

МАНАПОВА Е. Э., студент гр. 2Д21 (НИ ТПУ)
Научный руководитель ТРОЯН А. А., к.х.н., доцент (НИ ТПУ)
г. Томск

ТЕХНОЛОГИЯ ПЕРЕРАБОТКИ ОТХОДОВ ПЭТ

Масштабы производства пластика в мире стремительно растут, увеличиваясь на 5-6% ежегодно. Особенно быстро развивается рынок полиэтилентерефталата (ПЭТ), который пользуется популярностью благодаря своей прочности и универсальности. Однако с ростом спроса на ПЭТ возрастает, конечно, и количество пластиковых отходов. Ежегодно в мире выбрасывается до триллиона пластиковых бутылок, и из этих выбросов около 3,5 миллионов тонн производит Россия. Из этого количества вывозится на свалки или сжигается почти 90% пластиковых отходов, а перерабатывается лишь около 12% в год.

Микропластик, крошечные частицы полимеров, которые обнаруживаются даже в самых отдалённых уголках планеты, становится все более серьёзной проблемой, вызывающей беспокойство у экспертов. Ежегодно в Мировой океан попадает до 8 миллионов тонн пластика, в том числе ПЭТ; значительная часть этого пластика представлена микроскопическими частицами, плавающими на поверхности воды или оседающими на дне.

На сегодняшний день в России вторичная переработка является практически единственным способом борьбы с загрязнением пластиком. Без налаженной системы переработки пластиковых отходов экологические проблемы страны не будут решены, причём другие методы утилизации могут даже усугубить ситуацию.

Эффективная переработка пластика является ключевым элементом в создании экономики замкнутого цикла и реализации стратегий устойчивого развития. Ожидается, что принятая реформа механизма РОП в ближайшем будущем станет катализатором для развития циркулярной модели переработки и утилизации пластиковых отходов.

Переработка пластика, в том числе с использованием химических методов, позволяет получить дополнительные продукты, которые могут быть применены в других отраслях промышленности. Использование вторичных продуктов позволяет значительно сократить потребление первичного невозобновляемого сырья, такого как нефть и газ, а также снизить потребление электроэнергии и выбросы углекислого газа в атмосферу. Таким образом, вторичная переработка пластика, несомненно, вносит свой вклад в борьбу с глобальным потеплением.

Процесс переработки вторичного полиэтилентерефталата (ВПЭТ) основан на трёх ключевых подходах: химическом, термическом и механическом. Эти методы играют важную роль в преобразовании вторичного материала в ценные ресурсы [1]. Выбор метода переработки ВПЭТ зависит от многих факторов, включая качество исходного материала, требования к конечному продукту, экономические расходы и экологические аспекты.

В частности, химический метод заключается в том, что ВПЭТ подвергается химической обработке, которая разлагает его на исходные мономеры. Дальнейшая работа с этими мономерами позволяет создавать первичный полиэтилентерефталат, что обеспечивает высокую степень переработки отхода, гарантирует получение высококачественных продуктов и позволяет использовать смешанные пластики, а также не способствует выделению микропластика в окружающую среду, в отличие от других методов [2]. К недостаткам такого способа можно отнести то, что химический метод – дорогой и многостадийный процесс, который требует использования дополнительных химических реагентов и оборудования.

Целью данного исследования является изучение потенциала химической переработки вторичного полиэтилентерефталата, композитных материалов на его основе, а также загрязненных материалов, которые не подлежат иной форме переработки.

В исследовании была использована технология, сочетающая гликолиз и щелочной гидролиз, которая применяется для эффективной переработки отходов ПЭТ и композитных материалов. Этот метод позволяет извлекать ценные компоненты, такие как терефталевая кислота (ТФК), этиленгликоль и дигликолевый эфир терефталевой кислоты (ДГЭТ). Кроме того, данная технология предусматривает проведение вторичных реакций, в результате которых образуются эфиры терефталевой кислоты; последние являются продуктами с высокой добавочной стоимостью.

Вышеуказанная технология обладает преимуществом, заключающимся в том, что гликолиз, первая стадия процесса, приводит к охрупчиванию ПЭТ-флексов. Это, в свою очередь, способствует увеличению степени деградации ПЭТ на второй стадии процесса.

Исследование проводилось с использованием измельчённых флексов ВПЭТ размером 1–3 мм. Для осуществления процесса гликолиза (рис. 1) к суспензии полиэтилентерефталата и этиленгликоля в соотношении 1:5 добавили 0,5% ацетата цинка, который служил катализатором процесса. Полученную смесь поместили в реактор, снабжённый мешалкой и обратным холодильником, при 200°C на срок 10 часов.

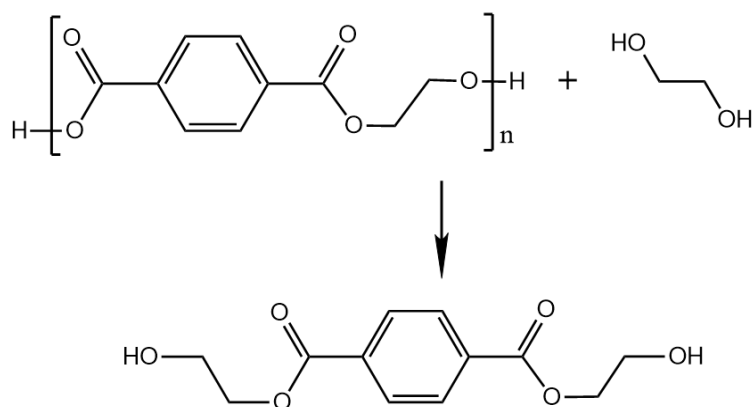


Рисунок 1. Упрощённая схема реакции гликолиза

Был проведён анализ дигликолевого эфира терефталевой кислоты с использованием ИК-спектроскопии. В ИК-спектрах ДГЭТ были зафиксированы характерные полосы поглощения, свидетельствующие о наличии следующих функциональных групп $=C-H$, $-C=O$, $-H_2C-O-C-$ ароматического кольца. Температура плавления полученного ДГЭТ составила $108^\circ C$ ($T_{пл}$ лит. = $109^\circ C$). Сравнение полученных данных с ИК-спектром эталонного образца ДГЭТ высокой чистоты подтвердило идентичность полученного продукта. Выход ДГЭТ составил 15% от массы ВПЭТ, загруженного на первой стадии синтеза.

После первой стадии переработки оставшиеся ПЭТ-флекссы поместили в реактор, оборудованный обратным холодильником и мешалкой. Для гидролиза (рисунок 2) использовали раствор гидроксида натрия концентрацией 10%. Гидролиз проводили в течение 24 часов при температуре $100^\circ C$. В результате реакции образовывались растворимые в воде терефталат натрия и этиленгликоль. По окончании реакции непрореагировавший ВПЭТ отделяли от реакционной смеси фильтрованием. Затем реакционный раствор подкисляли концентрированной серной кислотой, что приводило к выделению терефталевой кислоты в виде мелкодисперсного осадка. Осадок отделяли вакуумным фильтрованием, промывали водой и сушили при температуре $105-110^\circ C$ до постоянной массы. Этиленгликоль можно было извлечь из фильтрата с помощью вакуумной дистилляции, однако в рамках данной работы это не было основной целью.

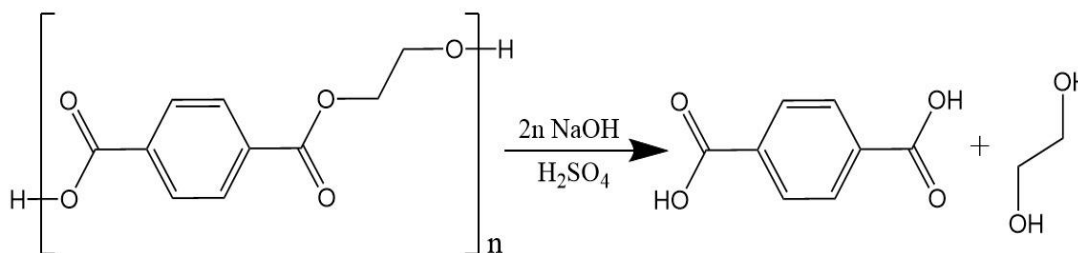


Рисунок 2. Схема реакции щелочного гидролиза

Идентичность полученной терефталевой кислоты (ТФК) была подтверждена методом ИК-спектроскопии. В полученном спектре наблюдаются характерные полосы поглощения, соответствующие: валентным колебаниям связи $=C-H$ (3004 см^{-1}); валентным колебаниям связи $-C=O$ (1682 см^{-1}); колебаниям ароматического кольца ($1502-1588 \text{ см}^{-1}$). Выход ТФК составил 95% от ВПЭТ, загруженного на стадии гидролиза.

В ходе исследования химической переработки полиэтилентерефталата (ПЭТ) удалось добиться увеличения эффективности степени деградации. Использование комбинированного метода позволило достичь 90% деградации ПЭТ, а также увеличить выход терефталевой кислоты с 74% (при отдельном гидролизе) до 95%. Создание замкнутого цикла за счёт повторного использования на первой стадии этиленгликоля, образующегося на второй стадии процесса, позволяет сократить затраты на переработку полиэтилентерефталата.

В ходе будущих исследований планируется разработать технологию химической переработки композиционных материалов на основе ПЭТ с целью получения ТФК и ДГЭТ, синтеза эфиров терефталевой кислоты, а также выделения и повторного использования наполнителя.

Список литературы:

1. Масленников А.Ю., ИП «ВторРесурс» // www.waste.ru/modules/section/item.php?itemid=324, дата обращения 19.10.2024 г.
2. Valgili M.H. // World Applied Sciences Journal, 2010.– Vol.8.– P.839–846.