetic modification (USA and France).

Conclusions

1. According to the forecast by 2030, the weight of polypropylene will increase by 2.5 times, ABS-plastic – by almost 2 times, polyethylene – by more than 3.7 times, polystyrene – by 1.4 times, other types of plastic – 1.6 times

2. The dynamics of the accumulation of solid waste, in particular polymers, in which the decay period is measured for centuries, allows us to assume that over time, landfills will not be able to fully accomplish the task. Therefore, the question is now raised about the construction of garbage processing factories and the withdrawal of new processing facilities.