



ПРОМЫШЛЕННАЯ ЭКОЛОГИЯ

INDUSTRIAL ECOLOGY

DOI: 10.22363/2313-2310-2025-33-4-412-429

EDN: GWCUYK

УДК 628.477:504.064

Научная статья / Research article

Оценка содержания полиэтилена и полипропилена в отходах полиэтиленовой и полипропиленовой упаковки

С.В. Полягалов ✉, Г.В. Ильиных

Пермский национальный исследовательский политехнический университет, Пермь,
Российская Федерация
✉polyste17@mail.ru

Аннотация. Потоки отходов тары, упаковки и упаковочных материалов из пластмасс, даже рассортированные по видам основного полимера, являются очень неоднородными, так как помимо целевых пластмасс в них присутствуют другие материалы и вещества – элементы упаковки, внутренние и внешние загрязнения. Доля целевого материала в потоках отходов и вторичных ресурсов важна для оценки перспектив рециклинга – чем выше содержание сторонних материалов, тем меньше будет выход вторичного сырья. Представлены результаты экспериментальных исследований по определению состава отходов полиэтилена и полипропилена с выделением доли целевой пластмассы («тела» изделия), крышек/дозаторов, этикеток/наклеек и загрязнений (жидкости, грязь, еда и др.).

Ключевые слова: вторичные ресурсы, состав отходов, отходы пластмасс, упаковка

Вклад авторов. Полягалов С.В. – анализ полученных данных, написание текста, дизайн исследования. Ильиных Г.В. – концепция исследования, обработка материалов. Все авторы ознакомлены с окончательной версией статьи и одобрили ее.

История статьи: поступила в редакцию 01.04.2025; доработана после рецензирования 30.04.2025; принята к публикации 22.05.2025.

Заявление о конфликте интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

© Полягалов С.В., Ильиных Г.В., 2025



This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License
<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/legalcode>

Для цитирования: Полыгалов С.В., Ильиных Г.В. Оценка содержания полиэтилена и полипропилена в отходах полиэтиленовой и полипропиленовой упаковки // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности. 2025. Т. 33. № 4. С. 412–429. <http://doi.org/10.22363/2313-2310-2025-33-4-412-429>

Assessment of polyethylene and polypropylene content in polyethylene and polypropylene packaging waste

Stepan V. Polygalov , Galina V. Ilinykh

Perm National Research Polytechnic University, Perm, Russian Federation
polyste17@mail.ru

Abstract. Post-consumer plastic containers and packaging, even sorted by types of the main polymer, are very heterogeneous, because they contain other materials and substances – packaging elements, internal and external contaminants. The share of target material in waste and secondary resource flows is important for assessing the recycling prospects — the higher the content of secondary materials, the lower the output of recycled materials will be. The paper presents the results of experimental studies to determine the composition of plastic waste. In the polyethylene and polypropylene waste different components were identified, namely, target plastic (the “body” of the package), lids/dispensers, labels/stickers and contaminants (liquids, dirt, food, etc.).

Keywords: secondary raw materials, waste composition, plastic waste, packaging

Authors' contribution. S.V. Polygalov — analysis of the obtained data, writing the text, and research design; G.V. Ilinykh — research concept, material processing. All authors have read and approved the final version of the manuscript.

Article history: received 01.04.2025; revised 30.04.2025; accepted 22.05.2025.

Conflicts of interest. The authors declare no conflicts of interest.

For citation: Polygalov SV, Ilinykh GV. Assessment of polyethylene and polypropylene content in polyethylene and polypropylene packaging waste. *RUDN Journal of Ecology and Life Safety*. 2025;33(4):412–429. (In Russ.) <http://doi.org/10.22363/2313-2310-2025-33-4-412-429>

Введение

С каждым годом объемы производства и потребления полимеров в мире растут. За последние десять лет наибольшие темпы роста характерны для полиэтилентерефталата (ПЭТ) (почти на 7 % в год), полиолефинов (более 4 % в год), поливинилхлорида (ПВХ) (на уровне 3 % в год).

Одним из основных сегментов мирового спроса на полимеры является упаковочная отрасль, выпускающая пленки, пакеты, бутылки, тару, емкости, мешки для пищевого, хозяйствственно-бытового, технического назначения. Ключ-

чевыми материалами в производстве пластиковой упаковки являются полиэтилен (56 %) и полипропилен (22 %) [1].

Как правило, упаковка имеет короткий срок «полезной жизни» в соответствии с целевым назначением, например для хранения и перемещения продуктов питания, упаковывания подарков и т.д.¹

Ежегодный рост объемов производства и использования упаковки отражается на ускорении темпа образования отходов пластмасс [2; 3].

Приоритетное направление в области обращения с отходами — переработка отходов². Согласно паспорту Федерального проекта «Экономика замкнутого цикла» к 2030 г. доля утилизируемой упаковки должна вырасти до 85 %. При этом потенциал переработки пластиковых отходов к 2030 г. в России оценивается на уровне 60 % (24 % механическая переработка и 36 % химическая переработка)³. С точки зрения выбора между химическим и механическим рециклингом необходимо учитывать опыт переработки отходов пластмасс в мире и России [4–6]. Механический рециклинг используется чаще, так как химическая структура пластмасс остается практически неизменной, а технологический процесс проще и связан с более низкими затратами [7; 8].

Входящий поток вторичных ресурсов, поступающих на механическую переработку, на первый взгляд, может казаться однородным, особенно в сравнении с твердыми коммунальными отходами (ТКО). Это связано с тем, что на мусоросортировочных комплексах выделяются конкретные компоненты — виды вторичных ресурсов, к которым предъявляются требования российских и международных стандартов, технических условий отдельных компаний⁴. К таким требованиям можно отнести однородность, чистоту (наличие, характер и степень загрязнения), форму доставки (кипы или в биг-бэгах) и т. д.

¹ Greenhouse gas emissions and natural capital implications of plastics (including biobased plastics) / Eionet Report – ETC/WMGE 2021/3. Copenhagen : European Environment Agency, 2021.

² Федеральный закон от 24.06.1998 № 89-ФЗ «Об отходах производства и потребления» // Собрание законодательства РФ. 1998. № 26. Ст. 3009.

³ Обзор глобальных трендов и решений по переходу к экономике замкнутого цикла. Лаборатория устойчивых решений. 2023, <https://assets.kept.ru/upload/pdf/2023/12/ru-kept-review-global-circular-economy-trends.pdf>.

⁴ ГОСТ Р 57050-2016 «Ресурсосбережение. Обращение с отходами. Характеристики вторичных полиэтиленов». Москва : Стандартинформ, 2019. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200139207> (дата обращения: 11.03.2025); Куда сдать полиэтилен: прием отходов у предприятий и населения, адреса пунктов и цены. URL: <https://rcycle.net/plastmassy/polietilen/kuda-sdat-na-regerabotku-tseny> (дата обращения: 11.03.2025); ТУ 63-178-74-88. Полиэтилен вторичный. Технические условия // Отходы.Ру. URL: <https://www.waste.ru/modules/documents/item.php?itemid=99&ysclid=mfzdewh7v339421012> (дата обращения: 11.03.2025); ТУ 2298-156-00203335-2004. Полиэтилен вторичный гранулированный (агломерированный или дробленый) марок А-1, А-2, А-3, Б-1, Б-2, Б-3, Б-4; ГОСТ Р 57043-2016 Ресурсосбережение. Обращение с отходами. Характеристики вторичных полипропиленов. URL: <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4293752/4293752105.pdf?ysclid=mfzdmgwu37994647050> (дата обращения: 11.03.2025).

Однако поток вторичных ресурсов все еще очень неоднороден по своему составу. Целевой материал, название которого фигурирует в наименовании потока, например, полиэтилен в «отходах полиэтилена, извлеченных при сортировке твердых коммунальных отходов» (код ФККО 7 41 114 11 72 4) будет «разбавлен» элементами упаковки из других материалов (этикетка, крышка, клей), загрязнен остатками упакованных продуктов, красителями с печати на упаковке. Кроме того, возможны случайные примеси других материалов из-за использования упаковки потребителем не по назначению (хранение керосина, разбавление пестицидов на даче и т.п.), а также перекрестное загрязнение при контакте с другими компонентами ТКО, например пищевыми отходами.

С точки зрения эффективности переработки различных видов вторичных ресурсов с получением вторичного сырья в виде хлопьев или гранул рециклированного полимера одного вида необходимо понимать, сколько этого полимера в принципе содержится в поступающем на рециклинг потоке отходов пластмасс, так как это определяет максимальный выход вторичного сырья из каждой переработанной тонны вторичных ресурсов⁵.

В составе отходов пластмасс можно выделить:

- внешние загрязнения и влагу – все то, что налипло на упаковку снаружи;
- внутренние загрязнения и влагу – все то, что находится внутри упаковки (преимущественно остатки упакованных продуктов);
- элементы упаковки, в том числе крышка/дозатор и этикетка/наклейка;
- собственно «тело» упаковки из основного материала – определенного вида пластмассы.

На рис.1 схематично представлен состав отходов пластмасс.

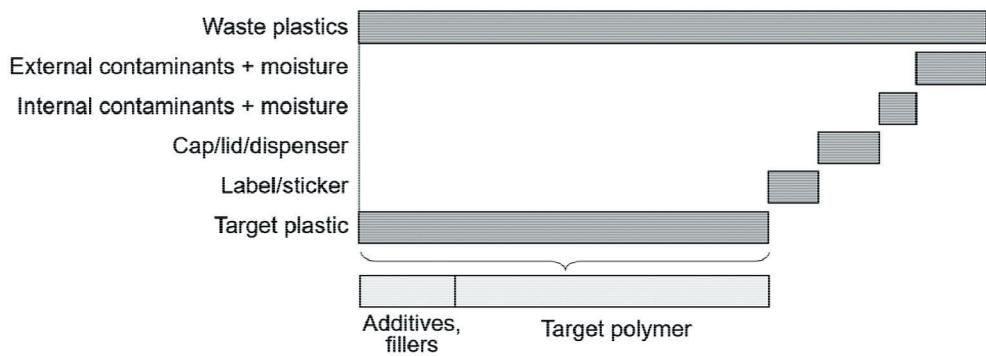
Кроме того, в составе пластмасс может содержаться значительное количество неполимерных добавок. Например, на рынке представлена упаковка из полиэтилена низкого давления (ПНД) и полипропилена (ПП) с содержанием наполнителя (мела) до 50 %⁶.



Рис. 1. Основные компоненты отходов пластмасс
Источник: составлено С.В. Полыгаловым, Г.В. Ильиных.

⁵ HDPE & PP market in Europe State of play. Production, collection and recycling data. 2020

⁶ Basic Facts Report on Design for Plastic Packaging Recyclability. 2017.

**Figure 1.** Main components of plastics waste

Source: compiled by S.V. Polygalov, G.V. Ilinykh.

В зарубежной литературе встречаются результаты экспериментальных исследований по определению содержания целевых материалов и прочих компонентов в составе отходов пластмасс (табл. 1).

Таблица 1. Компонентный состав отходов пластмасс (полиэтилена и полипропилена), 2014–2020 гг.

Материал	Полиэтилен низкого давления (ПНД-тара)			Полипропилен (ПП-тара)		
	2014 [9]	2017 [9]	2020 [10]	2014 [9]	2017 [9]	2020 [10]
Целевая пластмасса	89,8	92,0	78,7		73,9	91,7
ПЭТ			1,6			0,2
ПП			10,8			
Прочие полимеры	9,9	7,5			21,9	0,4
Не пластмасса (металл, стекло, картон)	0,2	0,4	0,6		1,5	0,2
Неидентифицированные материалы, в том числе грязь	0,1	0,1	8,3		2,7	7,5
ВСЕГО	100,0	100,0	100,0		100,0	100,0

Источник: составлено С.В. Полыгаловым, Г.В. Ильиных по данным [9; 10].

Table 1. Component composition of plastic waste (polyethylene and polypropylene), 2014–2020

Material	High-density polyethylene (HDPE container)			Polypropylene (PP container)		
	2014 [9]	2017 [9]	2020 [10]	2014 [9]	2017 [9]	2020 [10]
Target plastic	89.8	92.0	78.7		73.9	91.7
PET			1.6			0.2
PP			10.8			
Other polymers	9.9	7.5			21.9	0.4
Non-plastic (metal, glass, cardboard)	0.2	0.4	0.6		1.5	0.2
Unidentified materials, including dirt	0.1	0.1	8.3		2.7	7.5
TOTAL	100.0	100.0	100.0		100.0	100.0

Source: compiled by S.V. Polygalov, G.V. Ilinykh according to the data [9; 10].

В статье M. Brouwer [9] сравниваются составы отсортированных потоков полипропилена и полиэтилена, которые были выделены по системе раздельного сбора в поток «легкой упаковки» (англ. название – LWP – lightweight packaging), в Нидерландах за 2014 и 2017 г. Доля целевого потока полипропилена за три года изменилась незначительно (с 73,0 % в 2014 г. до 73,9 % в 2017 г.), что свидетельствует о стабильном составе потока.

В [10] представлены результаты исследований по определению состава распространенных типов упаковки (полипропилена и полиэтилена) с учетом разделения на элементы – «тело» (бутылка, тара, коррекс, лоток, т. е. целевой полимер), этикетку, крышку, колпачок и загрязнения. Образцы отходов были отобраны на мусоросортировочных предприятиях Западной Европы. Результаты показали, что в потоке ПП-лотков доля целевого полимера составляет до 91 %.

Важно понимать, что состав упаковочных отходов пластмасс будет зависеть от многих факторов, например от дизайна упаковки, спроса на разные виды упаковки, систем сбора и накопления отходов (сбор фандоматами, раздельное или смешанное накопление), технологий сортировки отходов пластмасс и т.д.

С учетом особенностей дизайна упаковки, структуры производства и потребления пластмасс, а также требований перерабатывающих предприятий состав отходов пластмасс в Российской Федерации может отличаться по сравнению с вышеупомянутыми исследованиями. Поэтому **цель исследования** – оценка содержания целевых пластмасс в потоках отходов упаковки из полиэтилена и полипропилена в Российской Федерации. Полученные результаты позволяют оценить возможную эффективность рециклинга этих отходов.

Материалы и методы

Объекты исследования

Объектом исследования являются вторичные ресурсы – отходы тары и твердой упаковки из полиэтилена и полипропилена, поступающие на завод по их переработке (механическому рециклингу). Вторичные ресурсы были отобраны на мусоросортировочном комплексе в Пермском крае. Рассматриваемые потоки тары и твердой упаковки были извлечены из ТКО после контакта с другими видами отходов (например, с пищевыми продуктами) на этапах накопления в контейнерах и транспортирования отходов в мусоровозах. В связи с этим на поверхности компонентов, в сгибах и складках, остаются налипшие загрязнения (песок, грязь, влага и др.). Для определения компонентного состава были проанализированы два типичных потока отходов пластмасс:

- тара из полиэтилена низкого давления (ПНД) – твердая упаковка (бутылки) из-под шампуней и прочих средств гигиены;
- тара из полипропилена (ПП) – твердая упаковка (емкости, банки и стаканчики) из-под пищевых продуктов – йогурта, творога, плавленого сыра и т.п.

Характеристики исследуемых видов упаковки и отобранных проб представлены в табл. 2.

Таблица 2. Общие характеристики исследуемых типичных видов упаковки

Характеристика	ПНД-тара	ПП-тара
Диапазон объема/ массы продукта в одной упаковке	0,2–5,0 л	120–350 г
Диапазон массы одной упаковки	30,8–238,1 г	5,8–32,9 г
Назначение	Уход за домом (чистящее средство для посуды, пола, плиткой, унитаза), уход за одеждой (гель для стирки), уход за телом (шампунь, гель для душа)	Йогурт, творог, сметана, творожный сыр
Количество упаковок в пробе	150 единиц	160 единиц
Общая массы пробы для исследований	9,895 кг	2,510 кг

Источник: составлено С.В. Полыгаловым, Г.В. Ильиных.

Table 2. General characteristics of the typical types of packaging studied

Characteristic	HDPE container	PP container
Range of volume/mass of product in one package	0.2–5.0 l.	120–350 g
Range of mass of one package	30.8–238.1 g	5.8–32.9 g
Appointment	Home care (cleaning agent for dishes, floors, tiles, toilets), clothing care (washing gel), body care (shampoo, shower gel)	Yogurt, cottage cheese, sour cream, cream cheese
Number of items in a sample	150 items	160 items
Total mass of the sample for research	9.895 kg	2.510 kg

Source: compiled by S.V. Polygalov, G.V. Ilinykh.

На рис. 2 представлены рассматриваемые потоки отходов пластмасс.



Рис. 2. Рассматриваемые потоки отходов пластмасс:

а – поток ПНД-тары; б – поток ПП-тары

Источник: составлено С.В. Полыгаловым, Г.В. Ильиных

Figure 2. The considered plastic waste flows: а – the flow of HDPE containers; б – the flow of PP containers
Source: compiled by S.V. Polygalov, G.V. Ilinykh.

Уже на основании внешнего вида потоков можно сделать вывод об их неоднородности и наличии загрязнений, однако практический интерес представляют количественные данные о компонентном составе этих потоков.

Определение компонентного состава отходов упаковки из полиэтилена и полипропилена

Определение компонентного состава отобранных проб было выполнено в лаборатории кафедры «Охрана окружающей среды» Пермского национального исследовательского политехнического университета (ПНИПУ).

Упаковка разбиралась на отдельные элементы вручную, то есть от «тела» упаковки отделялись этикетки, крышки, дозаторы и прочие элементы упаковки, а также очищались загрязнения и оценивалось наличие еды и жидкости внутри упаковки. Материалы элементов упаковки идентифицировались визуально по маркировке и внешним признакам. После рассортировывания всей пробы отобранные элементы упаковки из определенной группы материалов взвешивались на весах с точностью до 0,1 г (погрешностью $\pm 0,05$ г). Далее рассчитывалось процентное содержание основных элементов упаковки отдельно по материалам, результаты в процентах были округлены до десятых. С учетом массы проб, погрешности весов и округления полученных результатов относительная погрешность результатов не превышала 5 %.

Результаты и обсуждения

Компонентный состав потока ПНД-тары

ПНД-тара традиционно предназначена для розлива чистящих и моющих средств для посуды, пола, плитки, раковин, унитаза и т.д., а также средств по уходу за одеждой и телом. При этом дизайн упаковки может сильно отличаться по форме (с ручкой и без, вытянутые, плоские, в форме «утенка» и т.д.), цвету, форме крышки (резьбовая, флип-топ, диск-топ, пуш-пул) или дозатора (курковый распылитель, кнопочный распылитель, помпа-насос), размеру и способу крепления этикетки. К ПНД-таре относят упаковку, «тело» которой изготовлено из полиэтилена низкого давления, а дополнительные элементы могут быть изготовлены из разных материалов (полиэтилен, полипропилен, бумага, ламинированная бумага). Кроме того, в составе дозаторов можно обнаружить элементы из металла (пружина), полистирола (прокладка) и стекла (шарик). В качестве примера на рис. 3 и 4 представлен принципиальный компонентный состав некоторых видов упаковки с закручивающейся крышкой и с дозатором.

За счет внешних загрязнений и наличия остатков продуктов в таре, например моющих средств, содержание целевого полимера в отходах еще ниже. Однако следует отметить, что остатки моющих средств в ПНД-таре, формально являясь загрязнением, наоборот, способствуют улучшению очистки хло-

пьев от прочих загрязнений при мойке и поэтому при переработке ПНД-тары из-под бытовой химии, как правило, не используют дополнительные моющие средства. Однако при слишком высоком содержании остатков моющих средств может происходить слишком обильное вспенивание, и потребуется много-кратное промывание хлопьев для удаления пены.



Рис. 3. Компонентный состав некоторых видов тары ПНД с закручивающейся крышкой, % по массе

Источник: составлено С.В. Полягаловым, Г.В. Ильиных.

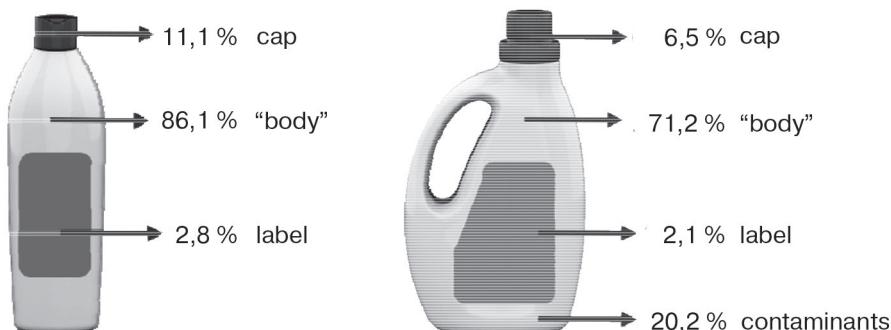


Figure 3. Component composition of some types of HDPE containers with screw caps, % by weight

Source: compiled by S.V. Polygalov, G.V. Ilinykh.

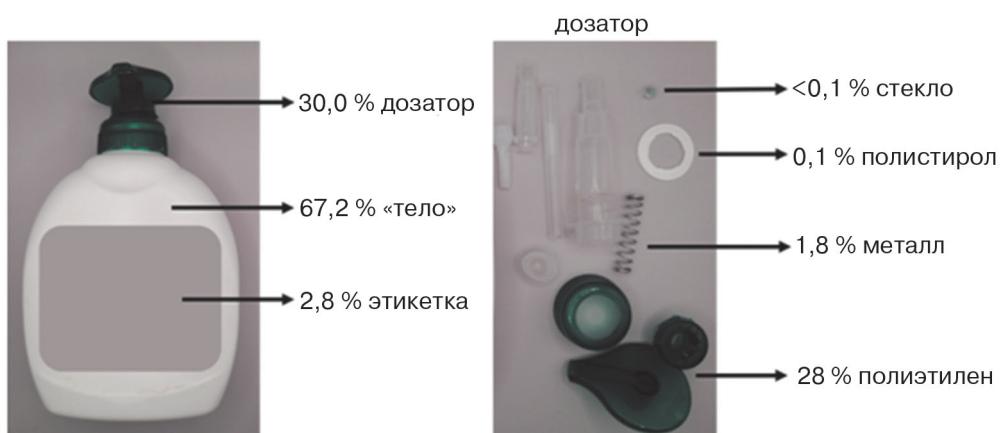


Рис. 4. Компонентный состав тары ПНД с дозатором, % по массе

Источник: составлено С.В. Полягаловым, Г.В. Ильиных.

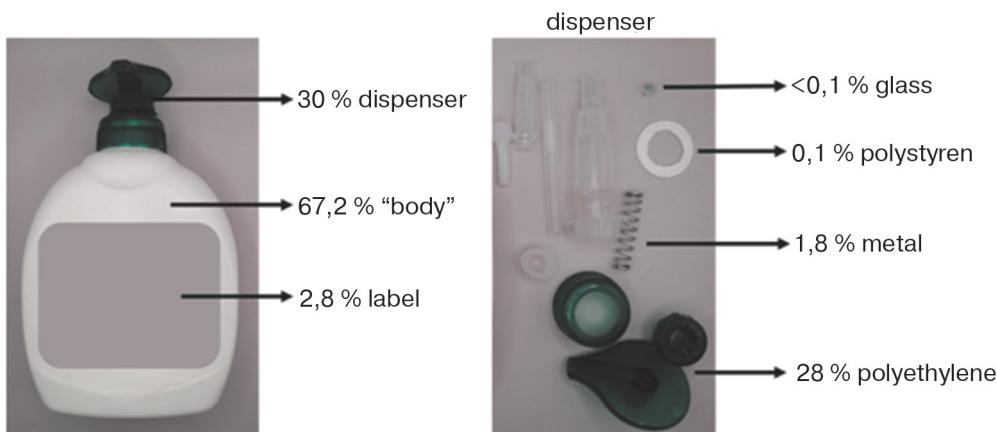


Figure 4. Component composition of HDPE containers with a dispenser, % by weight

Source: compiled by S.V. Polygalov, G.V. Ilinykh.

Итоговые результаты анализа компонентного состава отходов ПНД-тары представлены в табл. 3.

Таблица 3. Усредненный компонентный состав отходов видов ПНД-тары

Материал	Состав, % (по массе)				
	«Тело»	Крышка	Этикетка	Дозатор	Итого
Полиэтилен	83,0	1,9	< 0,1	0,8	85,8
Полипропилен		8,0	1,8	0,8	10,6
Прочие пластики		0,3		< 0,1	0,3
Бумага			0,4		0,4
Металл, стекло				0,1	0,1
Загрязнения*	2,8				2,8
Всего	85,8	10,2	2,3	1,7	100,0

* К загрязнениям относили прилипшую грязь на поверхности «тела» упаковки и жидкости внутри упаковки.

Источник: составлено С.В. Полыгаловым, Г.В. Ильиных.

Table 3. Average component composition of HDPE container waste

Material	Composition, % (by weight)				
	“Body”	Cap	Label	Dispenser	Total
Polyethylene	83.0	1.9	< 0.1	0.8	85.8
Polypropylene		8.0	1.8	0.8	10.6
Other plastics		0.3		< 0.1	0.3
Paper			0.4		0.4
Metal, glass				0.1	0.1
Contamination *	2.8				2.8
Total	85.8	10.2	2.3	1.7	100.0

Source: compiled by S.V. Polygalov, G.V. Ilinykh.

Полученные результаты показывают, что отходы ПНД-тары состоят из полиэтилена только на 85 %.

Важно отметить, что дополнительные элементы конструкции часто изготавливают из полипропилена (более 10 % от общей массы усредненного ком-

понентного состава ПНД-тары). Для изготовления крышки в ПНД-таре используется преимущественно полипропилен (до 79 %) и полиэтилен (около 19 %).

Конструкция дозатора сильно отличается в зависимости от производителя, но усредненный состав следующий: до 47 % приходится на полиэтилен, около 44 % – на полипропилен, 8 % – на металл (пружина). Наличие металлов в перерабатываемом потоке отходов пластмасс обуславливает необходимость применения дополнительной магнитной и вихревоковой сепарации.

Наибольшая доля материалов, используемых в качестве этикеток, приходится на полипропилен (до 80 %) и бумагу (около 18 %). Сам полиэтилен редко используется для изготовления этикетки. Теоретически применение для изготовления этикетки того же материала, что и для «тела» упаковки, позволило бы сделать упаковку более однородной и повысить эффективность переработки. Однако плавление пленки из полиэтилена в экструдере будет осуществляться быстрее, чем непосредственно плавление твердого полиэтилена из «тела» тары или крышки. Неравномерное плавление может приводить к сгоранию пленок и отразиться на качестве гранул из рециклируемого материала. Поэтому чаще всего в технологии переработки ПНД-тары применяется воздушный сепаратор для удаления легкой фракции из основного потока, что позволяет исключать все виды этикеток и обеспечить более высокое качество гранул.

Если легкую фракцию (этикетки) достаточно легко и просто удалить воздушным сепаратором из основного потока, то твердые посторонние примеси, имеющие одну плотность с полиэтиленом, исключить достаточно сложно. При переработке частицы пластмасс часто разделяют в потоке воды, то есть на основании разности плотностей. Полиэтилен и полипропилен всплывают, а тяжелые примеси тонут (стекло, полистирол и проч.). Разделение смеси полиэтилена и полипропилена требует дополнительной сортировки. Исключение полипропилена в изготовлении ПНД-тары позволило бы упростить эту задачу.

ПНД-тара имеет невысокие значения загрязнения и влажности, что обусловлено наличием минимальных прилипших загрязнений на поверхности упаковки и содержанием незначительных остатков жидкостей, например, моющих средств. Опыт проведения исследований компонентного состава отходов показывает, что чаще всего ПНД-тара выбрасывается с закрытой крышкой, что препятствует попаданию прочих материалов внутрь тары. Наличие жидкостей внутри ПНД-тары не усложняет процесс переработки, так как разделение и мойка хлопьев осуществляется в воде после измельчения тары, а остатки продуктов в таре легко высвобождаются. Кроме того, моющие средства выступают в качестве очищающих реагентов для удаления грязи с поверхности хлопьев. Однако остатки жидких продуктов завышают массу отходов ПДН-тары, поступающих на перерабатывающие заводы, что заведомо снижает выход получаемого вторичного сырья.

Компонентный состав потока ПП-тары

Как уже было отмечено, для изучения отходов полипропилена был выбран поток ПП-тары пищевого назначения из-под йогурта, творога, сметаны, творожного сыра.

Конструкция тары чаще всего представляет собой стаканчик с крышкой-платинкой – фольгированной крышкой, ламинированной бумагой или пластиковой пленкой, в некоторых случаях на стаканчики нанесена этикетка. На некоторых видах упаковки встречались дополнительные элементы в виде твердых крышек, чаще всего на таре из-под сметаны и плавленого сыра (рис. 5).



Рис. 5. Некоторые виды ПП-упаковки
Источник: составлено С.В. Полыгаловым, Г.В. Ильиных



Figure 5. Some types of PP packaging
Source: compiled by S.V. Polygalov, G.V. Ilinykh

Существует несколько способов нанесения информации на ПП-упаковку: нанесение типографской краски непосредственно на упаковку («тело» стаканчика) или на вплавляемую, картонную, пластиковую этикетку, термоэтикетку. Вплавляемая этикетка (англ. IML – In-Mould Labels) появилась относительно недавно, ее применяют для того, чтобы этикетка не отклеивалась от поверхности изделия и напечатанная информация не смывалась. Закрепление этикетки на пластиковом изделии осуществляется непосредственно в процессе формования, что позволяет долго сохранить первоначальный декоративный вид. Этикетки чаще всего печатают на пленках толщиной 50–100 мкм, изготовленных из полипропилена, полистирола, полиэстера, полиэтилена. Поэтому такие виды упаковки можно назвать композитами, так как отделить такую этикетку от основного изделия невозможно или практически невозможно. Состав термоэтикеток представляет собой послойное наложение различных материа-

лов, обеспечивающих устойчивость к теплу, влаге и другим внешним воздействиям. В качестве материалов используются бумага, пленки, клеевой слой. Наличие таких этикеток усложняет процесс переработки ПП-тары и ухудшает качество рециклируемого материала. На рис. 6 представлены примеры оформления разных упаковок.



Рис. 6. Виды оформления упаковки: а – печать на таре; б – вплавляемая этикетка (IML); в – картонная этикетка; г – полипропиленовая этикетка (ПП); д – этикетка из поливинилхлорида (ПВХ); е – термоэтикетка

Источник: составлено С.В. Полыгаловым, Г.В. Ильиных.

Figure 6. Types of packaging design: a – printing on the container; b – in-mold label (IML);
в – cardboard label; г – polypropylene label (PP); д – polyvinyl chloride label (PVC); е – thermal label
Source: compiled by S.V. Polygalov, G.V. Ilinykh.

Итоговые результаты компонентного состава типичных видов ПП-тары представлены в табл. 4.

Результаты исследований показали, что в составе ПП-упаковки присутствуют разные виды пластмасс и прочих материалов. В 47 % случаев ПП-тары использовалась вплавляемая этикетка, которую невозможно отделить или же этикетка отсутствовала. Вес такой ПП-тары в 1,6 раза выше, чем ПП-тары с отделяемой этикеткой. Наличие чернил непосредственно на упаковке, которые невозможно отделить, влияет на качество получаемых рециклированных гранул.

Таблица 4. Усредненный компонентный состав типичных видов ПП-тары

Материал	Состав, % (по массе)			
	«Тело»	Крышка	Этикетка	Итого
Полипропилен	44,1*	4,3	0,2	48,6
ПВХ, ПЭТ		2,1	0,2	2,3
Картон / бумага			8,8	8,8
Алюминий		4,5		4,5
Термоэтикетка (бумага + пленка)			<0,1	<0,1
Загрязнения	29,4	6,4		35,8
ВСЕГО	73,5	17,3	9,2	100,0

*В том числе «тело» упаковки с нанесенными чернилами и вплавляемой этикеткой, которую невозможно отделить.

Источник: составлено С.В. Полыгаловым, Г.В. Ильиных.

Table 4. Average component composition of typical types of PP containers

Material	Composition, % (by weight)			
	“Body”	Cap/lid	Label	Total
Polypropylene	44.1	4.3	0.2	48.6
PVC, PET		2.1	0.2	2.3
Cardboard/paper			8.8	8.8
Aluminum		4.5		4.5
Thermal label (paper+film)			<0.1	<0.1
Contamination	29.4	6.4		35.8
TOTAL	73.5	17.3	9.2	100.0

*Including the “body” of the packaging with applied ink and an in-mold label that cannot be separated.

Source: compiled by S.V. Polygalov, G.V. Ilinykh.

Доля полипропилена в чистых видах ПП-тары составляет около 69 %, однако на практике в ПП-таре присутствует достаточно большое количество различных загрязнений. Поэтому с учетом загрязнений доля полипропилена в отходах ПП-тары составляет лишь около 49 % от общей массы отходов упаковки ПП. Под загрязнением понимаются свежие и засохшие остатки продуктов питания, образовавшаяся плесень и специфические загрязнения, не относящиеся к продуктам питания (например загрязнения грунтом-эмалью при использовании ПП-тары в качестве емкости при ремонте квартиры).

На рис. 7 представлены основные виды загрязнений ПП-тары.

Самым распространенным загрязнением в отходах ПП-тары являются остатки молочных продуктов, как внутри емкости, так и на крышке-платинке. Общие загрязнения в отходах ПП-тары составляют до 36 % от общей массы рассматриваемых видов тары. Наибольшая доля загрязнений накапливается внутри тары и составляет 82 %, а 18 % загрязнений находится на крышке-платинке. Разновидность загрязнений может сказаться на степени очистки хло-

пьев, так как свежие загрязнения отмываются легче, чем высохшие. ПП-тара, использованная не по назначению и загрязненная специфическими веществами (краска), не подлежит переработке, так как отмыть с поверхности хлопьев такие загрязнения практически невозможно. Кроме того, на стенках ПП-тары содержится достаточно большое количество жирных загрязнений. Для их очистки требуется применять специализированные моющие средства и несколько этапов мойки.

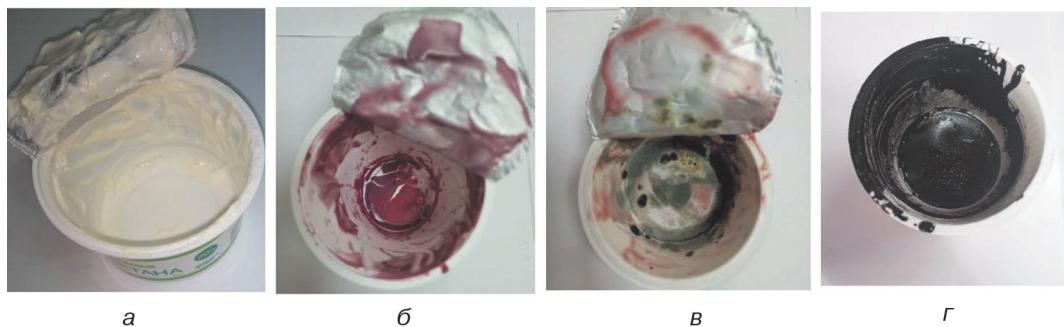


Рис. 7. Виды загрязнений ПП-тары: а – свежие загрязнения молочными продуктами; б – засохшие загрязнения молочными продуктами; в – плесень; г – специфические (остатки лакокрасочных материалов)

Источник: составлено С.В. Полыгаловым, Г.В. Ильиных.

Figure 7. Types of contamination of PP containers: a – fresh contamination with dairy products; b – dried contamination with dairy products; в – mold; г – specific (residues of paints and varnishes)

Source: compiled by S.V. Polygalov, G.V. Ilinykh.

Степень загрязнения остатками пищи зависит от назначения ПП-тары (ролив быстро портящихся продуктов, например йогуртов, сметаны), конструкции упаковки (неровная поверхность приводит к неполному изъятию продуктов питания). Кроме того, широкое горлышко ПП-тары с открытой крышкой способствует попаданию внутрь прочих материалов, в том числе влажных компонентов, что повышает массу упаковки и долю загрязнений.

При изготовлении ПП-тары чаще всего применяется этикетка из картона/бумаги – на их долю приходится 95 % от общей массы отделяемых этикеток. Доля этикеток из полипропилена незначительна и составляет всего 2 %, но их отделение воздушным сепаратором является обязательным этапом, так как позволит получить более качественные гранулы. На долю этикеток из ПВХ приходится около 2 %, однако плотность ПВХ выше, чем у воды, из-за чего на этапе мойки в ванне будет осуществляться достаточно хорошее разделение ПВХ и ПП. Незначительная доля термоэтикеток (0,5 %) является хорошим показателем, так как часто после мойки на поверхности хлопьев остаются следы клея и комбинированной этикетки (бумага + пленка), которые ухудшают качество получаемых при экструзии гранул.

Крышка-платинка изготавливается преимущественно из алюминия (41 % от общей массы всех крышек ПП-тары без загрязнений), а дополнительная крышка чаще всего состоит из полиэтилена – 39 % и ПЭТ – 19 %. Как уже было сказано выше, ПЭТ тонет, а полиэтилен всплывает, поэтому при переработке могут возникать трудности в отделении полиэтилена из основного потока полипропилена.

Выводы

Итоговые результаты исследований по определению состава отходов упаковки из полиэтилена и полипропилена показали, что основная пластмасса составляет только 85 % и около 50 % массы отходов соответственно. Оставшаяся доля приходится на загрязнения и другие материалы – полимеры, бумагу, металл, которые используются для изготовления вспомогательных элементов упаковки – этикеток, крышек, наклеек, колец, дозаторов и т.д. При переработке отходов упаковки из полиэтилена и полипропилена с получением вторичных гранул все прочие материалы должны быть удалены, соответственно, чем выше их содержание в исходном потоке, тем ниже выход вторичного сырья.

Кроме того, при переработке необходимо учитывать, из каких именно материалов изготовлены прочие элементы упаковки, кроме «тела». Технологии механического рециклинга ПНД- и ПП-тары идентичны и заключаются в дроблении, мойке и разделении хлопьев по плотности, удалении легкой фракции (этикетки) и металлов, сушки и экструзии хлопьев с получением гранул. Разделение хлопьев по плотности в воде, воздушная, магнитная и вихревая сепарации позволяют отделить ПЭТ, ПВХ, этикетки и металлы, выделив смесь схожих по своим свойствам ПНД и ПП. Кроме того, нанесенные чернила и вплавляемая этикетка на ПП-таре могут оставаться на хлопьях даже после измельчения и мойки.

Полиэтилен и полипропилен имеют разную температуру плавления, поэтому их разделение до экструзии, например за счет использования оптической сортировки в ближней инфракрасной области спектра, является обязательным условием получения качественного вторичного сырья.

Список литературы

- [1] Волкова А.В. Рынок крупнотоннажных полимеров. Москва : Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики», 2020.
- [2] Geyer R, Jambeck JR, Law KL. Production, use, and fate of all plastics ever made // Science Advances. 2017. Vol. 3, no. 7. Article no. e1700782. <https://doi.org/10.1126/sciadv.1700782>
- [3] Сперанская О., Понизова О., Цитцер О., Гурский Я. Пластик и пластиковые отходы в России: ситуация, проблемы и рекомендации // Международная Сеть по Ликвидации Загрязнителей (International Pollutants Elimination Network), 2021.

- [4] Ревяко М.М. Теоретические основы переработки полимеров : учеб. пособие. Минск : Белорусский государственный технологический университет, 2009. 305 с.
- [5] Шайерс Д. Рециклинг пластмасс: наука, технологии, практика. Санкт-Петербург : Научные основы и технологии, 2012.
- [6] Koottatep T. Chapter 6. Plastic-to-values: technologies and applications // Marine Plastics Abatement. P. 219–284. https://doi.org/10.2166/9781789063448_0219.
- [7] Li B., Ma Y., Li H. A new journey of plastics: Towards a circular and low carbon future // Giant. 2022. Vol. 11. Article no. 100115. <https://doi.org/10.1016/j.giant.2022.100115> EDN: GYAZGO
- [8] Ragaert K., Delva L., Van Geem K. Mechanical and chemical recycling of solid plastic waste // Waste Management. 2017. Vol. 69. P. 24–58. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2017.07.044> EDN: YEGBAD
- [9] Brouwer M., Picuno C., Thoden van Velzen E.U., Kuchta K., De Meester S., Ragaert K. The impact of collection portfolio expansion on key performance indicators of the Dutch recycling system for Post-Consumer Plastic Packaging Waste, a comparison between 2014 and 2017 // Waste Management. 2019. Vol. 100. P. 112–121. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2019.09.012>.
- [10] Roosen M., Mys N., Kusenberg M., Billen P., Dumoulin A., Dewulf J., Van Geen K.M., Ragaert K., De Meester S. Detailed analysis of the composition of selected plastic packaging waste products and its implications for mechanical and thermochemical recycling // Environmental Science & Technology. 2020. Vol. 54, iss. 24. P. 15282–15292. <https://doi.org/10.1021/acs.est.0c03371> EDN: YXAOLW

References

- [1] Volkova AV. *The market of large-tonnage polymers*. Moscow: National Research University Higher School of Economics; 2020. (In Russ.)
- [2] Geyer R, Jambeck JR, Law KL. Production, use, and fate of all plastics ever made. *Science Advances*. 2017;3(7):e1700782. <https://doi.org/10.1126/sciadv.1700782>
- [3] Speranskaya O, Ponizova O, Tsitsner O, Gursky Y. Plastic and plastic waste in Russia: situation, problems and recommendations. *International Pollutants Elimination Network (IPEN)*; 2021. (In Russ.)
- [4] Revyako MM. *Theoretical foundations of polymer processing: a textbook*. Minsk: Belarusian State Technological University Publ.; 2009. 305 p. (In Russ.)
- [5] Shaiers D. *Plastics recycling: science, technology, practice*. Saint Petersburg: Nauchnye Osnovy i Tekhnologii Publ.; 2012. (In Russ.)
- [6] Koottatep T. Chapter 6. Plastic-to-values: technologies and applications. In: *Marine Plastics Abatement*. p. 219–284. https://doi.org/10.2166/9781789063448_0219.
- [7] Li B, Ma Y, Li H. A new journey of plastics: towards a circular and low carbon future. *Giant*. 2022;11:100115. <https://doi.org/10.1016/j.giant.2022.100115> EDN: GYAZGO
- [8] Ragaert K, Delva L, Van Geem K. Mechanical and chemical recycling of solid plastic waste. *Waste Management*. 2017;69:24–58. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2017.07.044> EDN: YEGBAD
- [9] Brouwer M, Picuno C, Thoden van Velzen EU, Kuchta K, De Meester S, Ragaert K. The impact of collection portfolio expansion on key performance indicators of the Dutch recycling system for Post-Consumer Plastic Packaging Waste, a comparison between 2014 and 2017. *Waste Management*. 2019;100:112–121. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2019.09.012>

- [10] Roosen M, Mys N, Kusenberg M, Billen P, Dumoulin A, Dewulf J, Van Geen KM, Ragaert K, De Meester S. Detailed analysis of the composition of selected plastic packaging waste products and its implications for mechanical and thermochemical recycling. *Environmental Science & Technology*. 2020;54(24):15282–15292. <https://doi.org/10.1021/acs.est.0c03371> EDN: YXAOLW

Сведения об авторах:

Полыгалов Степан Владимирович, кандидат технических наук, доцент кафедры «Охрана окружающей среды», Пермский национальный исследовательский политехнический университет, Российская Федерация, 614990, г. Пермь, Комсомольский проспект, д. 29. ORCID: 0000-0001-7633-3061; eLIBRARY SPIN-код: 5979-7410. E-mail: polyste17@mail.ru

Ильиных Галина Викторовна, кандидат технических наук, доцент кафедры «Охрана окружающей среды», Пермский национальный исследовательский политехнический университет, Российская Федерация, 614990, г. Пермь, Комсомольский проспект, д. 29. ORCID: 0000-0002-8829-3500; eLIBRARY SPIN-код: 2995-4576. E-mail: galina.perm.59@yandex.ru

Bio notes:

Stepan V. Polygalov, Candidate of Sciences (Engineering), Associate Professor, Department of Environmental Protection, Perm National Research Polytechnic University, 29 Komsomolsky prospect, Perm, 614990, Russian Federation. ORCID: 0000-0001-7633-3061; eLIBRARY SPIN-code: 5979-7410. E-mail: polyste17@mail.ru

Galina V. Ilinykh, Candidate of Sciences (Engineering), Associate Professor, Department of Environmental Protection, Perm National Research Polytechnic University, 29 Komsomolsky prospect, Perm, 614990, Russian Federation. ORCID: 0000-0002-8829-3500; eLIBRARY SPIN-code: 2995-4576. E-mail: galina.perm.59@yandex.ru