

Хімічная экалогія і бяспека

ВОПРОСЫ УТИЛИЗАЦИИ ПОЛИМЕРНЫХ ОТХОДОВ — НЕОБХОДИМЫЙ КОМПОНЕНТ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО ОБРАЗОВАНИЯ ШКОЛЬНИКОВ

В. А. Халецкий

Брестский политехнический институт

Можно без преувеличения сказать, что одним из важнейших достижений химии в текущем столетии является разработка технологий синтеза и переработки полимерных материалов. Конструкционные материалы из полимеров, появившихся сравнительно недавно (промышленное производство поливинилхлорида началось в 1914 г., полистирола в 1930 г., а полиэтилена в 1939 г.), стали стремительно вытеснять традиционные материалы, и прежде всего металлы и древесину, во всех сферах использования. И если в 1900 г. в мире было произведено всего 20 тыс. тонн полимеров, в 50-е гг. — 1,5 млн. тонн, то уже в 70-е гг. — 38 млн тонн. Предполагается, что к 2000 г. общий мировой объем производства полимерных материалов превысит 100 млн тонн, что уже будет сопоставимо с суммарным производством металлов.

Сегодня не осталось практически ни одной отрасли экономики, где бы не использовались полимерные материалы: производство искусственных волокон и стоматологических материалов, автомобилестроение и мебельная промышленность. Однако наибольшая доля (33 %) выпускаемых полимеров используется для упаковки и производства тары. Вторым по важности потребителем синтетических материалов является строительство (20 %), затем следуют электротехника (10 %), транспорт (7 %), сельское хозяйство (5 %). Доля остальных потребителей составляет 25 % (рис. 1).

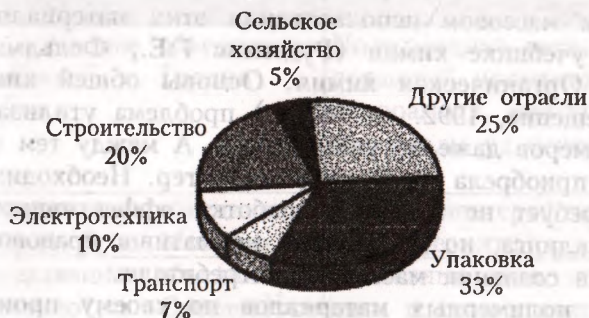


Рис. 1. Основные области использования полимерных материалов

Всего в мире производится более 5000 различных типов пластмасс, однако на долю пяти из них приходится 68 % общемирового производства. Это полиэтилен низкой плотности (ПЭНП) — 19 %, полиэтилен высокой плотности (ПЭВП) — 10 %, поливинилхлорид (ПВХ) — 19 %, полипропилен (ПП) — 12 %, полистирол (ПС) — 8 %. Остальные типы термопластичных полимеров составляют лишь 12 %, а термоактивные полимеры — 20 % (рис. 2).



Рис. 2. Доля важнейших типов полимеров в мировом производстве

К сожалению, в школьной программе опускается ряд принципиально важных вопросов, связанных с химией и технологией полимеров, экологическими проблемами, которые воз-

никают при массовом использовании этих материалов. Так, в базовом учебнике химии (Рудзитис Г.Е., Фельдман Ф.Г. Химия-11: Органическая химия. Основы общей химии. — М.: Просвещение, 1992. — 160 с.) проблема утилизации отходов полимеров даже не упоминается. А между тем эта проблема уже приобрела глобальный характер. Необходимость ее решения требует не только разработки эффективных технологий рециклинга, но и создания нормативно-правовой базы, изменений в сознании массового потребителя.

Отходы полимерных материалов по своему происхождению можно разделить на две большие группы: *промышленные* и *бытовые*.

Промышленные отходы образуются на всех стадиях производства полимеров. Их специфической особенностью является отсутствие значительных загрязнений и посторонних примесей. В большинстве случаев такие отходы состоят только из одного вида полимера. Вторичная переработка (рециклинг) таких полимеров, как правило, не сопряжена с большими затруднениями.

Рециклинг промышленных отходов имеет особенно важное значение для экономики и экологии Беларуси, поскольку наша страна обладает развитой инфраструктурой по производству и переработке полимеров. На сегодняшний день в республике производятся полиэтилен высокого давления, поликапроамид, полиэтилентерефталат, акриловые полимеры, композиционные материалы на их основе, широкий спектр синтетических и искусственных волокон (табл. 1).

Таблица 1

Промышленные предприятия Беларуси, занимающиеся производством или переработкой полимерных материалов

Промышленное предприятие	Производимая продукция
1	2
Производственное объединение "Полимир", г. Новополоцк	Пролиэтилен высокаго давленья, полиметилакрилат, полиакрилонитрил и волокна на яго основе

	2
Производственное объединение "Химволокно", г. Гродно	Полиамидная нить, гранулированный полиамид-6 (поликапроамид), конструкционные материалы на основе полиамида-6
Производственное объединение "Химволокно", г. Могилев	Полиэтилентерефталат, полиэфирные нити
Производственное объединение "Химволокно", г. Светлогорск	Вискозные нити, полиэфирные нити и ткани, полипропиленовые ткани
Белорусский шинный комбинат "Белшина", г. Бобруйск	Шины (более 130 видов) для легковых, грузовых и большегрузных автомобилей, автобусов, троллейбусов, тракторов и др.
Производственное объединение "Белпласт", г. Минск	Широкий спектр изделий народного хозяйственного назначения из полиэтилена и других полимеров
Завод "Белвторполимер", г. Гродно	Пластмассовая тара, полиэтиленовая пленка, полиэтиленовые трубы
Завод пластмассовых изделий, г. Борисов	Полиамидные трубы, сельскохозяйственная полиэтиленовая пленка

Бытовые отходы. В сфере потребления образуется большая часть (85 %) всех отходов пластмасс. Основным их источником является использованная тара и упаковка, полиэтиленовая пленка для нужд сельского хозяйства. Как компонент бытовых отходов полимеры впервые появляются в конце 60-х гг., составляя первоначально величину порядка 1 %. С тех пор их доля постоянно увеличивается и сегодня в промышленно развитых странах уже превышает 25 %.

Бытовые отходы представляют собой смесь различных полимеров и практически всегда загрязнены.

На данный момент существует несколько основных способов решения проблемы отходов полимеров:

- захоронение;
- сжигание;
- пиролиз;
- рециклинг.

Захоронение

До недавнего времени это был важнейший способ решения проблемы полимерных отходов. Так, в середине 70-х гг. в Японии захоронению подвергалось 33,6 %, а в США до 90 % отходов пластмасс. Захоронение является очень простым по своей сути способом и заключается в вывозе на специально оборудованные, а чаще всего "дикие" свалки отходов полимеров или сброс их в море. Большие недостатки данного метода не компенсируются немногочисленными преимуществами. Во-первых, постоянно возрастающий объем производства пластмасс приводит к необходимости утилизации все большего количества отходов, а значит, требуется отчуждать все большие площади под свалки. Во-вторых, крупнотоннажные полимеры практически не разлагаются микроорганизмами и обладают высокой стойкостью к воздействию окружающей среды (влага, колебания температур, солнечная радиация), т.е. период их разложения в естественных условиях необычайно велик. В-третьих, в условиях длительного хранения из полимеров могут мигрировать в окружающую среду различные токсичные вещества — продукты распада, мономеры, пластификаторы и т.д. (табл. 2).

Таблица 2

Вещества, способные мигрировать из полимеров в окружающую среду

Полимер	Мигрирующие вещества
1	2
Полиэтилен низкой плотности (высокого давления) (ПЭНП)	Низкомолекулярные предельные и непредельные углеводороды

Полиэтилен высокой плотности (низкого давления) (ПЭВП)	Остатки комплексных металлоорганических катализаторов (соединения хрома, титана, алюминия, ванадия) и растворителя (метанол)
Полипропилен (ПП)	Непредельные углеводороды, формальдегид, метанол, остатки металлоорганических катализаторов
Полистирол (ПС)	Мономеры (стирол, α -метилстирол), добавки (пластификаторы, смазки, наполнители, красители), побочные примеси (этилбензол, изопропилбензол)
Поливинилхлорид (ПВХ)	Мономер (винилхлорид), стабилизаторы (оловоорганические соединения, бариево-кадмиевые и свинцовые соли жирных кислот, кальциевые, цинковые и стронциевые мыла, эфиры β -аминокротоновой кислоты), пластификаторы (диоктиладипинат, диоктилфталат, дибутилсебацинат), продукты старения (хлороводород)
Политетрафторэтилен (ПТФЭ)	Фторорганические соединения, не вошедшие в реакцию полимеризации, продукты деструкции фторполимеров
Поливинилацетат (ПВА)	Мономер (винилацетат)
Полиамиды (ПА)	Мономер (ϵ -капролактam) (в значительных количествах), олигомеры (димеры и тримеры)

1	2
Полиэтилентерефталат (ПЭТФ)	Остатки катализатора переэтерификации (смесь ацетатов кальция цинка и марганца)
Полиуретаны (ПУ)	Порообразователи, активаторы, растворители, антипирены (трихлорэтилфосфат, трикрезилфосфат)
Фенолформальдегидные смолы	Мономеры (фенол и формальдегид) — в значительных количествах
Эпоксидные смолы	Эпихлоргидрин, отвердители, модификаторы
Резины	Компоненты резиновой смеси (алкилдитиокарбаматы, арилгуанидины, соединения тяжелых металлов)

Особую опасность представляют собой свалки использованных автомобильных покрышек. Их число постоянно увеличивается. Только в США ежегодно становятся непригодными для дальнейшей эксплуатации порядка 240 млн автопокрышек (2,2 млн тонн). Старые автопокрышки, находящиеся на свалке, постепенно заполняются водой и служат идеальным местом размножения комаров и других насекомых. Во избежание этого необходимо разрезать покрышки на части, однако этот процесс дорогостоящий и многие свалки не имеют для его проведения необходимого оборудования. Кроме того, складированные автопокрышки часто возгораются (иногда в результате умышленных поджогов). Такие пожары могут быть длительными, как, например, пожар в г. Винчестер (США), продолжавшийся 9 месяцев. При этом в атмосферу выбрасывается огромное количество ядовитых соединений.

Сжигание

Большинство полимеров легко сгорают на воздухе и это широко используется для утилизации их отходов. Так, в

1990 г. в ФРГ общее количество отходов полимеров составило 1,6 млн тонн, из которых было подвергнуто вторичной переработке 400 тыс. тонн, а 500 тыс. тонн было предназначено для сжигания. В целом по Западной Европе сжигается 15 % всех отходов пластмасс.

Важным преимуществом данного метода утилизации является высокая теплотворная способность пластмасс, сопоставимая с теплотворной способностью традиционных энергоносителей — нефти, газа, угля (табл. 3). Для полимерных отходов, предназначенных для сжигания, не требуется очистка от загрязнений, они могут содержать большую неполимерную составляющую. Не требуется также их предварительная сепарация по типам.

Таблица 3

Энергетическая ценность важнейших полимеров и традиционных энергоносителей

Топливо	Теплота сгорания, кДж/кг
1	2
Полиэтилен	46 500
Полипропилен	46 500
Полистирол	41 300
Поливинилхлорид	18 300
Поли-1,4-бутадиен	45 200
Полибутен-1	46 500
Полиметиленоксид	16 700
Полиэтиленоксид	26 600
Поливиниловый спирт	25 000
Поливинилацетат	22 900
Полиметилметакрилат	26 300
Полиэтилентерефталат	22 700
Поликарбонат	30 900
Полиакрилонитрил	30 700
Полиамид-6	31 400
Поливинилиденхлорид	10 600

Политетрафторэтилен	4 600
Полихлоропрен	24 900
Целлюлоза	17 200
Полиэфирная смола	34 000
Эпоксидная смола	33 000
Фенолформальдегидная смола	32 000
То же + 30 % стекловолокна	25 000
Меламиновая смола	28 000
Суммарная теплотворная способность пластмасс в бытовом мусоре	31 000
Старые автопокрышки	31 400
Уголь	26 400
Нефть	39 300
Газ	50 100
Биомасса	15 100

Технология сжигания отходов пластмасс хорошо разработана. Существуют печи для сжигания отходов наполненных терморезистивных полимеров, плавящихся отходов термопластов, смесей полимерных отходов с бытовыми отходами, углем, торфом.

Несмотря на очевидные достоинства, сжигание обладает существенными недостатками. Так, при горении полимеров происходит выброс в атмосферу высокоактивных токсичных веществ (хлористого и фтористого водорода, формальдегида, оксидов серы и азота, цианистых соединений и т.д.) и больших количеств углекислого газа. Кроме того, сжигание происходит при очень высоких температурах, что в сочетании с воздействием агрессивных сред приводит к ускоренному износу технологического оборудования. Поэтому использовать этот способ утилизации отходов пластмасс целесообразно только в тех случаях, когда невозможны более рациональные методы.

Особую роль играет сжигание в утилизации отходов резины и каучуков. При сжигании 1 т пришедших в негодность

покрышек можно получить 8 т водяного пара или 200 кВт электроэнергии. Сжигание покрышек используется во многих странах Европы, Канаде, США, где таким образом уничтожается порядка 20 % старых автопокрышек. Основное препятствие, возникающее при широком использовании данного метода, связано с эмиссией в атмосферу широкого спектра органических веществ, обладающих мутагенным и канцерогенным действием (динитроарены, или ароматические амины, полициклические ароматические углеводороды).

Пиролиз

Является более перспективным методом, чем обычное сжигание. Это обусловлено потребительской ценностью получаемого продукта. В зависимости от особенностей протекания термической деструкции существуют три направления использования пиролиза для утилизации полимерных отходов:

1) с целью получения исходных мономеров (к таким полимерам относятся полиметилметакрилат, политетрафторэтилен, полистирол, поли- α -метилстирол и др.);

2) с целью получения топлива (к таким полимерам относятся полиолефины, эластомеры и др., а также смеси полимеров);

3) с целью получения специфических продуктов (из продуктов пиролиза полиэтилена получают низкомолекулярные воски, жирные кислоты и спирты, алкилсульфонаты и т.д., из продуктов пиролиза ПВХ — соляную кислоту и соединения ароматического ряда, из продуктов пиролиза ПВА и ПВС — высокоактивный углерод и т.д.).

Технологические способы проведения пиролиза весьма разнообразны: пиролиз неподвижного слоя периодически загружаемых отходов, пиролиз во вращающихся печах, пиролиз в псевдооживленном слое и др. На практике сжигание и пиролиз полимеров часто совмещают в одной технологической схеме, газообразные продукты сгорания при этом служат для обогрева пиролизической установки.

Вторичная переработка (рециклинг)

Это наиболее экологически чистый способ утилизации. В начале 90-х гг. в государствах Западной Европы более 22 % всех полимерных отходов подвергалось рециклингу, и это количество постоянно возрастает. Наиболее промышленно развитые страны мира имеют государственные программы по вторичной переработке полимеров. Для поддержки рециклинга создается законодательная база, действуют разнообразные экономические механизмы. Предпринимаются шаги и для изменения психологии потребителя. Например, практически вся тара и упаковочные материалы, ряд промышленных товаров содержат маркировку, дающую сведения об их экологической безопасности (рис. 3).

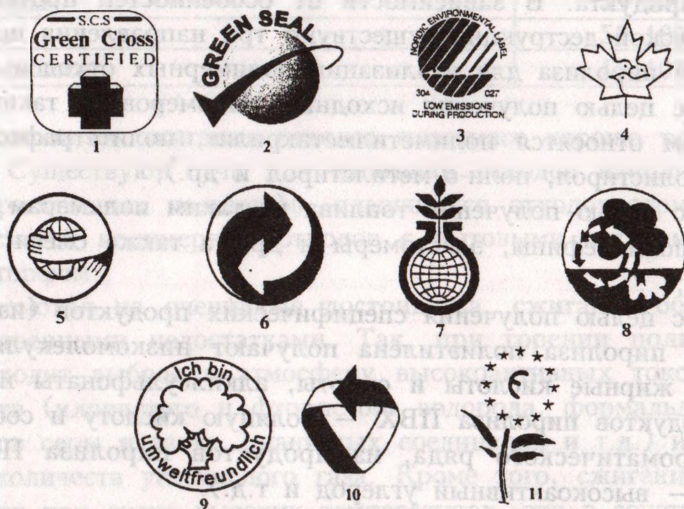


Рис. 3. Примеры экологической маркировки, принятой в разных странах мира:

1 — США ("Зеленый крест"); 2 — США ("Зеленая печать"); 3 — страны Скандинавии ("Зеленый лебедь"); 4 — Канада; 5 — Япония; 6 — Германия ("Зеленая точка"); 7 — Германия; 8 — Германия (упаковка, изготовленная с участием макулатуры); 9 — Германия; 10 — Европейское Сообщество (упаковка, пригодная к повторной переработке); 11 — экологический символ Европейского Сообщества

Суть рециклинга состоит в том, чтобы из полимерных отходов путем соответствующей переработки получить новый полимерный материал. Существуют две разновидности рециклинга: *материальный* и *химический*.

При **материальном рециклинге** происходит непосредственное превращение вторичного полимерного сырья в новый полимер. Материальному рециклингу можно подвергать практически все виды термопластичных полимеров. Данный процесс многостадийный. Он включает в себя следующие этапы: сбор, предварительную сортировку и транспортировку отходов к месту переработки; измельчение; удаление примесей и очистку от загрязнений; сепарацию; конфекционирование. При этом очередность стадий измельчения, очистки и сепарации определяется конкретной технологической схемой рециклинга.

1. *Сбор, предварительная сортировка и транспортировка.* На этой стадии происходит сбор полимерных отходов непосредственно у потребителя (промышленность, сельское хозяйство). Очень важно обеспечить выделение из общей смеси бытовых отходов в домашних хозяйствах. Прямо на месте сбора можно отсортировать основные типы полимеров. Для этого используется специальная маркировка, наносимая на изделия из пластмасс (рис. 4).



PET

Полиэтилен-
терефталат
Poly(ethylene
terephthalate)



HDPE

Полиэтилен
высокой плотности
High Density
Polyethylene



V

Поливинилхлорид
Polyvinyl Chloride



LDPE

Полиэтилен
низкой плотности
Low Density
Polyethylene



PP

Полипропилен
Polypropylene



PS

Полистирол
Polystyrene



OTHER

Другие типы полимеров
(в том числе и
многослойные композиции)

Рис. 4. Стандартные символы, наносимые на полимерные изделия для упрощения их идентификации и разделения

2. *Измельчение.* Различные технологические схемы требуют разных размеров частиц полимерных отходов (в большинстве случаев от 1,5 до 5 см). Эта стадия практически обязательная и чрезвычайно ответственная при переработке отходов. Часто от качества измельчения зависит возможность дальнейшей переработки отходов в изделия и область их применения. Дробление происходит в мельницах ножевого типа, часто используют мельницы других конструкций, основанные на ударном, ударно-режущем и ударно-импульсном действии. В случае эластичных полимеров (резины, каучуки) используется методика криогенного измельчения, заключающаяся в охлаждении материалов ниже температуры хрупкости с последующим разрушением.

3. *Очистка от загрязнений.* Лишь небольшая часть полимеров (как правило, это промышленные отходы) пригодны к дальнейшей переработке без предварительной очистки. Полимеры, извлеченные из бытовых отходов, сельскохозяйственная пленка для теплиц и т.д. требуют трудоемкой очистки. В некоторых случаях загрязнения могут вообще привести к невозможности переработки отходов данного типа. Так, непригодны к переработке традиционными способами полиолефины, содержащие в виде примесей клеящую ленту, смолы, смазку, краску, едкие и токсичные вещества.

Процесс очистки полимеров от загрязнений является многоступенчатым и включает в себя удаление крупных примесей на ситовом сепараторе с различным размером ячеек; удаление ферромагнитных загрязнений на магнитном сепараторе; извлечение тяжелых частиц примесей на пневматическом сепараторе; удаление остатков бумаги на баллистическом сепараторе. Для удаления растворимых загрязнений используется холодная или теплая (57–72 °С) вода. В ряде случаев в воду добавляют жиро- и маслоэмульгирующие вещества. Процесс проводят в ваннах, где с движущихся в потоке жидкости частичек загрязнения либо растворяются, либо вымываются. Иногда промывку проводят в несколько стадий. Такой способ применим для полимеров с плотностью, меньшей

плотности воды, т.е. для полиолефинов. Для полимеров, имеющих большую плотность, используют ванны с ситовым дном или центрифуги.

4. *Сепарация.* Основные препятствия, которые встают при переработке смесей термопластов, состоят в отсутствии или ограниченной термодинамической совместимости компонентов, различии температур плавления, термостабильности, реологических свойств и т.д. Таким образом, наилучшими эксплуатационными свойствами будут обладать материалы, полученные при переработке индивидуальных полимеров. Все это приводит к необходимости проводить идентификацию полимеров и разделение их на типы.

На сегодняшний день на практике используются различные способы сепарации. Однако, несмотря на их разнообразие, все методы можно разделить на три большие группы.

Первую группу составляют наиболее перспективные инструментальные методы (ИК-спектроскопия, масс-спектрометрия, рентген-флуоресцентный анализ, термооптический метод и др.). Данные методы обладают максимальной чувствительностью и экспрессностью.

При использовании для анализа полимеров ИК-спектроскопии технологическое оформление выглядит следующим образом. Частицы полимера движутся на ленте транспортера. Вблизи ленты располагается устройство бесконтактного спектрального анализа с использованием импульсного лазерного ИК-излучения. Отраженное излучение регистрируется детектором и анализируется в компьютерной системе с нейронными сетями. Спектр каждого вещества, в силу особенностей его молекулярной структуры, специфичен, что и делает разделение возможным. За спектрометром находится многоканальное приспособление, которое представляет собой систему сопел, расположенных последовательно по направлению движения ленты. Потоки сжатого воздуха из них направлены поперек движения ленты и переносят отсортированные фракции разных полимеров.

Аналогично происходит разделение смесей полимеров с помощью рентген-флуоресцентного анализа. Причем для рас-

ширения границ применения данного метода предполагается на стадии производства полимера вводить в его состав флуоресцирующий краситель в количестве 0,001—0,5 %, который служит своеобразной меткой. Такая метка позволит различать виды пластмасс при их детектировании рентгеновскими лучами, γ - или УФ-излучением.

Недостатками инструментальных методов являются высокая чувствительность к загрязнениям и большие затраты на оборудование.

Ко второй группе относятся механические методы разделения, основанные на разнице плотностей определяемых полимеров (флотация, пневматический классификатор, гидроциклон). Среди них наибольшее применение нашла флотация.

Существует несколько разновидностей флотационных методов. Одним из них является последовательная обработка отходов пластмасс в камерах, заполненных жидкостями различной плотности (от смеси воды и спирта с плотностью 0,91 г/см³ до соляного раствора с плотностью 1,20 г/см³). При этом довольно эффективно разделяются смеси ПП, ПЭВП, ПЭНП, ПС, ПВХ, т.е. основные крупнотоннажные полимеры.

Механические методы отличаются высокой производительностью и низкой стоимостью разделения. К их недостаткам следует отнести невозможность разделения полимеров с одинаковой или близкой плотностью, недостаточная селективность, необходимость очистки больших количеств воды.

К третьей группе относятся химические методы (селективное растворение, окисление и т.д.). Эти методы позволяют получать сырье очень высокой степени чистоты, но для проведения разделения требуются высокие энергозатраты, и, кроме того, в технологическом процессе используются токсичные вещества.

5. *Конфекционирование.* На этой стадии происходит переработка измельченных, очищенных от загрязнений, рассортированных на индивидуальные типы и полностью осушенных полимеров в готовые фасонные изделия или гранулят. Перед

переработкой в отходы полимеров добавляют при необходимости стабилизаторы, красители, наполнители, товарный продукт (первичный полимер). Для гомогенизации все компоненты, как правило, помещают в нагретый смеситель.

Для конфекционирования на практике чаще всего используется метод экструзии, при этом в конструкцию экструдера вносят определенные изменения по сравнению с переработкой первичных полимеров. Немного реже используется литье под давлением и прессование.

Сущность **химического рециклинга** состоит в разрушении макромолекул полимера под действием реагентов (вода, метанол, амины и др.) с образованием продуктов, которые можно использовать в качестве сырья для синтеза исходного полимера. Химический рециклинг может быть *полным*, когда в результате его образуются мономеры, и *неполным*, когда продуктом реакции является смесь олигомеров. Если материалу рециклингу можно подвергать практически все термопласты, то для химического рециклинга пригодны лишь полимеры, содержащие в основной цепи слабые связи (сложноэфирные или амидные группы и др.), т.е. полиэфиры, полиамиды, линейные полиуретаны.

Чаще всего химический рециклинг применяют для утилизации отходов полиэтилентерефталата (ПЭТФ). Важность вторичной переработки отходов ПЭТФ обусловлена постоянно расширяющейся сферой использования данного полимера. Только с 1982 по 1991 г. объем выпуска полиэтилентерефталата и его аналога полибутилтерефталата возрос на 353 % и составил только в Западной Европе 680 тыс. тонн в год.

Химический рециклинг ПЭТФ также является многостадийным процессом. Собранные отходы полиэтилентерефталата после измельчения, удаления загрязнений и примесей других полимеров отправляют на самую ответственную стадию процесса — метанолиз, который проводят при высокой температуре и давлении. При полном метанолизе ПЭТФ происходит его деполимеризация до диметилтерефталата и этиленгликоля, которые являются сырьем при синтезе данного полимера. Намного чаще процесс метанолиза прерывают на ста-

дии образования олигомерных продуктов, когда еще не произошло полное разрушение макромолекул полимера.

Полученный в результате химического рециклинга ПЭТФ имеет очень высокие эксплуатационные характеристики (превосходящие характеристики материала, подвергнутого вторичной переработке обычными методами) и может находиться в контакте с пищевыми продуктами. Несмотря на это, процесс метанолиза имеет существенные недостатки. Во-первых, необходима высокая степень очистки вторичного сырья. Во-вторых, метанолиз ПЭТФ протекает при высоком давлении и высокой температуре. В-третьих, недостаточно полно извлекается гликольный компонент. Все это приводит к тому, что стоимость метанолиза полимера приближается к стоимости производства первичного материала. Для разрешения этих проблем технологическая схема химического рециклинга постоянно совершенствуется.

Важным подходом к рециклингу является разработка методов вторичной переработки смесей полимеров без их разделения на индивидуальные типы. Например, одна из таких технологий основана на способности полиэтилена переходить в жидкое состояние при более низких температурах, чем остальные пластмассы. При этом последние просто вплавляются в полиэтиленовую матрицу. Однако материалы, полученные таким образом могут использоваться только для производства изделий, к эксплуатационным свойствам которых не предъявляются строгие требования (упаковка для мебели, материал для полов в нежилых помещениях и т.д.).

Проблема утилизации отходов пластмасс уже давно вышла за рамки чисто технологических вопросов. В последние десятилетия изменяется сам подход к полимерным отходам. Более рационально рассматривать их не как бесполезный мусор, а как новый тип сырья, обладающий специфическими свойствами. Безусловно, в области рециклинга полимеров уже достигнуты определенные успехи, но для полного решения проблемы предстоит сделать еще очень многое.

1. Быстров Г.А., Гальперин В.М., Титов Б.П. Обезвреживание и утилизация отходов в производстве пластмасс. — Л.: Химия. Ленингр. отд-ние, 1982. — 264 с.
2. Вторичное использование полимерных материалов / Под ред. Е.Г.Любешкиной. — М.: Химия, 1985. — 192 с.
3. Шефтель В.О., Катаева С.Е. Миграция вредных химических веществ из полимерных материалов. — М.: Химия, 1978. — 168 с.
4. Утилизация твердых отходов / Под ред. Д.Вилсона. — М.: Стройиздат, 1985. — Т. 1. — 336 с.
5. Коноваленко Н.Г., Мясников Г.Д. // Пласт. массы. — 1982. — № 6. — С. 52.
6. Гальперин В.М., Бугоркова В.С., Новожилов А.П., Цыганкова С.А. // Пласт. массы. — 1990. — № 10. — С. 87.
7. Любешкина Е.Г., Гуль В.Е., Яновский Ю.Г., Красникова Н.П. // Пласт. массы. — 1986. — № 4. — С.20.
8. DeMarini D.M., Lemieux P.M., Ryan J.V., Brooks L.R., Williams R.W. // Environ. Sci. & Technol. — 1995. — Vol. 28. — № 1. — P. 136.
9. Bledzki A., Goracy K. // Polimery. — 1992. — № 6. — S. 241.
10. Bledzki A., Goracy K. // Polimery. — 1993. — № 9. — S. 140.
11. Bledzki A., Goracy K. // Polimery. — 1994. — № 9. — S. 507.
12. Parasiewicz W., Kosinska K. // Polimery. — 1994. — № 3. — S. 136.
13. Dobkowski Z. // Polimery. — 1977. — № 7. — S. 230.
14. Zakowska A. // Opakowanie. — 1992. — № 4. — S. 7.
15. Balbi M.P. // Przemysł. chem. — 1991. — № 70-2. — S. 63.
16. Europ. Plast. News. — 1993. — № 10. — P. 10.
17. Europ. Plast. News. — 1993. — № 4. — P. 10.