

6. СТО 00153815-001-2021. Конденсат газовый стабильный. [https://rsp-neft.ru/filearhiv/pub/1691566840_PasportGaz.kondensat%20stabilny\(YATEK,Respublika%20Saha,%20Op.%20Kisil-Syr\).pdf](https://rsp-neft.ru/filearhiv/pub/1691566840_PasportGaz.kondensat%20stabilny(YATEK,Respublika%20Saha,%20Op.%20Kisil-Syr).pdf). Дата обращения: 22.10.2024.

7. ОСТ 57.58-79. Конденсаты газовые. Технологическая классификация. Срок введения в действие: 01.01.1980.

8. ГОСТ 1756. Нефтепродукты. Определение давления насыщенных паров. – М.: Стандартиформ, 2006.

9. ГОСТ 2477-2014. Нефть и нефтепродукты. Метод определения содержания воды. – М.: Стандартиформ, 2018.

10. ГОСТ 6370-2018. Нефть, нефтепродукты и присадки. Метод определения механических примесей. – М.: Стандартиформ, 2019.

11. ГОСТ 21534-2021. Нефть. Методы определения содержания хлористых солей. –

М.: Российский институт стандартизации, 2021.

12. ГОСТ Р 51947-2002. Нефть и нефтепродукты. Определение серы методом энергодисперсионной рентгенофлуоресцентной спектроскопии. – М.: Госстандарт России, 01.07.2003.

13. ГОСТ Р 50802-2021. Нефть. Метод определения сероводорода, метил- и этилмеркаптанов. – М.: Российский институт стандартизации, 2021.

14. ГОСТ 3900-2022. Нефть и нефтепродукты. Методы определения плотности. – М.: Российский институт стандартизации, 2023.

15. ГОСТ Р 51069-97. Нефть и нефтепродукты. Метод определения плотности, относительной плотности и плотности в градусах API ареометром. – М.: Стандартиформ, 2008.

УДК 678 : 66.012

Гененко Наталья Ивановна,

магистрант, Ангарский государственный технический университет,
e-mail: natashamiss@mail.ru

Зайцев Игорь Владимирович,

магистрант, Ангарский государственный технический университет,
e-mail: pt888@mail.ru

Черниговская Марина Алексеевна,

к.т.н., доцент, Ангарский государственный технический университет,
e-mail: pt888@mail.ru

РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ В ПРОЦЕССАХ ЭКСТРУЗИИ ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Genenko N.I., Zaitsev I.V., Chernigovskaya M.A.

RESOURCE SAVING IN POLYMER MATERIALS EXTRUSION PROCESSES

Аннотация. В статье рассмотрены основные источники и причины появления отходов в процессах экструзии полимерных материалов. Предложены варианты минимизации количества отходов.

Ключевые слова: полимерные материалы, экструзия, вторичные материалы.

Abstract. The main sources and causes of waste formation in polymer extrusion processes were examined. Methods for minimizing the amount of waste were proposed.

Keywords: polymer materials, extrusion, secondary raw materials.

Полимерная промышленность в настоящее время является одной из наиболее динамично развивающихся отраслей. Это возможно благодаря большому разнообразию получаемых полимерных материалов и широким возможностям для их применения. Однако столь активное использование полимерных материалов влечет за собой появление большого количества полимерных отхо-

дов. По данным [1] в настоящее время количество промышленных и бытовых полимерных отходов составляет более 75 % от объема производимых полимерных материалов.

Проблема полимерных отходов заключается в их синтетической природе, а следовательно – в низкой разлагаемости в условиях полигонов для захоронения твердых отходов. В связи с этим большую актуальность

приобретает вопрос снижения количества полимерных отходов, причем не только с точки зрения экологической безопасности, но и с точки зрения ресурсосбережения, что также имеет большое значение для экономики производства.

Одним из основных видов полимеров является полиэтилен. Из него производят изделия различного вида (пленки, листы, волокна, пеноматериалы) и назначения (хозяйственно-бытовое, промышленное, строительное).

На долю полиэтилена приходится более трети всех производимых полимерных отходов [2]. Они включают в себя отходы, образующиеся в ходе потребления полиэтилена (например, тара или упаковка), побочные продукты, образующиеся в процессе получения полиэтилена (например, низкомолекулярный полиэтилен) и отходы производства. Часть отходов полиэтилена образуется непосредственно в процессе его переработки.

Ввиду термопластичности полиэтилена наиболее распространенным методом его переработки является экструзия. Таким способом из полиэтилена получают гранулы и готовые изделия заданного профиля, например, пленки и трубы различного назначения.

Технология процесса экструзии включает следующие основные стадии [3]:

1. Подготовка сырьевой композиции, включающая подбор компонентов в соответствии с их характеристиками, просушку (при необходимости), корректировку рецептуры, а также загрузку компонентов в приемный бункер;
2. Нагрев сырьевой смеси, ее расплавление и гомогенизация для получения однородного расплава в нагревательной зоне экструдера;
3. Экструзия – продавливание гомогенизированной смеси через формующую головку экструдера с целью придания полимерной массе профиля определенной формы;
4. Охлаждение получаемой заготовки и придание ей конечной формы, которое может осуществляться разными способами в зависимости от вида и размеров получаемого изделия;
5. Фасовка или упаковка (например, намотка или нарезка).

При переработке полиэтилена экструзией также производится большое количество отходов. Основной объем отходов приходится на:

- Пусковые партии, образующиеся при запуске технологической линии, когда установка еще не вышла на режим, и имеющие низкие эксплуатационные характеристики;
- Некондиционные продукты, возникающие из-за нарушений технологического режима в процессе эксплуатации экструзионной линии;
- Излишки продукции после фасовки готовой товарной продукции.

Целью данной работы являлся анализ технологических причин появления полимерных отходов в процессе экструзии, а также поиск способов снижения их количества.

В рамках исследования нами было изучено производство полимерных пленок технического назначения и гладких полимерных труб для водоснабжения. В обоих случаях сырьем являлся полиэтилен различных марок.

В качестве основных эксплуатационных характеристик для рассматриваемых типов изделий были выбраны прочность при разрыве и относительное удлинение при разрыве. Определение данных параметров осуществлялось по стандартным методикам [4-6].

Анализ сырьевой базы установок по переработке полиэтилена методом экструзии показал, что применяемые для производства марки полиэтилена могут существенно различаться по своим свойствам. Например, температура текучести для полиэтилена высокого давления (ПЭВД) составляет 102-105 °С, а для полиэтилена низкого давления – 125-137 °С [7]. Следовательно, для получения однородного расплава ПЭНД потребуются большее время гомогенизации и повышенные энергетические затраты.

Кроме того, свойства полиэтилена одной и той же марки тоже могут различаться в зависимости от партии, а также от завода-изготовителя. Это связано с различием технологий производства и условий технологического режима, при которых данный полиэтилен был получен.

Наличие подобных различий в свойствах сырья приводит к необходимости корректировки условий процесса в ходе вывода установки на режим, что увеличивает количество получаемых пусковых партий.

Решением данной проблемы может стать:

- использование сертифицированного сырья;
- внедрение входного контроля поступающего сырья на предмет уточнения его показателей качества;
- планирование состава сырьевой композиции в зависимости от свойств конечного изделия.

Так, известно, что прочность при разрыве для ПЭНД существенно выше, чем для ПЭВД. А некоторые марки линейного полиэтилена высокого давления (ЛПЭВД) по своей прочности могут быть лучше ПЭНД (таблица 1). Соответственно, при необходимости получения изделия с повышенными прочностными характеристиками необходимо использовать в качестве добавок марки сырья с более высокой прочностью.

Таблица 1 – Прочностные свойства различных марок полиэтилена

Наименование материала	Прочность при разрыве, МПа, на менее	Относительное удлинение при разрыве, %, не менее
ПЭВД 10803-020 [8]	12,2	550
ПЭВД 15803-020 [8]	11,3	600
ЛПЭВД LL09200FE [9]	44	850
ЛПЭВД Exceed XP7052ML [10]	70	630
ПЭНД 273-81 [11]	24,5	700
ПЭНД ПЭ2НТ11-9 [12]	21	500
ПЭНД HD03580 SB [13]	30	550

Также при анализе работы технологических линий для выбранных производств было выявлено, что еще одной причиной появления отходов является производство изделий различного сортамента на одном и том же технологическом оборудовании. В частности, одна технологическая линия по extrusion труб может производить несколько типоразмеров труб с использованием различных видов сырья. Соответственно, возникает необходимость частой остановки оборудования с целью замены экструзионных головок и очистки от остатков полимерной композиции с предыдущей загрузки. После этого производится повторный запуск линии и вывод ее на режим, вследствие чего образуются пусковые и остаточные партии полимера.

Решением данной проблемы является включение в состав производства нескольких технологических линий, работа которых будет отлажена под переработку определенных видов сырьевых композиций, близких по своему составу и свойствам. Кроме того, важным условием является грамотное планирование производства с тем, чтобы производить необходимое количество продукции за минимальное число технологических операций, снижая таким образом количество пусковых партий, образующихся в начале каждой технологической операции.

Еще одной сложностью, способствующей

появлению повышенного количества отходов, может стать отсутствие полностью автоматического контроля основных технологических параметров процесса. К таким параметрам относятся [3]:

1. Скорость загрузки и расход реагентов;
2. Скорость вращения шнека экструдера;
3. Давление и температура в разных зонах экструдера;
4. Требуемая мощность нагрева и используемый теплоноситель;
5. Режим охлаждения (скорость и температура) экструдированного изделия;
6. Размеры экструдированного изделия.

Это связано, в первую очередь, со свойствами измеряемой среды: высокой вязкостью расплава полимера и низкой теплопроводностью, а также с потребностью изменения фазового состояния полимера.

В качестве рекомендаций в данном случае можно предложить повышение уровня автоматизации производства путем внедрения более современных автоматизированных систем управления производством. Важной особенностью таких систем при внедрении их на установки по переработке полимеров методом extrusion должна быть возможность отслеживания и регулирования параметров не только при стационарном ведении процесса, но в особенности – в период пуска и остановки технологической линии. Это позволит минимизировать количество

отходов, образующихся на данных стадиях.

Однако, как показывает мировая практика, даже на самых современных производствах не удается избежать некоторого количества отходов, которые так или иначе будут образовываться во время пуска или остановки производства. В этом случае одним из способов минимизации количества отходов является их повторное вовлечение в процесс переработки – рециклинг. Основной сложностью, связанной с введением полимерных отходов – рециркулята – в процесс является возможность ухудшения свойств конечной полимерной композиции.

Ухудшение эксплуатационных характеристик вторичного полимера связано с тем, что при воздействии высоких температур в молекуле полимера могут протекать процессы термоокислительной деструкции с нарушением структуры полимерной цепи и появлением активных центров, способствующих дальнейшему развитию данного процесса.

Решением данной проблемы может стать:

1. Введение вторичного сырья в полимерную композицию в небольших количествах, чтобы снизить степень негативного влияния на свойства конечного изделия;
2. Использование первичного поли-

мерного сырья более высокого качества по сравнению с требованиями к конечной полимерной композиции;

3. Использование в качестве добавок различных термостабилизаторов, которые позволят снизить скорость реакций термоокислительной деструкции в процессе повторной переработки полимерных отходов;

4. Использование в качестве добавки других марок сырья с более высокими эксплуатационными характеристиками. Это позволит компенсировать ухудшение свойств за счет введения рециркулята, а также даст возможность при необходимости скорректировать характеристики конечной полимерной композиции.

Так, введение в композицию пусковых партий полимерных отходов в качестве рециркулята снижает прочностные свойства полимерной композиции (таблица 2). Однако при этом конечные композиции по данным показателям соответствуют ГОСТ.

При введении в полимерную композицию наряду с рециркулятом других марок полимера, которые отличаются более высокими прочностными характеристиками, можно существенно улучшить прочностные свойства конечной композиции (таблица 3).

Таблица 2 – Зависимость свойств полимерных пленок от содержания в них вторичного сырья

Содержание вторичного сырья, % масс.	Норма [14]	0	20	25	40	100
Прочность при разрыве, МПа	≥14,7	16,16	16,03	15,88	15,63	15,25
Относительное удлинение при разрыве, %	≥350	988,90	769,79	754,72	746,25	669,00

Таблица 3 – Зависимость свойств полимерных композиций от их состава

Состав полимерной композиции, % масс.	ПВД 10803-020	100	80	60	50
	ПНД HD 03580 SB	-	-	20	10
	ЛПВД LL09200FE	-	-	-	20
	Вторичный ПВД (рециркулят)	-	20	20	20
Прочность при разрыве, МПа	≥14,7*	16,03	17,25	19,40	
Относительное удлинение при разрыве, %	≥350*	769,79	811,34	974,00	

* норма по [14]

Таким образом, для снижения количества полимерных отходов, образующихся в ходе переработки полимеров методом экструзии, необходимо реализовать комплекс мероприятий, включающий повышение уровня автоматизации процесса, мониторинг качества используемого сырья, а также во-

влечение в процесс переработки вторичного полимерного сырья, образующегося на стадиях пуска и остановки технологических линий. Это позволит повысить эффективность технологических установок по переработке полимерных материалов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Волкова, А. А. Рынок утилизации отходов // НИУ ВШЭ [сайт]. [1993–2024]. <https://dcenter.hse.ru/data/2018/07/11/1151608260/%D0%A0%D1%8B%D0%BD%D0%BE%D0%BA%20%D1%83%D1%82%D0%B8%D0%BB%D0%B8%D0%B7%D0%B0%D1%86%D0%B8%D0%B8%20%D0%BE%D1%82%D1%85%D0%BE%D0%B4%D0%BE%D0%B2%202018.pdf> (дата обращения – май 2024 г.).
2. ИТС НДТ 15-2021. Информационно-технический справочник по наилучшим доступным технологиям. Утилизация и обезвреживание отходов (кроме термических способов). Утвержден приказом Росстандарта от 22.12.2021 г. № 2964. – Москва, 2021. – 238 с.
3. Раувендааль, К. Основы экструзии / К. Раувендааль. Пер. 2-го англ. изд. – СПб: ЦОП «Профессия», 2011. – 280 с.
4. ГОСТ Р 53652.1. Метод определения свойств при растяжении. Часть 1. Общие требования. – Москва: Стандартинформ, 2010. – 11 с.
5. ГОСТ Р 53652.3. Метод определения свойств при растяжении. Часть 3. Трубы из полиолефинов. – Москва: Стандартинформ, 2010. – 16 с.
6. ГОСТ 14236-81. Пленки полимерные. Метод испытания на растяжение. – Москва: Государственный комитет СССР по стандартам, 1989. – 9 с.
7. Полиэтилен: свойства, области применения и структура потребления [Электронный ресурс] // Пластинфо.ру [сайт]. [2002-2024]. URL: <https://plastinfo.ru/information/articles/42/> (дата обращения – сентябрь 2024 г.).
8. ГОСТ 16337-2022. Полиэтилен высокого давления. Технические условия. – М.: Российский институт стандартизации, 2024. – 57 с.
9. LL09200 FE. Линейный полиэтилен низкой плотности. Технический паспорт. – Январь 2019. URL: <https://hemix.ru/wp-content/uploads/2020/10/ll09200-fe-c4-1.pdf> (дата обращения – май 2024 г.).
10. Exceed 1018 Series. Product Datasheet. – Январь 2018. URL: https://hemix.ru/wp-content/uploads/2020/08/exhon_1018-mk_-tds.pdf (дата обращения – май 2024 г.).
11. ГОСТ 16338-85. Полиэтилен низкого давления. Технические условия. – М.: Стандартинформ, 2005. – 35 с.
12. ТУ 2243-174-00203335-2007. Композиция полиэтилена высокой плотности ПЭ 100. Технические условия. URL: <https://poli-etileny.ru/wp-content/uploads/2014/08/%D0%9F%D0%AD2%D0%9D%D0%A211-9.pdf> (дата обращения – сентябрь 2024 г.).
13. HD03580 SB. Полиэтилен высокой плотности. Технический паспорт. – Сентябрь 2023. URL: <https://hemix.ru/wp-content/uploads/2021/09/hd03580-sb-3.pdf> (дата обращения – май 2024 г.).
14. ГОСТ 25951-83. Пленка полиэтиленовая термоусадочная. Технические условия. – М.: Стандартинформ, 2007. – 15 с.