

АРТЕМЬЕВА Е.А. студентка гр. ИЗмоз-241, II курс
Научный руководитель: КАСЬЯНОВА О.В., к.т.н., доцент
Кузбасский государственный технический университет
имени Т.Ф. Горбачева, г. Кемерово

Переработка смешанных полимерных отходов, образующихся на промышленных предприятиях в больших объемах, требует индивидуального подхода. В первую очередь учитывается состав отходов (химическая природа полимеров) и степень загрязненности. По данным характеристикам определяется направление их дальнейшей утилизации. Согласно ГОСТ Р 56599–2015, смешанные полимерные отходы рекомендуется утилизировать, применяя термические методы (сжигание, пиролиз) или захоронение [1]. На сегодняшний день данные методы утилизации полимерных отходов являются экономически и экологически неэффективными. В специализированной литературе имеются работы, подтверждающие возможность получать из таких отходов товары народного потребления – ящики для овощей и фруктов, контейнеры и т.д., а также использовать их для производства строительных материалов [2–6].

Цель данных исследований – определить возможность переработки и получения изделий из смешанных полимерных отходов, образующихся при растаривании и роспуске макулатуры на ООО «Кузбасский скарабей», г. Кемерово. Объект исследования представлен на рис.1. Отход представляет собой смесь разных по цвету (рис.1 а), в большей части пленочных материалов толщиной $\delta \leq 1$ мм и налипших на них бумажных волокон (рис.1. б). Также в отходе имеются небольшие включения в виде деревянных щепок, текстильных волокон, небольших камней, кусочков полимеров неправильной формы. Отход имеет лёгкий затхлый запах.

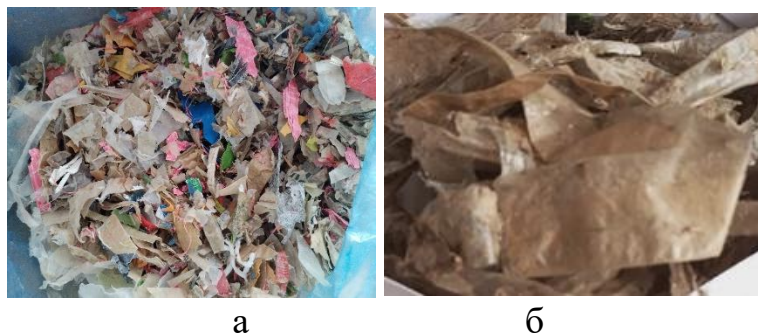


Рисунок 1. Общий вид полимерных отходов, образующихся при переработке макулатуры на ООО «Кузбасский скарабей» г. Кемерово: а – общий вид; б – образцы отхода с налипшими волокнами на липкую ленту (скотч)

Первой частью исследований являлось измельчение отхода. Операция измельчения необходима для уменьшения размеров кусков отхода. Измельчение проводили на роторной ножевой дробилке GS 301, с числом оборотов ротора 1500 об/мин. После измельчения определили коэффициент потерь $K_{\text{п}} \approx 14\%$ и насыпную плотность $\rho_{\text{н}} = 0,312 \text{ г/см}^3$ дробленки. Известно, что данные характеристики будут зависеть от физико-химических свойств исходного сырья (пленочные отходы, трубы, крупногабаритные изделия, профиль) и применяемого метода измельчения. Данные характеристики учитываются при технологических расчетах и выборе оборудования.

После измельчения провели флотацию. Данная операция позволяет удалить из отхода часть мусора (песок, небольшие камни) и разделить отход. В качестве разделительной жидкости использовали воду. Такие полимеры, как полиэтилен (ПЭ) и полипропилен (ПП), будут всплывать в воде (т.к. их истинная плотность ($\rho_{\text{и}} < 1$), а полистирол (ПС), полиэтилентерефталат (ПЭТФ), поливинилхлорид (ПВХ) – оседать ($\rho_{\text{и}} > 1$). Далее из всплывшей и осевшей части брали образцы для идентификации химической природы полимеров, входящих в состав отхода. Идентификацию проводили, используя стандартные методики (определение плотности, температуры плавления или размягчения, поведение в пламени) [7], результаты исследования представлены в табл.1.

Таблица 1. Результаты исследований

№	Образец	Содержание компонентов в отходе, %	Плотность, г/см^3	Температура плавления или размягчения, $^{\circ}\text{C}$	Поведение в пламени
1.	ПЭ	43÷61	0,937÷0,974	80÷127	Пламя голубое с жёлтой верхушкой, светящееся. Небольшое количество копоти, расплав капает. Присутствует запах парафина вперемешку с жженой бумагой.
2.	ПП	32÷54	0,879÷0,910	157÷167	Пламя голубое с жёлтой верхушкой, светящееся. Небольшое количество копоти, расплав капает. Присутствует запах парафина вперемешку с жженой бумагой.
3.	ПВХ	2,9÷9,7	1,38÷1,41	80÷110	Пламя зелёное, с голубой верхушкой, копоть, немного белого дыма.
4.	ПС	1,3÷3,1	1,04÷1,10	85÷117	Пламя оранжево-жёлтое, светящееся. Много копоти, при поджигании

					вспыхивает, горит легко. Резкий запах стирола.
5.	ПЭТФ	≤ 1	1,34÷1,51	259÷264	Пламя жёлтое светящееся, немного копоти, присутствует сладковатый запах.
6.	Мусор (шлам) в виде деревянных щепок, камней, волокон	3÷7	—	—	—

Как видно из таблицы, в отходе содержится больше всего полиолефинов (ПЭ и ПП) — более 70%, а также присутствуют такие крупнотоннажные полимеры, как ПВХ, ПЭТФ, ПС. Полученные экспериментальные данные согласуются с литературными источниками по составу большинства смешанных полимерных отходов [6].

Следующим этапом исследований являлся выбор температуры смешивания для получения однородной массы (полимерный композиционный материал (ПКМ)). При выборе температурных режимов смешивания учитывались температуры переработки полимеров (температура переработки ПЭ=170÷190°C, ПП=180÷270°C, ПС=180÷230°C, ПВХ=140÷180°C, ПЭТФ=260÷270°C), входящих в состав отхода. Смешивание проводили на лабораторном шнековом экструдере при одинаковой частоте оборотов шнека 35–37 об/мин, но разных температурных режимах, результаты представлены в табл.2.

Таблица 2. Параметры смешивания ПКМ

Параметры смешивания			
Режим 1	Режим 2	Режим 3	Режим 4
I зона –170°C	I зона –170°C	I зона –170°C	I зона –170°C
II зона – 240°C	II зона – 230°C	II зона – 210°C	II зона – 200°C
III зона – 250°C	III зона – 240°C	III зона – 210°C	III зона – 200°C

Оценку качества получаемого экструдата проводили по внешнему виду. Например, при режиме 1 экструдат (рис. 3. а) представлял собой вспученный (большое количество воздушных включений) шероховатый образец темно-коричневого цвета. При выходе из экструдера присутствовал запах жжёной бумаги и парафина. Полученный ПКМ при режиме 2 имел включения из непроплавленных частиц полимеров.



Рисунок 3. Образцы экструдата из смеси полимерных отходов

При выбранном оптимальном режиме 3 (рис. 3б) получили ПКМ, который дальше измельчили на гранулы. Общий вид гранул ПКМ представлен на рисунке 4.



Рисунок 4. Общий вид гранул ПКМ, полученного из смешанных полимерных отходов и волокон

Далее по стандартным методикам [7] определяли основные технологические параметры ПКМ. В табл. 3 представлены результаты исследования.

Таблица 3. Основные технологические параметры ПКМ, полученного из смешанных полимерных отходов и волокон

W, %	$\rho_{\text{и}}$, г/см ³	ПТР, г/10 мин
0,35±0,13	0,966±0,046	3,2±2,1

W – остаточное содержание влаги; $\rho_{\text{и}}$ – истинная плотность ПКМ; ПТР – показатель текучести расплава.

Как видно из табл. 3, остаточное содержание W не превышает 0,5%; по данному показателю ПКМ можно отнести к 1-му сорту материалов, используемых для вторичной переработки. Значение плотности ПКМ ближе к полиэтилену (ПЭ= 0,91÷0,96 г/см³). Значения ПТР изменяются в большом диапазоне от 1,1 до 5,3 г/10. По ПТР выбирают метод переработки, по полученным значениям ПКМ можно перерабатывать экструзией (0,3 ÷ 40,0 г/10 мин, в зависимости от вида изделия) и литьем под давлением (5,0 ÷ 40,0 г/10 мин) [8]. Однако при определении ПТР (груз 5 кг, температура

$T=210^{\circ}\text{C}$, диаметр капилляра $d=2,15$ мм) при течении наблюдалось следующее: первые 5 мм расплав тек стандартно, далее при увеличении пути 10 и 15 мм течение расплава замедлялось. По-видимому, капилляр забивался волокнами, присутствующими в ПКМ, следовательно, переработка полученного ПКМ будет затруднена при литье под давлением, т.к. расплав течет по литниковым каналам и впрыскивается в литьевую форму, а также экструзии при небольших размерах формирующей щели.

Таким образом, проведенные исследования показали, что использовать полученный ПКМ из смеси полимеров с волокнами для получения изделий на стандартном оборудовании затруднительно. Для переработки ПКМ необходимо подбирать специализированное оборудование или использовать его в качестве добавки для ненаполненных вторичных полимеров.

Список литературы:

1. ГОСТ Р 56599–2015. Ресурсосбережение. Обращение с отходами. Правила устойчивого страхования потенциалом восстановления полимерных отходов, образующихся в жилом фонде и в коммерческих организациях. – М.: Стандартинформ, 2019. – С. – Текст : непосредственный.
2. Морозов, С. В. Исследование свойств бетонов, армированных частицами вторично переработанных композиционных материалов / С. В. Морозов, Я. М. Жумаканова. – Текст: электронный // Ползуновский вестник. – 2025. – №3. – С.229–233. – URL : <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=83161222>
3. Патент РФ №2025128319, МПК C08L 23/06 (2006.01), C08K 3/36 (2006.01), C08J 11/04 (2006.01), E01C 5/20 C08L 23/06 (2006.01). Композиция для изготовления тротуарной плитки : 2025128319 : заявлено : 15.10.2025 : опубликовано : 17.03.2026, Бюл. №8 / Федоренко В.И., Захаров И.В., Федоренко И.В., патенто-обладатель: ООО «ПЛП Полифас» – 6с. – Текст: электронный // URL : <https://new.fips.ru/iiss/document.xhtml?faces-redirect=true&id=d7c95575dcf30baae1d0887394460b27>
4. Крицкий, И. Н. Проблематика переработки полимерных отходов. Производство PDF-топлива как необходимость / Крицкий И.Н. – Текст: непосредственный // Твердые бытовые отходы. – 2024. – №2. – С.27–31.
5. Войтов, В. И. Технология переработки смешанных полимерсодержащих отходов / В. И. Войтов, А. Л. Наркевич, О.И. Карпович, Белорус. гос. технолг. универ. г. Минск. – Текст : электронный // Композиционные материалы на основе техногенных отходов и местного сырья : состав, свойства, применение : материалы межд. науч. прак. Конференции, Ташкент. – 16–17 сентября – 2021. – С.26–27. – <https://elib.belstu.by/handle/123456789/43113>
6. Петросян, В. С. Полимерные твердые коммунальные отходы в окружающей среде и методы их переработки – Текст : электронный / В. С. Петросян, А. Е. Шипелов, Е. А. Шувалова // Высокомолекулярные соединения. – Серия С. – 2021. – Т.21. – №2. – С.220–231.
7. Практикум по технологии переработки и испытаниям полимеров и композиционных материалов / А. Н. Садова, В. Г. Бортников, А. Е. Заикин и др. –

М.: КолосС, 2011. – 191 с.: ил. (Учебники и учебное пособие для студентов высш. учеб. заведений). – ISBN 978–5–9532–0745–4.

8. Калинин, Э. Л. Свойства и переработка термопластов : справочное пособие [Текст] / Э.Л. Калинин, М. Б. Саковцева .– Л.: Химия, 1983. – 288 с.