

УДК 628.477:678.7

**Т.М. Денисенко**, канд. техн. наук

Чернігівський національний технологічний університет, м. Чернігів, Україна

### **ДОСЛІДЖЕННЯ СУЧАСНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ПЕРЕРОБКИ ПЛАСТИКОВИХ ВИРОБІВ**

**Т.Н. Денисенко**, канд. техн. наук

Черниговский национальный технологический университет, г. Чернигов, Украина

### **ИССЛЕДОВАНИЕ СОВРЕМЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ПЕРЕРАБОТКИ ПЛАСТИКОВЫХ ИЗДЕЛИЙ**

**Tetiana Denysenco**, PhD in Technical Sciences

Chernihiv National Technological University, Chernihiv, Ukraine

### **RESEARCH OF MODERN TECHNOLOGIES OF PLASTICS PRODUCTS PROCESSING**

*Проаналізовано морфологічну структуру промислових та побутових відходів та визначено частку полімерних відходів. Досліджено розподіл полімерних відходів за видами полімерів, призначенню, агрегатно-фізичному стану виробів, місцях утворення і накопичення, можливості збору, заготівлі і переробки з урахуванням їх об'ємів і залишкових технологічних властивостей. Проаналізовано методи утилізації та вторинної переробки відходів полімерів.*

**Ключові слова:** пластик, полімери, утилізація, деструкція.

*Проанализирована морфологическая структура промышленных и бытовых отходов и определена доля полимерных отходов. Исследовано распределение полимерных отходов по видам полимеров, назначению, агрегатно-физическому состоянию изделий, месту образования и накопления, возможности сбора, заготовки и переработки с учетом их объемов и остаточных технологических свойств. Проанализированы методы утилизации и вторичной переработки отходов полимеров.*

**Ключевые слова:** пластик, полимеры, утилизация, деструкция.

*The article analyzes the morphological structure of industrial and domestic wastes and determined the proportion of plastic waste. Investigated the distribution of plastic waste by types of polymers, purpose, aggregate-physical condition of the products, places of the its formation and accumulation, the possibility of collecting, harvesting and processing based on their residual volumes and technological properties. The methods of disposal and recycling of waste polymers were analid.*

**Key words:** plastic, polymers, recycling, destruction.

**Постановка проблеми.** Нині людство виробляє полімерів стільки ж, скільки випускається у світі чавуну, сталі і кольорових металів разом узятих, якщо порівнювати не в

одиницях маси, а за об'ємом. Виробництво пластичних мас на сучасному етапі розвитку зростає в середньому на 5–6 % щорічно і до 2014 року досягло 270 млн т. Їх питоме споживання населенням в індустріально розвинених країнах за останні 20 років подвоїлося, досягнувши 85–90 кг [1].

Пластик, відкритий Олександром Паркесом більше ніж півтора століття тому, став справжньою бідою початку XXI століття. Останні три десятиліття були ключовими у його експансії – пластик став невід'ємною частиною нашого життя. Навряд чи ми можемо нині уявити свій побут без пластикових пакетів, пляшок, посуду, упаковок тощо. Використовуючи його як одноразовий посуд чи пакувальний матеріал, людство зіткнулося із накопиченням пластикових відходів, які не розкладаються за допомогою природних чинників. За приблизними підрахунками вчених, від 1950 року і до теперішнього часу у навколишнє середовище потрапило понад мільярд тонн пластику. На основі лабораторних експериментів вдалося встановити, що для повного розкладання пластикової пляшки під дією ультрафіолету та перепадів температур знадобиться від ста до п'ятисот років. А деякі екологи вказують навіть термін до тисячі років [2]! І це при тому, що виробництво продукції із пластику становить понад 300 мільйонів тонн щорічно і продовжує зростати.

Пластик дешевий у виробництві, однак він здорожується під час переробки та стає не вигідним для повторного використання з першопочатковою метою. Основною проблемою переробки є сортування, яке неможливо автоматизувати, тому основні витрати припадають на оплату праці сортувальників. Справа в тому, що різні пластикові продукти виробляються із різних речовин (поліетилен, поліпропілен, полівінілхлорид, поліуретан та інші), а їх переробка можлива лише окремо. Однак деякі пластикові відходи взагалі не переробляють через нерентабельність, прикладом можуть слугувати вироби із полістерену (полістиролу), які просто захоронюють на сміттєзвалищах або утилізують на сміттєспалювальних заводах. Як вторинну сировину, пластик використовують здебільшого як наповнювач для різноманітних будівельних сумішей, облицьовувальних виробів, ізоляційних матеріалів, технічних конструкцій, палива і навіть для одержання електроенергії.

Виробництво виробів з пластику збільшується з року в рік. Це пляшки, банки, канистри, лотки, піддони, пакети, етикетки, плівка, скотч, перегородки, перекриття, коробки, сітки, решітки, папки, штучні трав'яні покриття, фільтруючі трубки і безліч інших виробів. Збільшується і кількість пластикових відходів, які не просто засмічують навколишнє середовище, але і забруднюють його шкідливими елементами. Пластик належить до матеріалів, які практично не розкладаються з часом, а під час спалювання виділяються дуже токсичні речовини, які неможливо вивести з організму. Тому вироби з пластику повинні бути перероблені. Нині проблема переробки відходів полімерних матеріалів отримує актуальність не тільки у зв'язку з охороною навколишнього середовища, а й у зв'язку з дефіцитом полімерної сировини. З 1 кг відходів (поліетилентерефталату ПЕТФ, поліпропілену ПП, поліетилену високого тиску ПЕВТ, поліетилену низького тиску ПЕНТ) виходить 0,8 кг вторинної сировини. Популярність пластику пояснюється його легкістю, економічністю, зручністю використання. Так, під час виготовлення пластику енергії потрібно на 21 % менше, ніж під час виготовлення скла.

Полімерна промисловість останнім часом активно розвивається як сектор світової економіки. Бурхливе зростання застосування, використання полімерної продукції поряд з незаперечними позитивними результатами привело до непростих проблем, що стосуються утилізації й переробки відходів полімерного виробництва.

Пластики не можна захоронити в землю, оскільки вони там не розкладаються. Позбавлення від них можливе лише у разі спалювання, але тоді відбувається виділення великої кількості небезпечних для здоров'я речовин – канцерогенів, вони ж діоксини, які руйну-

ють імунітет, що сприяють розвитку онкологічних захворювань та вроджених вад. Не будемо забувати про те, що діоксини поширюються і повітрям, і підземними водами.

**Мета статті.** Метою роботи є аналіз сучасних технологій переробки відходів полімерів, що дозволить вирішити проблему повторного використання значної частини промислових і побутових полімерних відходів та зменшить їх вплив на довкілля.

**Виклад основного матеріалу.** Сьогодні виробляється приблизно 150 видів пластиків. Суміші різних полімерів становлять 30 % від цього числа. Стандартні термопласти – ПЕНТ, ПЕВТ, ПП, ПС, ПВХ – становлять до 80 % полімерів, що випускаються. На частку конструкційних пластиків – полікарбонати, поліаміди, ПЕТ, поліфеніленоксид – припадає до 19 %. Решта 1 % – це полімери із специфічними унікальними властивостями: поліефіркетони, поліфеніленсульфіди і багато інших.

Полімерні матеріали, залежно від сфер застосування, мають різні терміни використання. Як приклад, можна розглянути дані, наведені для країн ЄС за 2013 р. З 25 млн т спожитих пластиків 9 млн т (36 %) використовувались менше одного року – це, передусім, тара і пакування; 7 млн т (28 %) – вироби з терміном придатності від 1 до 10 років – побутова електротехніка, посуд, інші споживчі товари; 9 млн т (36 %) експлуатується понад 10 років – полімерні матеріали будівельного призначення, деталі, що використовуються в автомобіле-, судно-, літакобудуванні. В цілому, щорічно із загального об'єму полімерів до 75 % матеріалів потрапляють у відходи [3]. Значна частка полімерів мають дуже короткий термін експлуатації.

Зростання обсягів виробництва полімерів приводить відповідно до зростання їх частки у відходах. За останні 15 років, за даними Союзу європейських виробників пластмас, частка полімерних матеріалів у відходах виросла з 2 до 8–11 %. Лідером смітєвих відходів, поза сумнівом, є упаковка. Від загальної кількості полімерів, що випускаються, на виробництво пакувань витрачається 41 %; половина всіх пакувальних матеріалів – харчове пакування.

Нині чіткої класифікації полімерних відходів немає, але практичний досвід їх утилізації, що є сьогодні, дозволяє розділити полімерні відходи на чотири групи, кожна з яких вимагає різних господарсько-організаційних і специфічно-технологічних заходів для залучення до переробки [4]:

1) технологічні відходи виробництва пластмас. Частина відходів, хімічні, фізичні і механічні властивості яких відповідають нормам технологічного процесу цього виробництва, може бути залучена до повторної переробки, а інші відходи, що не гарантують високої якості виробів (при звичайних способах вторинної переробки), знищуються або передаються як вторинна сировина на інші переробні підприємства;

2) відходи виробничого споживання накопичуються в результаті виходу з ладу виробів з полімерних матеріалів, що використовуються в різних галузях народного господарства. Ці відходи є найбільш однорідними, малозабрудненими, тому представляють найбільший інтерес з погляду повторної переробки. Зазвичай, ці відходи подрібнюють у ножовій дробарці, а потім пропускають через екструдер;

3) полімерні відходи сфери виробництва і споживання містять відходи полімерів, такі, наприклад, як плівкові матеріали в сільському господарстві, пакувальні матеріали в торгівлі та ін. Такі відходи, зазвичай, сильно забруднені, містять чужорідні тіла, мають підвищену вологість;

4) відходи громадського споживання накопичуються у населення, на підприємствах громадського харчування тощо, а потім потрапляють на міські звалища; зрештою вони переходять у нову категорію відходів – змішані відходи.

Найбільші труднощі пов'язані з переробкою і використанням останніх відходів. Причиною тут є несумісність полімерів, які входять до складу побутового сміття, що вимагає їх постадійного виділення.

Відповідно до Директив Європейської спільноти (75/442/ЕЕС, 91/156/ЕЕС та ін.) і на підставі аналізу впливу відходів на довкілля у країнах ЄС стимулюються переробка і повторне використання відходів. Найбільших успіхів у впровадженні роздільного збору, переробки і використанні відходів за останні 30 років досягла Німеччина, що впровадила «Дуальну систему Німеччини». Ця система дозволила створити 17 тис. додаткових робочих місць і 320 сортувальних пунктів твердих побутових відходів. Збираються і переробляються 5 млн т упаковки на рік. Загальна кількість побутового сміття за рахунок переробки скоротилася на 15 %.

Розглянемо розподіл полімерної тари за видами полімерів, призначенням, агрегатно-фізичним станом виробів, термінами служби, умовами експлуатації, місцями утворення і накопичення, можливості збору, заготівлі і переробки з урахуванням їх об'ємів і залишкових технологічних властивостей:

1) транспортна полімерна тара у вигляді ящиків, піддонів, бідонів, бочок та ін. Термін експлуатації полімерної транспортної тари – до 3 років. Зношена транспортна тара практично в повному об'ємі повертається до виробника і переробляється в дроблену, остання додається до первинної сировини в кількості до 50 % для виробництва полімерної тари;

2) зношена тара і пакування з комбінованих матеріалів – ламінованого паперу, металізованої алюмінієм плівки, з антисептичних пакувальних матеріалів та ін. З комбінованих матеріалів виготовляють пакети та пачки для розфасовки молока, кефіру, сметани, соку, пакування сиру, медикаментів. Це тара і пакування одноразового використання. Випускається в основному паралельно з виробництвом продуктів харчування, медикаментів та ін. Зношена тара і пакування та технологічні відходи їх виробництва можуть розглядатися як вторинна полімерна сировина за умови організації збору, заготівлі їх від населення в очищеному вигляді та розроблення технології й устаткування для їх переробки в ліквідні вироби. Вона може бути використана за умови відповідної технології переробки як «смітєве» паливо у вигляді брикетів з питомою теплою згорання до 7000 ккал/кг;

3) зношена текстильна тара і пакування, у тому числі з мішків із синтетичної нитки (поліпропілену, поліаміду) близько 2500 т/рік, які використовують для затарювання цукру, круп, зерна, солі, борошна та інших сипких харчових продуктів, а також сумки, пакети з синтетичних ниток, сітки, вкладиші, контейнери. Це тара і пакування одноразового використання. Потенційними постачальниками можуть бути виробники цієї тари і пакування, споживачі харчових і технічних сипких продуктів та матеріалів. Це хлібобулочні, макаронні, кондитерські комбінати, фабрики, заводи, приватний сектор, а також підприємства громадського харчування – ресторани, кафе, їдальні і т. ін. За своїми фізико-хімічними і механічними залишковими властивостями вживані мішки, сітки, сумки, вкладиші з синтетичних ниток (поліпропілен, поліамід, поліетилен) можуть розглядатися як вторинна полімерна сировина;

4) зношена тара і пакування з термопластичних матеріалів типу поліетилену високого і низького тиску, поліпропілену, полістиролу. Це поліетиленові плівкові мішки, вкладиші м'яких контейнерів, споживча тара – пакети, пакувальна, обгорткова, термоусадкова плівка, пляшки, стаканчики, туби та ін. Виробництво плівкової пакувальної тари здійснюють на невеликих фірмах з різною формою власності, основними споживачами є торговельні підприємства, ярмарки, що реалізують харчові продукти, предмети косметики, санітарно-гігієнічні вироби, технічні засоби, одяг, взуття. Враховуючи відсутність організованої системи збору, заготівлі і переробки пакувальної тари, основний об'єм її потрапляє до складу твердих побутових відходів, де піддається сильному забрудненню, зараженню бактеріями. Це значно ускладнює технологічні процеси її переробки, зокрема вимагає додаткового миття і знезараження;

5) поліетиленова плівка сільськогосподарського застосування в парниковому, тепличному господарствах є компактним джерелом вторинної полімерної сировини. Термін експлуатації ПЕ-плівки в тепличному і парниковому господарствах становить один рік. Проте залишкові фізико-хімічні і механічні властивості зношеної ПЕ-плівки тепличного, парникового призначення є достатніми для її повторної переробки;

6) поліетиленові мішки з-під мінеральних добрив є високоякісною вторинною полімерною сировиною. Термін служби ПЕ-мішків один рік;

7) разовий посуд. Цей вид полімерних відходів має незначну частку серед інших видів полімерних відходів та сильну забрудненість залишками їжі. Для виробництва виробів використовуються в основному полістирол, поліпропілен, поліетилентерефталат, полівінілхлорид, поліетилен. Термін служби цих виробів разовий. Основна тара – ПЕТ-пляшки, концентруються у населення, тому можливі обсяги заготівлі залежать від організації їх збору.

Найчастіше ПЕТ-відходи використовуються повторно для виробництва пластикових пляшок, плівок і волокна. Реологічні і механічні властивості вторинного складу ПЕТ дозволяють використовувати під час виготовлення емностей для мийних засобів, що робить його гарною альтернативою ПВХ і ПЕВТ. Вторинний ПЕТ також часто використовується як проміжний шар при виробництві тришарової аморфної плівки і видудання тришарових ламінованих пляшок із зовнішніми шарами з первинного полімеру. Застосування співекструзії сумішей з переробленого вторинного та первинного ПЕТ дозволяє поліпшити реологічні властивості вторинного полімеру, зробивши його більш придатним для видудання. Не менш важливою сферою застосування вторинного ПЕТ є виробництво волокон. Процес формування волокна вимагає від вторинного полімеру тих же реологічних властивостей (градієнта швидкості потоку і неізотермального витягування), якими володіє первинний полімер. Здебільшого ПЕТ-волокно, сформоване з вторинної основи, має механічні властивості, що задовольняють умови виробництва широкої гама продуктів. Второволокно переробляється в текстиль або тканині основи для виробництва одягу і килимових покриттів. Ці програми можуть використовувати до 100 % вторинного полімеру. Найчастіше ПЕТ-волокно застосовують якості синтетичного утеплювача для зимового одягу або готової плісової фактури для пошиття одягу. У ПЕТ-волокна є певні переваги перед іншими синтетичними волокнами. Наприклад, килими з ПЕТ-волокна не втрачають колір і не вимагають спеціального хімічного оброблення, необхідного килимам з нейлонових волокон. ПЕТ-волокна і забарвлюються легше, ніж нейлон. Волоконні полотна з ПЕТ, виготовлені за технологією melt-blown, застосовуються для виробництва шумоізоляційних матеріалів, абсорбуючих елементів, синтепону. Нарешті, невеликий обсяг вторинного ПЕТ використовується для виготовлення автомобільних компонентів, електротехнічних виробів, різної фурнітури методом лиття під тиском.

Крім вищеперерахованих, останніми роками все активніше в Європі, а також уже і в Україні, вторинний ПЕТ використовується для екструзії щетини. Щетина являє собою волокно великої товщини (діапазон товщини – 0,1–2,0 мм). Вона знаходить застосування при виробництві різних щіток як господарського, так і промислового та сервісного призначення. Обсяг цього ринку, як і його потенціал, є значним. Крім ПЕТ, у цій індустрії використовується і ПП (рідше ПА).

Переробка пластику складається з кількох етапів: збір, сортування (за кольором, якістю, чисті/брудні відходи), пресування, власне переробки (різка, промивка, сушка, виробництво регрануляту), виробництво нової продукції.

Для забезпечення утилізації одноразових предметів у 1988 році Товариством пластмасової промисловості була розроблена система маркування для всіх видів пластику та

ідентифікаційні коди. Маркування пластику складається з 3-х стрілок у формі трикутника, всередині яких знаходиться цифра, що позначає тип пластику [5]:

1) PET або ПЕТ – поліетилентерефталат. Зазвичай використовується для виробництва тари для мінеральної води, безалкогольних напоїв і фруктових соків, упаковки, блістерів, оббивки;

2) PEHD або HDPE – поліетилен високої щільності. Виробництво пляшок, фляг, напівжорсткої упаковки. Вважається безпечним для харчового використання;

3) PBX або PVC – полівінілхлорид. Використовується для виробництва труб, трубок, садових меблів, підлогових покриттів, віконних профілів, жалюзі, тари для мийних засобів та клейонки. Матеріал є потенційно небезпечним для харчового використання, оскільки може містити діоксини, бісфенол А, ртуть, кадмій;

4) LDPE або ПЕВТ – поліетилен низької щільності. Виробництво брезентів, смітєвих мішків, пакетів, плівки і гнучких ємностей. Вважається безпечним для харчового використання;

5) PP або ПП – поліпропілен. Використовується в автомобільній промисловості (обладнання, бампери), при виготовленні іграшок, а також у харчовій промисловості, в основному при виготовленні пакувань. Вважається безпечним для харчового використання;

6) PS або ПС – полістирол. Використовується при виготовленні плит теплоізоляції будівель, харчових пакувань, столових приладів і чашок, коробок CD та інших упаковок (харчової плівки і піноматеріалів), іграшок, посуду, ручок і так далі. Матеріал є потенційно небезпечним, особливо у випадку горіння, оскільки містить стирол;

7) OTHER або О – інші. До цієї групи відноситься будь-який інший пластик, який не може бути включений у попередні групи. В основному, це полікарбонат. Полікарбонат не є токсичним для навколишнього середовища, але може містити небезпечний для людини бісфенол А. Використовується для виготовлення твердих прозорих виробів.

Нині найбільш прийнятним методом переробки для України залишається механічний рециклінг – вторинна переробка (спосіб не потребує дорогого спеціального обладнання і може бути реалізований у будь-якому місці накопичення відходів).

Вторинна переробка полімерних відходів, застосування їх у комунальному господарстві міст України є актуальними проблемами екологічного та економічного характеру. Річний об'єм господарського сміття на одного жителя міста в середньому становить 250 кг, у тому числі 30 % (75 кг) – тара й упаковка, до 12 % (30 кг) – полімерні відходи, відходи поліетилентерефталату (ПЕТ-пляшка) – 0,8–1 % (2–2,5 кг). Використана тара і пакування є цінною вторинною сировиною, яка найчастіше використовується для виробництва тієї ж тари і пакувань, хоча діапазон застосування вторинної полімерної сировини досить широкий, особливо в комунальному господарстві та інфраструктурі міста.

Під час вибору способу утилізації відходів потрібно враховувати загальні витрати енергії. Відходи, які вигідніше переробляти, ніж спалювати й утилізувати на полігонах, потрібно переробляти. Нині в Україні щорічно утворюється близько 6 млн. тонн відходів, серед яких до 50 % становлять відходи тари і упаковки. Ці відходи є серйозними забруднювачами природного довкілля (у природних умовах вони не розкладаються протягом багатьох десятиліть), тому велику увагу необхідно приділяти їх збору, переробці та утилізації.

Переробка технологічних відходів пластмас складнощів не представляє. Здебільшого ці відходи переробляють на тих же підприємствах, де вони утворюються. Ступінь утилізації промислових відходів пластмас досягає 90 %. Відходи виробництва полімерів використовують для виготовлення виробів технічного призначення, побутової хімії і потреб комунального господарства (труби поліетиленові, тротуарна плитка, люки і кришки каналізаційні) або як добавки (10–15 %) до початкової сировини.

Утилізація відходів використаної упаковки з термопластичних полімерів залежить від вибраних технологій. При переробці таких відходів методом рециклінга (регрануляції) однією з основних вимог є вибір устаткування і технології переробки (рис. 1).

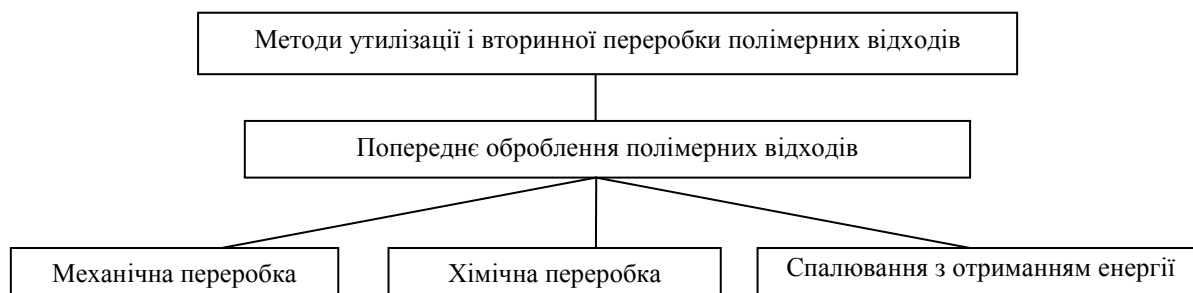


Рис. 1. Методи утилізації і вторинної переробки полімерних відходів

Перевага віддається устаткуванню, що дозволяє переробляти відходи полімерів при їх мінімальному очищенні і сортуванні.

Зібрані або виділені з ТПВ полімерні відходи більш різноманітні, ніж відходи інших видів. Тому є безліч підходів щодо перетворення полімерного сміття в корисні продукти. Первинна переробка утилізованих полімерів включає повторне використання низькосортних відходів і обрізків безпосередньо на заводі, що їх виробляє. Вона застосовується щодо термопластичних полімерних матеріалів, які мають дуже низький рівень забруднення. Вторинна переробка полягає в розподілі, очищенні і повторному використанні базових продуктів у вигляді чистих полімерів або сумішей. Механічна переробка (первинна або вторинна) є основним напрямом відновлення пластмас, оскільки вона зберігає максимальну кількість корисних продуктів. Проте вона часто обмежена впливом таких чинників, як забруднення, деградація властивостей і т. ін.

З іншого боку, полімерні відходи можна спалювати з отриманням енергії. Спалювання є дуже ефективним способом знищення великих об'ємів пластмас, але в цьому випадку із сміття отримується невелика частка корисних продуктів.

Між цими підходами є третій шлях – хімічна переробка, яку називають також сировинною або «третинною». Сюди можна віднести будь-яку технологію, яка використовує керовані хімічні реакції. Це деполімеризація макромолекул з утворенням мономерів, покрокова деструкція до низьких молекулярних мас через розрив певних хімічних зв'язків, нарощування полімерних ланцюгів для відновлення молекулярної маси, піроліз з утворенням складної суміші газоподібних, рідких і твердих продуктів, реакційне змішування різних полімерів та ін. Цей шлях переробки дозволяє відновити більшу, ніж під час спалювання, частину відходів.

Переробка полімерних відходів у нові матеріали і вироби – найбільш економічно доцільний шлях їх використання. Оскільки вторинна переробка полімерних відходів приблизно в два рази менше енергоємна, ніж виробництво первинних полімерів, оскільки при цьому економиться нафтова сировина, то рециркуляція полімерних відходів виявляється економічно вигідною.

Промислові і побутові полімерні відходи піддаються багатоетапній переробці. Загальну схему процесу попереднього оброблення полімерних наведено на рис. 2. Залежно від стану полімерних відходів (їх складу, забрудненості, рівня деструкції) вони або переробляються як суміш полімерів, або розділяються на індивідуальні компоненти.

Полімерні відходи, промислові або виділені з побутових, піддаються подрібненню для уніфікації властивостей цих різноманітних за формою, розмірами і специфічними характеристиками матеріалів. Цю стадію можна визначити як формування часток певного розміру і форми для зменшення об'єму і гомогенізації потоку сировини. Одночасно – це крок переробки для наступного використання матеріалу. Подрібнення дуже ва-

жлива стадія підготовки відходів до переробки. Регулювання ступеня подрібнення полімерних відходів дозволяє механізувати процес переробки, підвищити якість матеріалу за рахунок усереднення його технологічних характеристик, скоротити тривалість інших технологічних операцій, спростити конструкцію переробного устаткування.

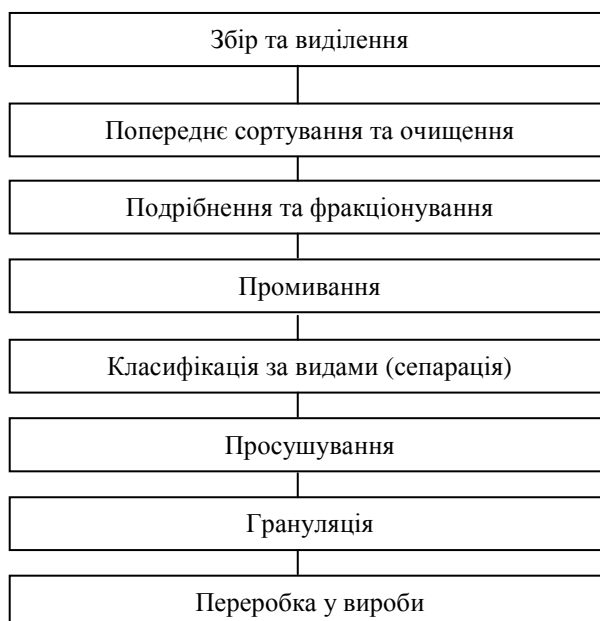


Рис. 2. Схема попереднього оброблення полімерів

Основну частину полімерних відходів складають термопласти. Оскільки це еластичні матеріали, то зсувове подрібнення, ударна дія і тиск для їх подрібнення не ефективні, тоді як різання дає необхідні результати. Різальні млини, подрібнювачі, різакі гільйотин і пили використовуються для різання профілів, плівок і інших полімерних відходів.

Метою фракціонування є розподіл часток подрібненої сировини за розміром і формою. Розподіл компонентів у суміші гранул здійснюється за допомогою ситових, проточних або валкових екранів.

Промивання очищає сировину і видаляє бруд. Ця технологія може бути схематично розділена на три кроки: вимочування, зачистка (сильно забруднені матеріали очищаються в турбінних або фрикційних мийних машинах), видалення бруду. Після стадії промивання змішані полімерні відходи можуть бути розділені і класифіковані за видами пластиків або перероблятися далі єдиною масою.

Просушування зменшує вміст вологи в матеріалі після процедур промивання до прийняттого рівня. Вміст залишкової вологи повинен становити не більше 1 %.

Метою грануляції є отримання однакових за формою і розміром гранул, що необхідно для спрощення поводження з матеріалом. Кінцевий вторинний полімерний матеріал, придатний для переробки у виробі на стандартному устаткуванні переробки пластмас, отримують за допомогою грануляції. Пластмасу розплавляють в екструдері і надають матеріалу форми гранул за допомогою гранулюючого диска.

Вторинна переробка полімерів часто обмежена високою забрудненістю сировини, його композиційною неоднорідністю і значним рівнем деструкції матеріалу. Хімічна переробка полімерних відходів припускає їх трансформацію в низькомолекулярні фракції: газу, мономери, олігомери, сиру нафту і т. ін. Цей вид утилізації включає також контрольовані реакції, що ведуть до відновлення полімеру і його хімічної модифікації.

Піроліз – це термічне розкладання органічних продуктів за наявності кисню або без нього. Піроліз полімерних відходів дозволяє отримати висококалорійне паливо, сировину і напівфабрикати, використовувані в різних технологічних процесах, а також мо-



номери. Газоподібні продукти термічного розкладання пластмас можуть використовуватися як паливо для отримання робочої водяної пари. Рідкі продукти використовуються для отримання теплоносіїв. Спектр застосування твердих продуктів піролізу відходів пластмас досить широкий (компоненти різного роду захисних композицій, мастил, емульсій, просочувальних матеріалів та ін.).

Для отримання низькомолекулярної сировини з таких видів відходів полімерів, як суміші полімерів, кабельна ізоляція, застосовують високотемпературний піроліз, при цьому велика продуктивність досягається тільки у разі безперервних методів.

Низькомолекулярні граничні вуглеводні, що утворюються в процесі піролізу, піддаються наступному крекінгу з метою збільшення виходу неорганічних сполук, що використовуються під час синтезу поліолефінів. Штучне рідке паливо є дуже перспективним напрямом утилізації полімерних відходів. Розроблені останнім часом технології дозволяють отримувати високоякісні марки бензину, гасу, дизельного і котельного палива. Проте основним недоліком вказаних технологій є висока вартість використовуваного устаткування і, відповідно, висока вартість отриманого палива.

Більшість полімерів у результаті зворотності реакції можуть знову розкладатися до початкових речовин – мономерів. ПЕТ може бути деполімеризована до початкових компонентів – етиленгліколю і терефталевої кислоти за реакцією гідролізу з використанням «надкритичної» води, яка діє як кислотний катализатор. Терефталева кислота відділяється при 350–400 °С на 100 %, етиленгліколь – дещо менше. Аналогічній переробці можуть бути піддані відходи поліуретанів і поліамідів. Цей спосіб використання відходів енергетично вигідніший, ніж піроліз, оскільки в оборот повертаються високоякісні хімічні продукти.

У порівнянні з гідролізом для розщеплення відходів ПЕТ економічніший інший спосіб – гліколіз. Деструкція відбувається при високих температурах і тиску за наявності етиленгліколю і за участю катализаторів до отримання чистого диглікольтерефталату. Все ж найпоширенішим термічним методом переробки відходів ПЕТ є їх розщеплення за допомогою метанолу – метаноліз. Процес відбувається при температурі вище 150 °С і тиску 1,5 МПа. Цей метод дуже економічний. На практиці застосовують і комбінацію методів гліколізу і метанолізу.

Отримання енергії за рахунок спалювання полімерних відходів стає особливо актуальним під час зростання цін на органічне паливо. При цьому немає необхідності сортування, необхідно лише подрібнювати відходи до досить великих шматків, щоб забезпечити необхідний для горіння доступ кисню. Хоча полімерні компоненти у відходах за масою становлять лише 7 %, вони дають 30 % енергії на переробних заводах. Використання у вигляді палива однієї тонни заздалегідь підготовлених змішаних полімерних відходів зберігає 1,4 т вугілля. Небезпека забруднення довкілля супертоксикантами при спалюванні полімерних відходів значною мірою перебільшена і більше відноситься до старих сміттєспалювальних установок. При температурах 1200–1400 °С, характерних для сучасних установок, ці речовини безповоротно розпадаються, а частка, що не розклалася, поглинається в адсорбуючих фільтрах. Викиди діоксину досягають всього 0,6 мкг на тонну. Під час спалювання тонни кам'яного вугілля виділяється 1-10 мкг діоксину. Спалювання на сьогодні залишається одним з основних способів утилізації відходів навіть в економічно розвинених країнах.

Вторинна переробка, хімічна модифікація або спалювання з отриманням енергії – альтернативні шляхи вирішення проблеми. Ціна переробки відходів полімерів зростає під час збільшення витрат на їх збір і розподіл.

**Висновки.** Зростання виробництва полімерів привело до суттєвого зростання їх частки у твердих побутових відходах до 8–12 %, з них приблизно 80 % становлять відходи полімерів. Полімерні відходи у природних умовах розкладаються протягом 80-100 років, забруднюючи довкілля продуктами деструкції. При їх самовільному спалюванні

в атмосферу можуть виділятися надзвичайно небезпечні речовини канцерогенної дії – діоксини і фурані.

У той же час відходи полімерів є цінною вторинною сировиною. Їх переробка та повторне використання дозволить заощадити значну кількість первинних пластмас, які виробляються з нафтової сировини, а також знизити викиди у атмосферу.

У роботі проаналізовано морфологічну структуру промислових та побутових відходів та визначено частку полімерних відходів. Досліджено розподіл полімерних відходів за видами полімерів, призначенням, агрегатно-фізичним станом виробів, місцями утворення і накопичення, можливостями збору, заготівлею і переробкою з урахуванням їх об'ємів і залишкових технологічних властивостей.

Проаналізовано особливості роботи з відходами полімерів та досліджено фізико-хімічні процеси їх деструкції. Розглянуто методи утилізації та вторинної переробки відходів полімерів. Результати цієї роботи можна використовувати на сміттєпереробних заводах для вдосконалення технологічних ліній з переробки полімерних відходів.

### Список використаних джерел

1. *Пластик* в нашей жизни: быть или не быть [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://www.babygreen.ru>.

2. *Пластиковий* вік [Електронний ресурс]. – Режим доступу : [www.naturalist.if.ua/?p=3126#ixzz2xSEходsa](http://www.naturalist.if.ua/?p=3126#ixzz2xSEходsa).

3. *Полимерные отходы* в коммунальном хозяйстве города : учебное пособие / В. Н. Бабаев, Н. П. Горох, Ю. Л. Коваленко и др. – Х. : ХНАГХ, 2004. – 375 с.

4. *Про класифікацію* полімерів і співполімерів [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://pravo.levonevsky.org/bazaua09/pismo/sbor02/text02150.htm>.

5. *Класифікація* полімерів [Електронний ресурс]. – Режим доступу : [http://granula.at.ua/publ/klasifikacija\\_polimeriv/1-1-0-31](http://granula.at.ua/publ/klasifikacija_polimeriv/1-1-0-31).