

УДК 504.064.45

**АНАЛИЗ И РЕШЕНИЕ ПРОБЛЕМЫ УТИЛИЗАЦИИ
И ВТОРИЧНОЙ ПЕРЕРАБОТКИ
ПОЛИЭТИЛЕНТЕРЕФТАЛАТ (ПЭТ) ОТХОДОВ
В ГОРОДЕ ТОМСКЕ**

Л.В. Супрун, С.В. Романенко, Т.С. Цыганкова

Томский политехнический университет
E-mail: Larisa_max87@mail.ru

Представлено обобщение современных взглядов на методы и способы вторичной переработки ПЭТ отходов. Проблема утилизации и вторичной переработки полимерных материалов является одной из наиболее актуальных, поскольку рассматриваемые вопросы их возврата в производство и улучшения экологической обстановки стоят особо остро. Для развития переработки ПЭТ отходов (бутылок) в г. Томске предложены мероприятия по сбору и сортировке указанного вида отходов.

Ключевые слова:

Утилизация, вторичная переработка, ПЭТ отходы, пластмассы, пиролиз.

Одним из наиболее негативных результатов антропогенной деятельности является образование отходов, среди которых отходы пластмасс занимают особое место в силу своих уникальных свойств.

Широкое использование пластиковых изделий для бытовых и промышленных нужд объясняется их лёгкостью, экономичностью и набором ценнейших служебных свойств. Пластики являются серьёзными конкурентами металлу, стеклу, керамике. Например, при изготовлении стеклянных бутылей требуется на 21 % больше энергии, чем для изготовления пластмассовых. Но наряду с этим возникает проблема с утилизацией отходов, которых существует свыше 400 различных видов, появляющихся в результате использования продукции полимерной промышленности [1].

Однако в настоящее время проблема переработки отходов полимерных материалов обретает актуальное значение не только с позиций охраны окружающей среды, но и в связи с тем, что в условиях дефицита полимерного сырья пластмассовые отходы становятся мощным сырьевым и энергетическим ресурсом.

Вместе с тем решения вопросов, связанных с охраной окружающей среды, требуют значительных капитальных вложений. Стоимость обработки и уничтожения отходов пластмасс примерно в 8 раз превышает расходы на обработку большинства промышленных и почти в три раза – на уничтожение бытовых отходов. Использование отходов полимеров позволяет существенно экономить первичное сырьё (прежде всего нефть) и электроэнергию [2].

Проблем, связанных с утилизацией полимерных отходов, достаточно много. Они имеют свою специфику, но их нельзя считать неразрешимыми. Однако решение невозможно без организации сбора, сортировки и первичной обработки амортизованных материалов и изделий; без разработки системы цен на вторичное сырьё, стимулирующих предприятия к их переработке; без создания эффективных способов переработки вторичного полимерного сырья, а также методов его модификации с целью повышения качества; без создания специального оборудования

Супрун Лариса Владимировна, магистрант кафедры экологии и безопасности жизнедеятельности Института неразрушающего контроля ТПУ.

E-mail:

Larisa_max87@mail.ru

Область научных интересов: переработка ПЭТ отходов.

Романенко Сергей Владимирович, д-р хим. наук, профессор кафедры экологии и безопасности жизнедеятельности Института неразрушающего контроля ТПУ.

E-mail:

Larisa_max87@mail.ru

Область научных интересов: химический анализ объектов окружающей среды.

Цыганкова Татьяна Сергеевна, канд. техн. наук, доцент кафедры экологии и безопасности жизнедеятельности Института неразрушающего контроля ТПУ.

E-mail:

Larisa_max87@mail.ru:

Область научных интересов: переработка твердых отходов химических производств.

для его переработки; без разработки номенклатуры изделий, выпускаемых из вторичного полимерного сырья.

В России сегодня образуется ежегодно от 4 до 5 млрд т отходов. Сюда входят все отходы – как от промышленного производства, так и от населения.

ПЭТ (полиэтилентерефталат) представляет собой сложный термопластичный полиэфир терефталиевой кислоты и этиленгликоля. Это прочный, жёсткий и лёгкий материал. Физические свойства ПЭТ делают его идеальным для использования в различных областях: изготовлении упаковки (бутылок, коррексов и т. д.), плёнок, волокон, конструктивных элементов. Небольшой город, в пределах 100 000 населения, ежемесячно выбрасывает около 20 тонн пластиковых ПЭТ бутылок. И с каждым годом объем отходов из ПЭТ бутылки растет на 20 %. И если бы не вторичная переработка, страну ждала бы экологическая катастрофа. После каждого городского праздника вывозятся на свалку тонны пластиковых ПЭТ бутылок.

В развитых странах мира сбор и сортировка бытовых отходов поставлена на качественно другой уровень, в связи с тем, что отходы пластиковых бутылок наиболее ценное и имеющее огромный спрос вторичное сырье.

Большую часть отходов ПЭТ составляют изделия, выбывшие из употребления. К ним относят товары широкого потребления, упаковка, емкости для жидкостей, композиционные материалы и т. п. В России около 28 тыс. т бутылок и других емкостей используется для розлива других пищевых продуктов (растительного масла, соусов и пр.).

Наибольшие трудности связаны с переработкой и использованием смешанных отходов. Причина этого в несовместимости термопластов, входящих в состав бытового мусора, что требует их поэтапного выделения. Кроме того, сбор изношенных изделий из полимеров у населения является чрезвычайно сложным мероприятием с организационной точки зрения и пока ещё у нас в стране не налажен.

Основное количество отходов уничтожают – захоронением в почву или сжиганием. Однако уничтожение отходов экономически невыгодно и технически сложно. Кроме того, захоронение, затопление и сжигание полимерных отходов ведёт к загрязнению окружающей среды, к сокращению земельных угодий (организация свалок) и т. д.

Основной путь использования отходов пластмасс – это их утилизация, т. е. повторное использование. Показано, что капитальные и эксплуатационные затраты по основным способам утилизации отходов не превышают, а в ряде случаев даже ниже затрат на их уничтожение. Положительной стороной утилизации является также и то, что получается дополнительное количество полезных продуктов для различных отраслей народного хозяйства и не происходит повторного загрязнения окружающей среды. По этим причинам утилизация является не только экономически целесообразным, но и экологически предпочтительным решением проблемы использования пластмассовых отходов [2].

На сегодняшний день стоимость затрат на утилизацию отходов ПЭТ остается достаточно высокой. Основные затраты приходятся на сбор и заготовку отходов потребления. Расширение масштабов переработки пластмассового вторичного сырья сдерживается рядом факторов. Основные процессы переработки требуют отделения пластмасс от других отходов, а также сортировки их по видам и очистки. Это ведет к росту издержек производства, которые могут достигать 40...50 % общих затрат на получение вторичной продукции. Легче перерабатываются промышленные отходы пластмасс. Сложнее перерабатывать пластмассы, которые попадают в мусор. Из них сравнительно легко удается выделить полиэтиленовую пленку, пластмассовые бутылки, ящики для бутылок.

Очень распространенным способом утилизации отходов потребления пластмасс является сжигание с получением тепловой энергии. По различным оценкам, на сегодня сжигается до 40 % полимерных отходов. Теплотворная способность 2 т пластиковых отходов упаковки эквивалентна теплотворной способности 1 т нефти (теплотворная способность ПЭТ – 22700 кДж/кг). В некоторых странах работают небольшие ТЭЦ по сжиганию бытовых отходов, в состав которых входит до 50 % отходов полимерной упаковки [3].

Пиролиз – термическое разложение органических веществ в отсутствие кислорода с целью получения промышленных продуктов, используемых для дальнейшей переработки. При низких температурах (до 600 °С) образуются в основном жидкие продукты, а выше 600 °С –

газообразные. Пиролиз позволяет переработать смешанные и загрязненные отходы. По данным британских ученых, пиролиз ПЭТ при 550 °С дает следующие продукты: масло (23,1 %), воск (15,9 %), кокс (12,8 %), водород (0,06 %), этилен (1,27 %), пропилен (1,6%), диоксид углерода (24,3 %) и монооксид углерода (21,5 %). Эта смесь может быть использована как топливо или как сырье для нефтехимической промышленности. Затраты на пиролиз не превышают затраты на сжигание отходов, но в настоящее время пиролиз убыточен.

Химическая переработка пластиковых отходов в основном направлена на использование ПЭТ отходов потребления. Данный вид переработки является экономичным и безопасным для окружающей среды способом – деполимеризация нейтральным гидролизом до терефталевой кислоты и этиленгликоля, которые могут быть направлены на повторный синтез ПЭТ. Другой распространенный способ химической переработки отходов ПЭТ – получение сравнительно недорогой ненасыщенной полиэфирной смолы, используемой в других областях химической промышленности [4].

Около трети вторичного ПЭТ используется для изготовления волокна для ковров, синтетических нитей, одежды и геотекстиля. Остальные направления применения вторичного ПЭТ включают производство листа и пленки, бандажной ленты и, собственно, опять бутылок.

Волокна из вторичного ПЭТ находят самое различное применение. Геотекстильное полотно, возможно, станет изготавливаться полностью из вторичного ПЭТ при условии обеспечения стабильного качества и гарантированных объемов поставок. Другим способом применения волокон может стать изготовление обивки для автомобилей и ковровых покрытий для жилых и офисных помещений. Вторичный ПЭТ также используется для изготовления волокон меньшего диаметра. Из них получают искусственную шерсть, используемую для трикотажных рубашек, свитеров и шарфов.

Лист и лента – «классические» продукты из вторичного ПЭТ. Лист производится для изготовления пластмассовых коробок (для фруктов и яиц). Бандажная лента из вторичного ПЭТ предназначена, главным образом, для промышленных целей. Она может с успехом конкурировать с лентами из полипропилена и стали.

Волокнистый материал, полученный из вторичного ПЭТ, можно использовать в качестве сорбента на очистных сооружениях АЗС, в качестве утеплителя или наполнителя. Нетканый материал из вторичного ПЭТ можно получить методом раздува расплава в нити, которые под действием высокоскоростного потока воздуха приобретают толщину 15 мкм.

Отчасти вторичный ПЭТ используется для производства новых преформ. Существует мнение, что такие преформы обладают невысоким качеством и не позволяют выдувать большие емкости; и кроме того, при использовании таких заготовок достаточно высок процент брака раздува. Тем не менее, преформы для технических жидкостей производят из вторичного ПЭТ. Известно, что из образующихся полимерных отходов утилизации подвергается только незначительная часть. Причиной этого, в основном, являются трудности, связанные с предварительной подготовкой отходов [5].

В Томском политехническом университете существуют разработки по утилизации полимерных отходов в волокнистые материалы, которые могут найти применение для очистки воды и воздуха от загрязнителей природного и антропогенного происхождения. Профессором В.И. Косинцевым, С.В. Бордуновым и др. разработана установка для получения волокнистых материалов, в том числе нетканых материалов и ленты. Предлагаемая технология переработки отходов термопластов позволяет, без предварительной тонкой очистки исходного сырья, получить эффективные и дешевые волокнистые материалы (сорбенты) для очистки воды в частности от нефти и нефтепродуктов [6], воздуха на предприятиях, в том числе и атомной промышленности [7].

Кроме этого, при обработке волокнистых материалов, полученных из отходов термопластов, различными добавками, в том числе антибактериальными, решается проблема очистки воды и воздуха в медицине и на промышленных предприятиях [8].

В г. Томске на сегодняшний день реализован способ переработки ПЭТ отходов потребления – получение синтетического моторного топлива, способного перерабатывать около 500 т отходов в год (при 8-ми часовом рабочем дне). При этом в г. Томске по самым скромным подсчетам образуется около 1,5 тыс. т в год отходов ПЭТ-бутылок. Таким образом, необходимо разрабатывать и внедрять другие методы переработки подобных отходов.

Наиболее перспективным для г. Томска способом переработки ПЭТ отходов может стать вторичная переработка отходов полимерных материалов механическим рециклингом, так как этот способ переработки не требует дорогого специального оборудования и может быть реализован в любом месте накопления отходов.

В связи с этим, в первую очередь, необходимо решать проблемы сбора ПЭТ отходов, его можно осуществлять с помощью установки отдельных контейнеров и с привлечением общественных молодежных организаций в г. Томске.

Традиционное оборудование при рециклинге отходов – это шнековые и дисково-шнековые машины, агломераторы. При этом отходы подвергаются стадиям предварительной подготовки, таким как сбор, классификация, дробление, отмывка, сушка, измельчение. Использование всех этих стадий делает технологию утилизации достаточно энергоёмкой и в конечном итоге приводит к повышению себестоимости получаемого вторматериала. Вместе с тем при использовании агломератора получается материал различный по гранулометрическому составу и насыпной плотности, что негативно сказывается при дальнейшей переработке в материальных цилиндрах перерабатывающих машин [9].

В качестве специального оборудования используют валково-шнековый агрегат, наиболее устойчивый к переработке загрязнённых отходов. Использование данного вида оборудования позволяет исключить дробление, измельчение и сушку материала, что в конечном итоге позволит снизить трудовые и энергозатраты. По сравнению с дисково-червячными экструдерами валковые машины обладают следующими достоинствами: высокая производительность на единицу капиталовложений и качество конечного продукта, простота осуществления контроля качества изделий, свободный доступ к рабочим органам машины, незначительные затраты времени на изменение толщины получаемых изделий без замены калибрующего устройства, отсутствие застойных зон, что значительно уменьшает деструкцию полимера.

Особенность процесса переработки бутылок в чистые хлопья пластика заключается в том, что бутылки должны собираться уже в отсортированном виде, не смешиваясь с другими пластиками и загрязняющими объектами. Оптимальным объектом для переработки является спрессованная кипа из бесцветных ПЭТ-бутылок (окрашенные бутылки должны быть отсортированы и переработаны отдельно). Пластиковые мешки с ПЭТ-бутылками навалом опорожняют в загрузочный бункер. Далее бутылки поступают в бункер-питатель. Питатель кип используется одновременно и как бункер хранения с системой равномерной подачи, и как разбиватель кип. Транспортёр, расположенный на полу бункера, продвигает кипу к трём вращающимся шнекам, разбивающим агломераты на отдельные бутылки и подающим их на разгрузочный конвейер. Здесь необходимо разделять бутылки из окрашенного и неокрашенного ПЭТ, а также удалять посторонние объекты, такие как резина, стекло, бумага, металл, другие типы пластиков [9].

В однороторной дробилке, оборудованной гидравлическим толкателем, ПЭТ-бутылки измельчаются, образуя крупные фракции размером до 40 мм. Измельчённый материал проходит через воздушный вертикальный классификатор. Тяжёлые частицы (ПЭТ) падают против воздушного потока на экран вибросепаратора. Лёгкие частицы (этикетки, плёнка, пыль и т. д.) уносятся вверх потоком воздуха и собираются в специальном пылесборнике под циклоном. На виброскрине сепаратора частицы разделяются на две фракции: крупные частицы ПЭТ «перетекают» через экран, а мелкие частицы (в основном тяжёлые фракции загрязнений) проходят вовнутрь экрана и собираются в ёмкости под сепаратором. Флотационный танк используется для сепарации материалов с разными относительными плотностями. Частицы ПЭТ опускаются на наклонное дно, и шнек непрерывно выгружает ПЭТ на водоотделительный экран. Экран служит одновременно как для отделения воды, нагнетаемой вместе с ПЭТ из флотатора, так и для отделения тонких фракций загрязнений.

Предварительно раздроблённый материал эффективно отмывается в наклонном двухступенчатом вращающемся барабане с перфорированными стенками. Сушка хлопьев происходит во вращающемся барабане, изготовленном из перфорированного листа. Материал перевёртывается в потоках горячего воздуха. Воздух нагревается электрическими нагревателями. Далее хлопья попадают во вторую дробилку. На этой стадии крупные частицы ПЭТ измельчаются в хлопья, размер которых составляет приблизительно 10 мм. Необходимо отметить, что идея переработки состоит в том, что материал не измельчается в хлопья товарного продукта на пер-

вой стадии измельчения. Такое ведение процесса позволяет избежать потерь материала в системе, достичь оптимального отделения этикеток, улучшить моющий эффект и уменьшить износ ножей во второй дробилке, так как стекло, песок и прочие абразивные материалы удаляются до стадии вторичного измельчения.

Конечный процесс аналогичен процессу первичной воздушной классификации. Остатки этикеток и пыль ПЭТ удаляются с воздушным потоком. Конечный продукт – чистые ПЭТ-хлопья засыпаются в бочки. Таким образом, можно решить серьёзный вопрос утилизации вторичной пластиковой тары с получением продукта. Перспективным способом вторичной переработки ПЭТ является производство бутылок из бутылок.

Главными стадиями классического процесса рециклинга для реализации схемы «бутылка к бутылке» являются: сбор и сортировка вторичного сырья; пакетирование вторичного сырья; измельчение и промывка; выделение дроблёнки; экструзия с получением гранул; обработка гранул в шнековом аппарате с целью увеличения вязкости продукта и обеспечения стерилизации продукта для возможности прямого контакта с пищевыми продуктами. Но для реализации этого процесса необходимы серьёзные капитальные вложения, так как невозможно проведение данного процесса на стандартном оборудовании.

Питатель пресс-пакетов 1 (рисунок) ёмкостью 20 м³ вмещает примерно два пресс-пакета полимера. По мере продвижения материала в питателе три вращающихся шнека разделяют спрессованные бутылки и подают их на конвейер предварительной сортировки – 2. Конвейер предварительной сортировки – 2 изготовлен из резиновой ленты шириной 760 мм, имеет длину приблизительно 4,5 м и высоту 750 мм. Приводится в движение электродвигателем-вариатором мощностью 37 кВт.

Система предварительного измельчения ПЭТ состоит из наклонного конвейера – 3, шредера с воздуходувкой – 4 и первичной системой отсасывания с пылесборником. Бутылки измельчаются в частицы размером около 2,5 см, воздушный классификатор удаляет этикетки, затем материал подаётся в флотационную ёмкость – 5.

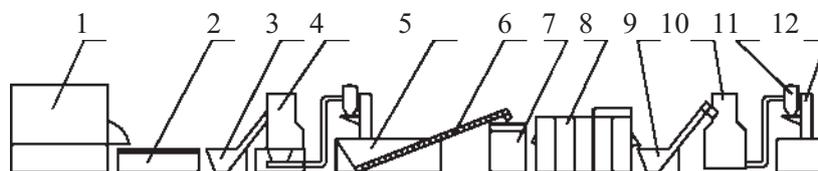


Рисунок. Линия по переработке использованных ПЭТ-бутылок: (1 – питатель пресс-пакетов; 2 – конвейер предварительной сортировки; 3 – наклонный конвейер; 4 – шредер; 5 – флотационная ёмкость; 6 – специальный конвейер; 7 – система сепарации; 8 – система отмывки и сушки; 9 – загрузочный конвейер; 10 – гранулятор; 11 – наполнительная станция; 12 – циклон)

Флотационная ёмкость – 5 предназначена для удаления полипропиленовых крышечек и других включений из материалов плотностью ниже 1 г/см³. При загрузке материала в ёмкость плавучие частицы перемещаются в одну сторону с помощью крыльчатки. ПЭТ погружается на дно и выгружается из ёмкости с другой стороны с помощью специального конвейера – 6.

Система сепарации – 7 предназначена для удаления посторонних частиц, образующихся при предварительном измельчении ПЭТ-бутылок. Представляет собой виброэкранный аппарат. Посторонние частицы сепарируются от ПЭТ, который подаётся на систему отмывки и сушки – 8.

Система отмывки и сушки – 8 представляет собой многоступенчатую систему вращающихся барабанов. Первая ступень предназначена для отмывки, вторая – для промывки, третья – для удаления воды, а четвёртая и пятая – для сушки. Моющее устройство снабжено соплами распылителя для удаления пищевых остатков и прочих загрязнений. По мере продвижения материала через барабан загрязнения отмываются и удаляются вместе с водой. Система водоснабжения представляет собой замкнутый цикл: использованная вода нагревается и очищается при помощи седиментации и фильтрования.

Во втором барабане материал промывается свежей водой. В третьем барабане из материала удаляется вода, поступающая в дальнейшем в водяной танк отмывки.

Четвертый и пятый барабаны представляют собой ротационные сушилки. Воздух нагревается четырьмя нагревателями мощностью 30 кВт и циркулирует по системе. Температура воздуха контролируется и регулируется на главной контрольной панели. Защитные элементы предотвращают перегрев при сбое в системе управления.

Загрузочный конвейер – 9 представляет собой шнек диаметром 200 мм, который подаёт полимер в гранулятор – 10. Устройство смонтировано на полу. Низкоскоростной мотор-редуктор мощностью 55 кВт обеспечивает необходимый вращающий момент.

Гранулятор – 10 перерабатывает материал в товарный продукт заданного размера. Гранулятор снабжён электродвигателем мощностью 22 кВт. Наполнительная станция – 11 с вторичным отсасывающим устройством и циклоном – 12 служат для удаления пыли. Содержание влаги в конечном продукте менее 2 %, производительность линии колеблется в зависимости от насыпной плотности и влажности перерабатываемого материала[9].

Перспективным может оказаться метод использования ПЭТ отходов в качестве наполнителя строительных материалов (например, при производстве черепицы, элементов детских площадок и т. д.).

Для решения проблемы ПЭТ отходов (в частности бутылок) планируется проведение акции по их сбору в Томском политехническом университете с привлечением студентов и преподавателей.

Таким образом, различные сферы применения продукции, произведенной из вторичного ПЭТ, предоставляют широкие возможности для переработчиков.

Основной проблемой обращения с полимерными отходами можно назвать слабую организацию заготовки отходов потребления ПЭТ.

В связи с этим рекомендуется организовывать отдельный сбор ПЭТ-бутылок от населения, предприятий торговли, а также в местах массового скопления мусора (стадионы, пляжи, городские рынки и улицы).

Особое внимание следует уделить развитию предприятий по производству готовой продукции с использованием вторичного ПЭТ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Пономарёва В.Т., Лихачёва Н.Н., Ткачик З.А. Использование пластмассовых отходов за рубежом // Пластические массы. – 2002. – № 5. – С. 44–48.
2. Вторичные ресурсы: проблемы, перспективы, технология, экономика : учеб. пособие / Лобачев Г.К., Желтобрюхов В.Ф. и др. – Волгоград: Изд. ВолГУ, 1999. – 180 с.
3. Масленников А. Вторая жизнь // PakkoGraff. – 2004. – № 8. URL: <http://www.pakkograff.ru/reader/articles/materials/polymers/1069.php> (дата обращения: 10.03.2012).
4. Одесс В.И. Вторичные ресурсы: хозяйственный механизм использования. – М.: Экономика, 1988. – 160 с.
5. Переработка отходов ПЭТ // GalPET official site. 2007. URL: <http://www.galpet.com.ua/pererabotka-othodov-pet#a4> (дата обращения: 12.03.2012).
6. Косинцев В.И. и др. Волокнистые материалы для очистки воды от нефтепродуктов // Энергетика: экология, надежность, безопасность: Материалы докладов XV Всероссийской научно-техн. конф. – Томск, 9–11 декабря 2009. – Томск: Издательство ТПУ, 2009.
7. Бордунов В.В. и др. Перспективные полимерные волокнистые материалы для очистки воздуха // Известия Томского политехнического университета. – 2002. – Т. 305. – Вып. 3: Проблемы и перспективы технологий атомной промышленности: тематический выпуск. – С. 222–226.
8. Косинцев В.И. и др. Антимикробные волокнистые материалы // Энергетика: экология, надежность, безопасность: Материалы докладов XV Всероссийской научно-техн. конф. – Томск, 9–11 декабря 2009. – Томск: Изд-во ТПУ, 2009.
9. Клинков А.С. и др. Утилизация и вторичная переработка тары и упаковки из полимерных материалов. – Тамбов: Изд. ТГТУ, 2010. – 100 с.

Поступила 10.07.2012 г.