

## ХИМИЧЕСКИЙ РЕЦИКЛИНГ ПОЛИЭТИЛЕНТЕРЕФТАЛАТА

**Т.Н. Теряева, д.т.н., доцент, С.С. Лядов**

Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачёва  
г. Кемерово

Полиэтилентерефталат (ПЭТ или ПЭТФ) относится к классу сложных полиэфиров, представляет собой линейный термопластичный полимер, получаемый поликонденсацией терефталевой кислоты (или диметилтерефталата) и этиленгликоля.

В настоящее время ПЭТ широко применяется в качестве тары для напитков благодаря химической стойкости, высоким значениям прочности, ударной вязкости, а также отличным потребительским свойствам: полимер является прозрачным, легко окрашивается, бутылка, соответственно, выглядит привлекательной. В отличие от стеклянной тары ПЭТ-бутылки обладают малой массой (например, бутылка объёмом 0,5 л из ПЭТ весит примерно 28 г, стеклянная той же ёмкости – около 350 г), не подвергаются разрушению при транспортировке (бою тары).

Одноразовая упаковка из ПЭТ неизбежно ставит вопрос об утилизации образующихся отходов. В России ежегодно образуется 300-400 тыс. тонн отходов ПЭТ, при этом стоимость затрат на их утилизацию достаточно высока и обусловлена, преимущественно, затратами на сбор, сортировку, очистку и отмывку и измельчение отходов. В связи с этим значительное количество отходов просто подвергается депонированию (захоронению), что приводит к росту территорий свалок, отчуждению земельных угодий. С учётом высокой стабильности свойств и химической инертности полимеров эти процессы могут продолжаться десятки лет.

Поэтому одним из перспективных путей изъятия ПЭТ-отходов из полимерных полигонов для захоронения является их химический рециклинг, позволяющий получить из вторичного ПЭТ ценное химическое сырьё, как для производства ПЭТ, так и других продуктов.

ПЭТ синтезируется по реакции поликонденсации, являющейся обратимой, и, соответственно, может быть превращён обратно в мономеры или олигомеры посредством проведения реакции в противоположном направлении. Среди предлагаемых методов переработки отходов ПЭТ, химический рециклинг наиболее оптимален, так как он соответствует принципу «экологической устойчивости процесса», в соответствии с которым удовлетворение потребности нынешнего поколения осуществляется с сохранением возможности будущих поколений также удовлетворять свои потребности. Это связано с тем, что в результате химического рециклинга получается сырьё (мономеры), из

которых изначально производится полимер. Таким образом, в идеале нет необходимости в дополнительных ресурсах для производства ПЭТ.

Развиваемые в настоящее время направления химического рециклинга ПЭТ предполагают:

- химическую модификацию вторичного ПЭТ посредством введения при переработке небольших количеств (от 0,5 до 3 %) удлинителей цепи (различных модификаторов) [1]. Эти модификаторы являются бифункциональными органическими соединениями и содержат по две расположенные в плоскости бензольного кольца активные группы, что способствует внедрению модификаторов в структуру полимеров при переработке. Увеличение молекулярной массы вторичного ПЭТ обусловлено тем, что в условиях переработки (экструзией, литьем под давлением) при термическом воздействии происходит раскрытие активного цикла модификатора с последующим взаимодействием его с концевыми гидроксильными группам полимера. Введение в состав вторичного ПЭТ специально подобранных удлинителей цепи приводит также к повышению температуры начала термоокислительной деструкции.

- получение фосфорсодержащие огнезащитных средств на основе азотсодержащих продуктов взаимодействия ПЭТ с моноэтаноламинем и диэтаноламинем, обладающих высокой огнезащитной эффективностью для древесины (при расходе 120–170 г/м<sup>2</sup> потеря массы древесины составляет менее 10 %) [2]. В результате реакции ПЭТ с моноэтаноламинем образуются диамида терефталевой кислоты, а реакция ПЭТ с диэтаноламинем протекает с образованием 1,4-бис (2-гидроксиэтил) пиперазина и терефталевой кислоты.

- использование продуктов химической деструкции полиэтилен-терефталата в качестве комплексного реагента, сочетающего свойства собирателя и пенообразователя, для извлечения органической массы угля [3]. Для этого химическая деструкция полиэтилен-терефталата осуществляется с помощью гликоля при температуре 190 °С в присутствии катализатора — ацетата цинка. Использование комплексного реагента обеспечивает более высокие показатели флотации по сравнению с традиционно применяемыми реагентами термогазойлем и КОБС.

- химический рециклинг ПЭТ, направленный на получение исходных мономеров: терефталевой кислоты и этиленгликоля под действием концентрированных растворов щелочей [4]. Способ предполагает проведение основного гидролиза ПЭТ-отходов под совместным действием межфазных катализаторов и микроволнового излучения при низкой температуре и атмосферном давлении. В работе представлены результаты исследования гетерогенного гетерофазного основного гидролиза ПЭТ зависимости от типа щелочного реагента, технологических параметров процесса, типа катализатора, растворителя и внешнего воздействия.

Анализ литературы по современному состоянию химического рециклинга ПЭТ-отходов позволил выбрать следующую технологию переработки, отвечающую потребностям Кузбасса:

- Сбор отходов ПЭТ

- Измельчение, очистка
- Термическая обработка
- Щелочной гидролиз при атмосферном давлении, температуре 80-90°С в присутствии катализаторов и ускорителей реакции
- Разделение твёрдой и жидкой фаз продуктов гидролиза
- Обработка твёрдой фазы кислотой
- Центрифугирование и сушка терефталевой кислоты.

К преимуществам данного проекта, разработанного в Кузбасском государственном техническом университете имени Т.Ф. Горбачёва (г. Кемерово), относится возможность проведения гидролиза при относительно низких температурах, что снижает затраты на переработку отходов, и использование в качестве щелочного реагента отходов химических предприятий Кузбасса.

В настоящее время выполнены лабораторные эксперименты, позволившие определить исходные реагенты, необходимые для химического рециклинга ПЭТ. Получены опытные партии терефталевой кислоты и этиленгликоля (степень превращения полимера практически составляет 90-95%), проводятся работы по совершенствованию технологии.

Создание пилотной установки гидролиза ПЭТ-отходов планируется в 2015-2016 гг.

К экономическим выгодам данного процесса можно отнести получение терефталевой кислоты и этиленгликоля, стоимость которых примерно в полтора раза меньше, чем полученных по традиционным технологиям.

### Список литературы

1. Беданов, А. Ю. Полиэтилентерефталат: новые направления рециклинга / А.Ю. Беданов и др. // Пластические массы. 2009, № 6. С. 18–21.
2. Балакин, В.М. Азотфосфорсодержащие антипирены на основе продуктов деструкции полиэтилентерефталата этаноламинами / В.М. Балакин и др. // Известия ЮФУ. Технические науки. № 8 (145), 2013, с. 41- 49.
3. Бодьян, Л.А. Продукт химической деструкции полиэтилентерефталата как комплексный реагент для извлечения органической массы угля / Л.А. Бодьян и др. // Современные проблемы науки и образования № 2, 2014. (электронный журнал)
4. Иванов, А.М. Влияние природы щёлочи и её содержание в исходной реакционной смеси на макрокинетические характеристики глубокого гидролиза ПЭТФ в водных и спиртовых растворах / А.М. Иванов. А.С. Харичкин // Пластические массы, 2008, № 6, с. 9-11.