

**Синичук Алена Евгеньевна**

Амурский государственный университет,  
г. Благовещенск, Россия

*E-mail:* [alenasinichuk1999@gmail.com](mailto:alenasinichuk1999@gmail.com)

**Sinichuk Alyona Evgenievna**

Amur State University,  
Blagoveshchensk, Russia

*E-mail:* [alenasinichuk1999@gmail.com](mailto:alenasinichuk1999@gmail.com)

**Родина Татьяна Андреевна**

Амурский государственный университет,  
г. Благовещенск, Россия

*E-mail:* [t-rodina@yandex.ru](mailto:t-rodina@yandex.ru)

**Rodina Tatiana Andreevna**

Amur State University,  
Blagoveshchensk, Russia

*E-mail:* [t-rodina@yandex.ru](mailto:t-rodina@yandex.ru)

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВТОРИЧНЫХ ГРАНУЛ ПОЛИЭТИЛЕНА В ПРОИЗВОДСТВЕ ПОЛИМЕРНЫХ ИЗДЕЛИЙ

### USE OF SECONDARY POLYETHYLENE GRANULES IN THE PRODUCTION OF POLYMERIC PRODUCTS

*Аннотация.* Рассмотрены возможности и проблемы использования отходов полиэтилена для получения вторичного полиэтилена и его переработки в изделия. Применение вторичного сырья в производстве полимерных материалов с высокими экологическими характеристиками – один из путей достижения целей устойчивого развития. Дана характеристика стадий технологического процесса от сбора и сортировки сырья до получения вторичных гранул.

*Abstract.* The possibilities and problems of using polyethylene waste to obtain secondary polyethylene and its processing into products are considered. The use of secondary raw materials in the production of polymeric materials with high environmental properties is one of the ways to achieve sustainable development goals. The characteristics of the stages of the technological process from the collection and sorting of raw materials to the production of secondary granules are given.

*Ключевые слова:* полиэтилен, полимеры, устойчивое развитие, рециклинг, отходы.

*Key words:* polyethylene, polymers, sustainable development, recycling, waste.

**DOI: 10.22250/jasu.93.23**

Концепция устойчивого развития возникла на фоне признания мировым сообществом проблем развития общества и науки, ограниченности природных ресурсов и усложнения экологической обстановки. Впервые формулировка концепции была озвучена в 1987 г. в докладе Комиссии ООН по окружающей среде и развитию «Наше общее будущее»: устойчивое развитие, отмечалось в докладе, – это такое развитие, при котором текущая деятельность и удовлетворение потребностей современного общества не наносят вреда последующим поколениям, а находят баланс между ними. Сейчас под «устойчивым развитием» понимают экономический рост, не наносящий вреда окружающей среде,

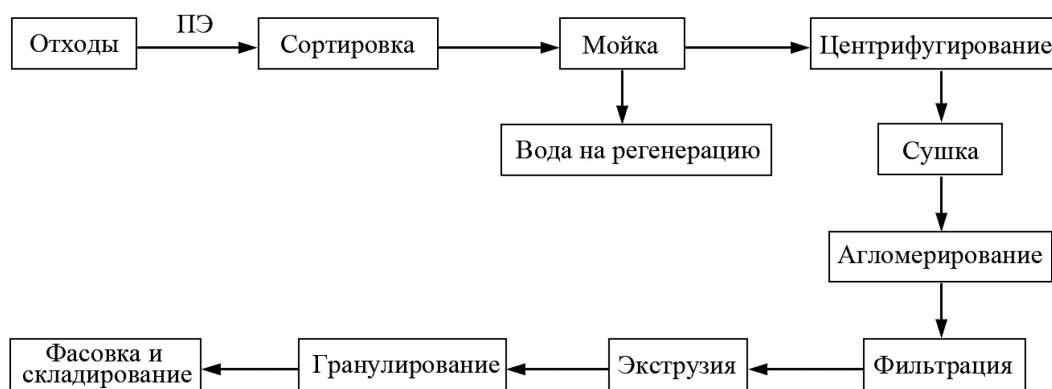
способствующий разрешению социальных проблем, находя баланс между экономическим, экологическим и социальным развитием. Среди 17 целей устойчивого развития, сформулированных ООН, есть направленная на обеспечение перехода к рациональным моделям потребления и производства [1, 2]. Способами ее достижения являются эффективное использование природных ресурсов, увеличение жизненного цикла товаров и услуг, минимизация отрицательного воздействия на окружающую среду путем сокращения выбросов и отходов производства, создание товаров с высокими экологическими характеристиками. Переработку отходов полимеров (в том числе полиэтилена), их вторичное использование в производстве полимерных материалов можно рассматривать как один из шагов в направлении устойчивого развития.

Современная полимерная промышленность развивается очень высокими темпами. Ее характерный признак – возрастающая востребованность продукции для постоянного расширения процессов производства деталей для машин, труб, строительных и упаковочных материалов и др. [3]. Одним из самых востребованных полимеров является полиэтилен, ежегодное потребление которого в России составляет около 1,7 млн. тонн. Повсеместное использование полиэтилена обусловлено его свойствами – долговечностью, прочностью, легкостью, химической инертностью, нетоксичностью. Такая популярность породила экологическую проблему – накопление полимера на мусорных свалках [4].

Наиболее оптимальным и экономически выгодным решением проблемы является утилизации изделий из полиэтилена – вторичное использование. Один из эффективных способов утилизации полимера – переработка полимерных отходов в гранулы. Получаемый материал гораздо дешевле, чем первичное сырье, а процесс рециклинга экологически безопасен. Кроме того, вторичная переработка создает возможности для ресурсосбережения. Вторичная переработка ПЭ регулируется нормативными документами, в частности ГОСТ Р 54533-2011, ГОСТ 33573-2015 [5, 6].

Технология вторичной переработки отходов полимерных материалов включает в себя несколько последовательных стадий: сортировка (грубая) и идентификация (для смешанных отходов), измельчение, разделение смешанных отходов, мойка, сушка [7]. После этого материал подвергают грануляции. Блок-схема технологического процесса по подготовке и переработке ПЭ отходов представлена на рис. 1.

Рис. 1. Блок-схема технологического процесса по подготовке и переработке отходов полиэтилена.



Сырье, используемое для вторичной переработки, должно быть правильно подготовлено. Процесс утилизации полимеров начинается с организации системы сбора, доставки и сортировки отходов. Правильно организованная сортировка позволяет извлечь полезные компоненты и обеспечивает значительное уменьшение количества образующихся отходов, снизить их негативное влияние на окружающую среду. Для сбора отходов организуют пункты приема отработанного полиэтилена или устанавливают сортировочные баки на придомовых территориях [8]. В нашей стране подобная практика распространена мало и ее масштабная организация проблематична (неподготовленность и низкая информированность населения, сложные бытовые условия, отсутствие технического обеспечения

для отдельного сбора и переработки и пр.). В то же время сортировка и переработка вторсырья является актуальной задачей. Раздельный сбор отходов существенно оптимизирует технологию их переработки уже на уровне сортировки [8].

На стадии предварительной сортировки осуществляется грубое разделение отходов на основании различных признаков: цвет, форма, размеры, вид пластмассы (по возможности) [9]. Грубая сортировка обычно производится в ручном режиме, с использованием столов или ленточных конвейеров. В этом случае сортировка сочетается с одновременным удалением из отходов посторонних предметов и включений.

Для разделения смешанных (бытовых) отходов термопластов по видам применяют различные способы, в основе которых лежат физические, химические и физико-химические процессы: флотационные, разделение в тяжелых средах, аэросепарация, электросепарация, химические методы и методы глубокого охлаждения [10]. Методы флотации и разделения в тяжелых средах наиболее эффективны и экономически целесообразны. Флотационный метод получил наибольшее распространение, поскольку с его помощью можно разделять смеси таких промышленных термопластов как полиэтилен (ПЭ), полипропилен (ПП), полистирол (ПС) и поливинилхлорид (ПВХ). Для наилучшего разделения пластмасс используют добавки поверхностно-активных веществ (ПАВ), которые избирательно изменяют их гидрофильные свойства. В ряде случаев эффективным способом разделения полимеров может оказаться их растворение в общем растворителе или в смеси растворителей. Далее полученный раствор обрабатывают горячим паром и выделяют полимеры с высокой степенью чистоты.

После сортировки отходы подвергаются измельчению. Это очень важный этап подготовки отходов к переработке, так как от степени измельчения зависят такие характеристики получаемого продукта как объемная плотность, сыпучесть, размеры частиц. Для измельчения полимеров используют ножевые дробилки мокрого или сухого измельчения, с получением рыхлой массы с размером частиц 2-9 мм [10]. Измельчительные устройства различаются конструкцией, числом и длиной ножей, частотой вращения ротора. Их производительность зависит от вида отходов, – например, измельчение отходов пенопластов, имеющих большой объем, характеризуется самой низкой производительностью. В то же время при переработке отходов пленок, волокон, выдувных изделий достигается более высокая производительность. Характерная особенность использования всех ножевых дробилок – повышенный шум, что связано со спецификой процесса измельчения вторичных полимерных материалов. Для снижения уровня шума измельчитель вместе с вентилятором и двигателем заключают в шумозащитный кожух, который может быть разъемным и иметь специальные окна с заслонками для загрузки измельчаемого материала.

Перспективным способом измельчения является криогенный, который проводится в среде жидкого азота, сухого льда или другого хладагента и позволяет получать порошки из отходов со степенью дисперсности 0,5-2 мм [10]. Применение порошковой технологии обладает рядом преимуществ: сокращение расхода энергии и затрат рабочего времени на текущее обслуживание смесителей, уменьшение деструкции макромолекул, уменьшение продолжительности смешивания, лучшее распределение компонентов в смеси и др.

Регулирование степени измельчения позволяет механизировать процесс переработки, повысить качество материала за счет усреднения его технологических характеристик, сократить продолжительность других технологических операций, упростить конструкцию перерабатывающего оборудования.

Далее измельченные отходы подают в моечную машину, где в несколько приемов производится их отмывка от загрязнений специальными моющими смесями. После этого происходит отжим полимерной массы в центрифуге до влажности 10-15% и ее окончательное обезвоживание в сушильной установке до остаточного содержания влаги 0,2%, а затем – в экструдер и гранулятор [9].

Использование современных технологий позволяет производить из отходов качественный вторичный полиэтилен, который по своим физико-механическим свойствам и чистоте приближается к первичному продукту и характеризуется устойчивостью к действию различных химических агентов и низких температур, отсутствием запаха, химической инертностью, отсутствием абсорбции паров и влаги, высокой насыпной плотностью [4].

Таким образом, вторичная переработка полиэтилена – это экономически выгодный и полезный для экологического благополучия бизнес. Он позволяет использовать для производства имеющиеся ресурсы, что значительно экономит запасы полезных ископаемых на планете и удешевляет стоимость получаемой полимерной продукции [11]. Конечная продукция, произведенная с использованием вторичного полиэтилена, востребована в промышленности, сельском хозяйстве, строительстве. При этом в полномасштабной утилизации полиэтилена и полимерных отходов все еще существует множество проблем. Решение этих проблем возможно только при правильной организации сбора, сортировки и предварительной обработки отходов, разработки ценовой системы вторичного сырья, создания технологических линий для полноценной и качественной переработки.

---

1. Цели в области устойчивого развития / официальный сайт ООН. URL: <https://www.un.org/sustainable-development/ru/sustainable-development-goals/> (дата обращения: 08.04.2021).

2. Бобылева, С.Н. Доклад о человеческом развитии в Российской Федерации за 2016 год / С.Н. Бобылева, Л.М. Григорьева. – М.: Аналитический центр при Правительстве Российской Федерации, 2016. – 298 с.

3. Волкова, А.В. Рынок крупнотоннажных полимеров. – М.: Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики», 2020. – 74 с.

4. Трейман, М.Г. Полиэтилен как отход: химические свойства, состав, способы переработки и утилизации // Молодой ученый. – 2010. – Т. 1, № 1-2 (13). – С. 144-146.

5. ГОСТ Р 54533-2011. Ресурсосбережение. Обращение с отходами. Руководящие принципы и методы утилизации полимерных отходов. – Введ. 2011–11–28. – М.: Изд-во стандартов, 2019. – 13 с.

6. ГОСТ 33573-2015. Ресурсосбережение. Упаковка. Критерии выбора методов и процессов переработки использованной упаковки в качестве вторичных материальных ресурсов с учетом материальных потоков. – Введ. 2016–08–01. – М.: Изд-во стандартов, 2019. – 27 с.

7. Залещенок, А.С. Анализ эффективности логистической функции производства полиэтилена из вторичного сырья / А.С. Залещенок, А.Н. Кабанов, А.Ю. Белозерский // Успехи в химии и химической технологии. – 2014. – Т. 28, № 10. – С. 90-93.

8. Соколов, Л.И. Сбор и переработка твердых коммунальных отходов / Л.И. Соколов, С.М. Кибардина, С. Фламме. – Вологда: Инфра-Инженерия, 2019. – 174 с.

9. Клинков, А.С. Утилизация и вторичная переработка полимерных материалов. Учебное пособие. – Тамбов: Изд-во Тамбовского гос. техн. ун-та, 2005. – 80 с.

10. Гоголь, Э.В. и др. Анализ существующих способов утилизации и переработки отходов полимеров // Вестник Казанского технолог. ун-та. – 2013. – Т. 16, № 10. – С. 163-168.

11. Рециклинг полимеров в России / под ред. А. Костина – М.: Информационно-аналитический центр РУПЕС, 2017. – 68 с.