

в накопителях, расположенных в конечных пунктах маршрута. В них выполняется подзарядка инфобусов и оттуда они выдвигаются на маршрут [12].

#### Список использованных источников

1. Ракицкий, А.В. Робототехническая транспортная система / А.В. Ракицкий, В.Н. Шуть // Информационные технологии и системы 2013 (ИТС 2013) : материалы междунар. науч. конф. – Минск : БГУИР, 2013. – С. 82–83.
2. Шуть, В.Н. Информационная транспортная система массовой конвейерной перевозки пассажиров / В.Н. Шуть, Л. Персия, Г. Джустиани // Искусственный интеллект. – 2015. – № 1–2. – С. 213–221.
3. Глущенко, Т.А. Инфобус – новый тип интеллектуального транспорта для внутригородских пассажирских перевозок / Т.А. Глущенко, В.В. Касьяник, Е.Е. Пролиско, В.Н. Шуть // Вестник Брестского университета. Физика, математика, информатика. – 2016. – № 5 (101). – С. 67.
4. Пролиско, Е.Е. Высокопроизводительный транспорт городской перевозки пассажиров на базе мобильных роботов / Е.Е. Пролиско, В.Н. Шуть // Електроніка та інформаційні технології : зб. наук. праць. – 2017. – Вип. 7. – С. 105–116.
5. Шуть, В.Н. Альтернативный метро транспорт на базе мобильных роботов / В.Н. Шуть, Е.Е. Пролиско // Штучний інтелект. – 2016. – № 2(72). – С. 170–175.
6. Шуть, В.Н. Интеллектуальная система городского общественного транспорта / В.Н. Шуть, В.В. Касьяник // Искусственный интеллект. – 2018. – № 3. – С. 141–149.
7. Шуть, В.Н. Интеллектуальная, кассетная, робототехническая транспортная система массовой конвейерной перевозки пассажиров на базе мобильных роботов / В.Н. Шуть // Каталог перспективных разработок и инновационных предложений. – Брест, 2019. – С. 21–22.
8. Шуть, В.Н. Городской автоматический транспорт / В.Н. Шуть // Транспорт Урала. – 2022. – № 1 (72). – С. 3–7.
9. Шуть, В.Н. Роботизированный метрополитен щелевого типа «Кротовые норы» / В.Н. Шуть // Штучний інтелект. – 2017. – № 1(75). – С. 111–117.
10. Шуть, В.Н. Щелевое интеллектуальное метро «Кротовые норы» / В.Н. Шуть, А.В. Тур, Г.Г. Гогоберидзе // Вестник БрГТУ. Физика, математика, информатика. – 2018. – № 5 (113). – С. 44–47.
11. Шуть, В.Н. Подземная роботизированная транспортная система перевозки пассажиров высокой провозной способности – метро щелевого типа «Кротовые норы» / В.Н. Шуть // Каталог перспективных разработок и инновационных предложений. – Брест, 2019. – С. 15–17.
12. Шуть, В.Н. Алгоритм организации городских пассажирских перевозок посредством рельсового беспилотного транспорта “Инфобус” / В.Н. Шуть, Е.В. Швецова // Actual Problems of Fundamental Science: third international conference. – Луцк : Вежа-Друк, 2019. – С. 222–226.

УДК 678.029:678.046.3

Д.Л. Подобед<sup>1</sup>, В.П. Дубодел<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Филиал «Институт профессионального образования» Университета гражданской защиты

<sup>2</sup>Мозырский государственный педагогический университет имени И.П. Шамякина

### ВЛИЯНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ВОЗДЕЙСТВИЙ ПРИ ПОДГОТОВКЕ ПОЛИОЛЕФИНОВЫХ ОТХОДОВ НА ИХ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ

Использование прогрессивных материалов и технологий в машиностроении и строительстве требует от научных сообществ проведения серьезных и кропотливых изысканий в области науки и техники. В свою очередь, внедряемые в производство как в сфере машиностроения, так и строительства инновационные материалы и технологии их производства в обязательном порядке должны соответствовать духу времени.

**Ключевые слова:** полиолефиновый отход, технологическое воздействие, прочностная характеристика, композиционный материал, технологическая добавка, наполнитель.

**Введение.** Переработка вторичных полимеров связана с их предисторией образования, которая учитывает наличие функциональных добавок (стеараты, катализаторы и т. п.) и загрязняющих веществ в них. Следовательно, их дробление и очистка будет оказывать влияние при изготовлении композиционных материалов на их основе. В то же время в процессе дробления полимерное сырье подвержено механическим нагрузкам, создаваемым рабочими органами перерабатывающего оборудования. Это приводит к образованию дополнительной теплоты при трении, что инициирует в материале протекание

процессов термодеструкции [1, с. 35]. Поэтому исследование влияния технологических воздействий на характеристики исходного полимерного сырья из отходов полиолефинов имеет важное значение.

С целью установления влияния фракционного состава вторичного полимерного материала на некоторые характеристики композиционных материалов было проведено дробление вторичных полиолефинов, и на их основе получены исследуемые образцы. Определены значения прочности при растяжении и крутящего момента при экструзии образцов на основе ПЭВД<sub>вт</sub>, ПП<sub>вт</sub> и ПЭНД<sub>вт</sub> в зависимости от размеров фракции измельченного полимера. Установлено, что оптимальная фракция вторичных ПП и ПЭ находится в пределах 1–3 мм: прочность при растяжении для ПЭВД<sub>вт</sub> – 15,8 МПа, для ПП<sub>вт</sub> – 15,2 МПа; крутящий момент при экструзии для ПЭВД<sub>вт</sub> – 11,0 Н·м, для ПП<sub>вт</sub> – 12,1 Н·м. Равномерное распределение частиц при их подаче в экструзионное устройство и формирование расплава при переработке способствует образованию однородной структуры материала [2, с. 203].

Одной из проблем полиолефиновых отходов является их загрязненность, которую устраняют удалением с поверхности полимеров загрязнений (грязь, масло, жиры и др.), мешающих протеканию процесса перекристаллизации полимера в расплаве. Экспериментально установлена эффективность для очистки вторичных ПЭВД, ПЭНД и ПП моечного раствора на основе подогретой до 70 °С воды, так как при этом композиты характеризуются более высокими прочностными свойствами (на 20–30 %) по сравнению с образцом на основе исходного вторичного сырья.

Важным обстоятельством при получении длинномерных изделий является стабильность технологического процесса, исключающая пульсацию материала в экструзионном устройстве. Снижению этого процесса способствует агломерация полимерных отходов, что обеспечивает не только их уплотнение и более равномерную загрузку перерабатывающего оборудования, но и позволяет существенно повысить технологическую стабильность при многократной переработке материалов в изделие [3, с. 59].

В частности, это подтверждается показателями прочности при растяжении для образцов с измельченным ПЭВД<sub>вт</sub> и агломерированным ПЭВД<sub>вт</sub>, которые составили 15,8 и 18,9 МПа соответственно. Экспериментально определены рациональные показатели плотности агломератов: для отходов ПЭ-пленки – 0,90–0,97 г/см<sup>3</sup>, ПП – 0,91–0,97 г/см<sup>3</sup>, ПЭ-пленка+ПП – 0,89–0,92 г/см<sup>3</sup>.

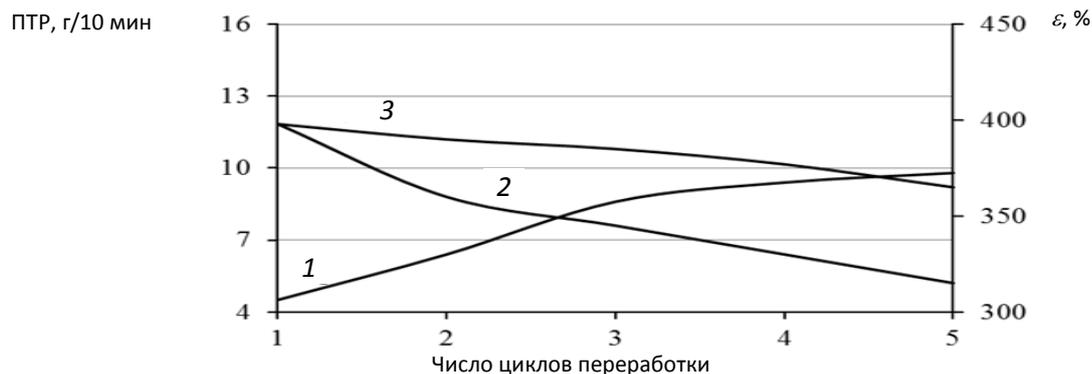
Целесообразность переработки полиолефиновых отходов определяется также способностью полимеров сохранять или изменять свойства после процесса переработки (таблица 1).

Таблица 1 – Изменение свойств ПЭВД<sub>вт</sub> после переработки

Показатели	Изменение свойств после 5-кратной переработки, %			
	ящики для овощей	упаковочные емкости (бутыли)	упаковочная пленка	ведра
Предел прочности, МПа	-5,3	-8,0	+4,9	+3,3
Модуль упругости, МПа	-2,5	-3,0	-	-
Относительное удлинение, %	-20,0	-35,7	-72,2	-26,9
ПТР, г/10 мин	-23,8	-60,5	-56,3	-37,9

Из таблицы 1 видно, что при многократной переработке полиолефиновых материалов на основе ПЭВД<sub>вт</sub> снижение их прочностных свойств не превышает 8,0 %, а для отдельных видов отходов (упаковочная пленка, ведра) происходит повышение прочности при растяжении ПЭ на 5 %. Снижение относительного удлинения более чем на 70,0 % обусловлено структурированием полимера в процессе переработки. В процессе переработки материала он подвергается термовоздействиям, которые инициируют в нем протекание термодеструкционных процессов. В результате этого происходит структурирование полимера, что способствует снижению его упруго-деформационных свойств. Наряду с этим ухудшается и технологичность материала вследствие уменьшения его текучести.

Экспериментальные данные (рисунок 1) показали, что показатель текучести расплава (ПТР) существенно изменяется после нескольких циклов переработки. При этом относительное удлинение, напротив, уменьшается в обоих образцах, причем в большей степени в полимере, переработанном литьем под давлением. Полученные данные согласуются с работами [4, с. 287; 5, с. 142], где ухудшение технологических свойств материала определяется зависимостью вязкости полимера от его молекулярной массы вследствие интенсификации у полимера деструкционных процессов [6, с. 194].



1 – ПТР, 2 –  $\varepsilon$  (литье под давлением), 3 –  $\varepsilon$  (экструзия)  
 Рисунок 1 – Зависимость ПТР и относительного удлинения ( $\varepsilon$ ) от кратности переработки ПП

Таким образом, для подготовки вторичного полимерного сырья необходим комплексный подход, учитывающий состояние исходного полимерного сырья, реологическую составляющую материала и воспроизводимую его свойств. Во многом это зависит от фракционного состава полимерных отходов, их загрязненности и метода переработки в изделия. Так, смешение компонентов и их переработку предпочтительно осуществлять на двухшнековых экструдерах вследствие улучшения процесса совмещения компонентов материала и получения его более высокой однородности [2, с. 7]. При этом наличие окисленных активных групп в полимерных отходах является предпосылкой для получения композитов с улучшенными свойствами, в том числе в условиях физического модифицирования расплавов полиолефиновых отходов. В целом это указывает на возможность использования ресурса полиолефиновых отходов при создании композиционных материалов с заданными свойствами за счет активации композиционной системы модифицирующими добавками.

#### Список использованных источников

1. Козлов, Г.В. Структура и свойства дисперсно-наполненных полимерных нанокомпозитов / Г.В. Козлов // Успехи физических наук. – 2015. – Т. 185, № 1. – С. 35–64.
2. Ревяко, М.М. Теоретические основы переработки полимеров / М.М. Ревяко, Н.Р. Прокопчук. – Минск : Белорусский государственный технологический университет, 2009. – 303 с.
3. Шаповалов, В.М. Многокомпонентные полимерные системы на основе вторичных материалов / В.М. Шаповалов, З.Л. Тартаковский. – Гомель : ИММС НАНБ, 2003. – 262 с.
4. Vaidya, P. Economics and environmental impacts of plastic waste recycling: A case study of Mumbai / P. Vaidya, R. Kumar, D. Sharma // Journal of Solid Waste Technology and Management. – 2016. – Vol. 42, № 4. – P. 287–297. – DOI 10.5276/JSWTM.2016.287.
5. Кулезнев, В.Н. Смеси и сплавы полимеров / В.Н. Кулезнев. – СПб. : Научные основы и технологии, 2013. – 216 с.
6. Кулезнев, В.Н. Химия и физика полимеров. – 2-е изд., перераб. и доп. / В.Н. Кулезнев, В.А. Шершнева. – М. : КолосС, 2007. – 367 с.

УДК 621.793.1:620.197:546.26

А.С. Руденков

Гомельский государственный университет имени Ф. Скорины

### МОРФОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ НАНОСТРУКТУРИРОВАННЫХ УГЛЕРОДНЫХ ПОКРЫТИЙ, СФОРМИРОВАННЫХ ВАКУУМНЫМИ МЕТОДАМИ

Рассмотрено влияние природы прекурсора углерода, природы подслоев, методики формирования на морфологические особенности наноструктурированных углеродных покрытий. Показано, что наименьшей шероховатостью, наибольшей дисперсностью и наименьшим отклонением по размерам отдельных структурных образований характеризуются образцы углеродных покрытий на основе поликапролактана и формиата свинца, сформированные лазерным диспергированием исходной композиционной мишени.