

ОТХОДЫ. БЕЗОТХОДНАЯ И МАЛООТХОДНАЯ ТЕХНОЛОГИИ

DOI: 10.36535/0869-1002-2021-06-1

ИЗВЛЕЧЕНИЕ ВТОРИЧНОГО СЫРЬЯ ИЗ БЫТОВЫХ ОТХОДОВ: СТЕКЛО И ПОЛИМЕРЫ

М.П. Громова, к.т.н. А.А. Вареничев, к.т.н. И.И. Потанов (ipotanov37@mail.ru)
Всероссийский институт научной и технической информации ВИНТИ РАН

Во всем мире увеличивается производство различных изделий из полимеров, доля которых в общем объеме ТКО может достигать 40%. В тоже время этот материал при захоронении очень долго разлагается. Многофункциональные торговые центры наиболее часто используют для упаковки товаров полиэтиленовые пакеты, доля которых в загрязнении окружающей среды настолько велика, что ряд стран запретил их использование при реализации различного рода (в основном продовольственных) товаров. Повсеместное распространение пластиковых бутылок привело к тому, что в морях стали образовываться из них целые плавучие острова

Ключевые слова: стекло, полимер, пластик, шихта, стеклотара, пластмасса, упаковка, пленка, ПТЭФ-бутылки

RECOVERY OF SECONDARY RAW MATERIALS FROM MSW (GLASS AND POLYMERS)

Gromova M.P., Varenichev A.A., Potanov I.I.

All over the world, the production of various products from polymers is increasing, the share of which in the total volume of MSW can reach 40%. At the same time, this material decomposes for a very long time during burial. Multifunctional shopping centers most often use plastic bags for packaging goods, the share of which in environmental pollution is so great that a number of countries have banned their use in the sale of various kinds (mainly food) goods. The ubiquity of plastic bottles led to the fact that in the seas began to form from them whole floating islands

Key words: glass, polymer, plastic, charge, glass containers, plastic, packaging, film, PTEF bottles

1. Глобальное соглашение по пластмассам

1.1. Проблема пластмасс

Пластмасса - важный и универсальный материал в экономике и повседневной жизни. Она выполняет множество функций, которые помогают решать ряд задач, стоящих перед нашим обществом. Легкие и инновацион-

ные материалы в автомобилях или самолетах позволяют экономить топливо и сокращать выбросы CO₂. Высокоэффективные изоляционные материалы помогают нам экономить на счетах за электроэнергию. В упаковке пластмассы помогают обеспечить безопасность пищевых продуктов и уменьшить количество пищевых отходов. Биосовместимые полимерные материалы могут спасти человеческие жизни, способствуя внедрению медицинских инноваций.

Пластмассы являются универсальной характеристикой современной жизни благодаря их различным материальным преимуществам, включая гибкость, эксплуатационную надежность и адаптивность [1]. Мировое производство пластмасс достигло 314 млн. т, что соответствует росту в 12 раз с 1960-х годов. Ожидается, что оно достигнет 1,2 млрд. т в год к 2050 г. Производство пластмасс и сжигание отходов пластмасс, по оценке, приведет в мире к образованию примерно 400 млн. т выбросов CO₂ в год¹. Если нынешние тенденции продолжатся, к 2050 г. для этого потребуются рост мирового производства нефти на 20% и рост выбросов диоксида углерода на 15%². Кроме того, вследствие низких цен на пластмассы, повторное использование и рециклинг пластмасс по окончании срока службы остается очень низким, особенно по сравнению с другими потоками материалов. В ЕС порядка 29,1 млн. т отходов пластмасс образуется каждый год, и только 32,5% таких отходов собирается для рециклинга³. Во всем мире от 8 до 13 млн. т пластмасс поступает каждый год в океаны⁴. Экономическая деятельность, оказывающая воздействия в виде морского пластикового мусора, включает перевозки грузов, рыбную ловлю, аквакультуру, туризм и рекреацию. Соответствующие издержки можно оценить, по крайней мере, в 8 млрд. долл. в год для всего мира⁵.

Ожидается, что производство пластмасс удвоится снова в следующие 20 лет, на основе данных о нынешнем производстве и тенденций обращения с отходами, и 12 млн. т отходов пластмасс будет депонироваться на полигонах или попадет в окружающую среду к 2050 г.⁶ Поэтому решение должно выходить за пределы обращения с отходами, и акцент должен быть сделан на предотвращение образования отходов, а также на ресурсоэффективное и долговременное циркулярное использование продукции пластмасс⁷.

¹ <https://ec.europa.eu/environment/circular-economy/pdf/plastics-strategy-brochure.pdf>.

² Ellen McArthur Foundation (2016), *The New Plastics Economy*, CIEL (2019), *Plastic & Climate*.

³ <https://ec.europa.eu/environment/circular-economy/pdf/plastics-strategy-brochure.pdf>.

⁴ Jambeck, J.R., Geyer, R., Wilcox, C., Siegler, T.R., Perryman, M., Andrady, A., Narayan, R. & Law, K.L. (2015), *Plastics waste inputs from land into the ocean*, *Science*, Volume 347, 6223, pp. 768-771.

⁵ SWD (2018) 16, p.17.

⁶ UNEP (2018), *Combating marine plastic litter and microplastics: an assessment of the effectiveness of relevant international, regional and subregional governance strategies and approaches – summary for policymakers*, UNEP/AHEG/2018/1/INF/3. (https://papersmart.unon.org/resolution/uploads/unep_ahег_2018_inf3_summary_assessment_en_rev.pdf).

⁷ В 2018 г. Комиссия одобрила всеобъемлющую Европейскую стратегию для пластмасс в циркулярной экономике (COM (2018)28), с последующей в 2019 г. Директивой (ЕС) 2019/204 Европейского Парламента и Совета от 5 июня 2019 г. об уменьшении воздействия некоторых видов пластмасс на окружающую среду (OJ L 155, 12.6.2019, pp. 1-19). Продолжается работа (<https://ec.europa.eu/research/sam/index.cfm?pg=pollution>) по борьбе с преднамеренно добавляемым и непреднамеренно выбрасываемым микропластиком, например, от изношенных шин, синтетического текстиля, гранул пластика и предпроектированных пластиковых пеллет.

1.2. Продвижение к глобальному соглашению по пластмассам

Несмотря на многие политические и законодательные инициативы по отходам пластмасс, нет специального международного соглашения, направленного на элементы производства и потребления, относящегося к пластиковому загрязнению. Множество кампаний и усилий в настоящее время устремлено на действия по уменьшению количества и рециклинг пластмассовой продукции, но только в нескольких странах принимаются реальные меры для решения проблемы пластикового загрязнения в начале жизненного цикла такой продукции (например, дизайн изделия и устойчивое производство и потребление). Интересно отметить, что ряд развивающихся стран⁸ приняли меры по запрещению использования одноразовых пластмасс. Но отсутствие глобального соглашения о вариантах реагирования также препятствует способности стран эффективно осуществлять некоторые такие меры, особенно такие, которые имеют торговые последствия и/или оказывают воздействие на стандарты изделий (например, относящиеся к намеренно добавляемым микропластикам)⁹.

Содействие глобальному внедрению подхода циркулярной экономики ЕС к пластмассам обладает потенциалом значительного снижения общего воздействия пластмасс на окружающую среду (как на земле, так и в морях). Международное соглашение по предотвращению пластикового загрязнения должно оказать содействие решению глобальной проблемы пластикового кризиса, в соответствии с Европейской стратегией по пластмассам¹⁰. Прямые ссылки на международное соглашение по пластмассам были сделаны государствами-членами ЕС в заключениях Совета по циркулярной экономике¹¹ и океанам и морям¹². Совсем недавно в своем решении по Европейскому Зеленому Курсу Европейский Парламент призвал к глобальным действиям по решению проблемы пластиковых загрязнений¹³.

В соответствии с подходом, сформулированным в Европейской стратегии по пластмассам, глобальное соглашение по пластмассам может быть нацелено как на наземные, так и морские источники пластикового загрязнения, в том числе все типы намеренно добавляемые и непреднамеренно выделяемые микропластики, и может охватывать весь жизненный цикл пластмасс (проектирование, производство, логистика, потребление и стадия отходов). Это должно привести к более сбалансированному подходу на глобальном уровне, так что весь жизненный цикл пластмасс, а не только стадия обращения с отходами (см. раздел 3.7 по Базельской конвенции) будет учитываться при разработке циркулярных решений, а затраты и усилия более равномерно будут распределены по цепочке жизненный цикл продукта/поставка. Таким образом, синергия с работой на национальном, региональном и многостороннем уровне¹⁴ может полностью использоваться с учетом особенностей, характерных для каждой страны.

⁸ В том числе Бангладеш, Мавритания, Марокко, Руанда, Эритрея и в последнее время Сенегал.

⁹ Микропластики, которые намеренно разрабатываются для добавления в различные виды продукции (например, косметические продукты, моющие средства и средства по уходу, краски и покрытия, строительные материалы и лекарственные средства).

¹⁰ COM (2018) 28.

¹¹ 12791/19 (4 October 2019).

¹² 14249/19 (19 November 2019).

¹³ 2019/2956 (RSP).

¹⁴ Практически, как упоминалось выше, в контексте Базельской конвенции.

Извлечение вторичного сырья из ТКО подразумевает извлечение полезных материалов, прежде всего таких как бумага, стекло, пластик и металлы, которые могут быть использованы для получения товарной продукции. Далее приводятся примеры извлечения вторичного сырья из стекла и полимеров.

2. Переработка пластмасс

В последнее время все более актуальным становится вопрос переработки пластмасс. Актуальность обосновывается следующими факторами:

- пластмассы плохо или вообще не разлагаются;
- пластмассы относительно легко перерабатываются;
- многие пластмассы пригодны для переработки без существенной потери свойств;

-количество пластиковых отходов и объемы применения позволяют создать масштабную переработку, обеспечивающую бизнес-привлекательность проектов. Доля пластика в общем объеме ТКО является одной из самых больших наряду со стеклом и макулатурой.

Если взять все виды отходов пластмасс в составе ТКО, то наибольшую долю составляет так называемая «разная пластмассовая упаковка», на втором месте – пленки, на третьем – ПЭТФ-бутылки, а потом уже все остальные пластики. Но если говорить о том, что выбирается, то на первом месте будут ПЭТФ-бутылки, потому что другие емкости могут быть сделаны из полиэтилена или полипропилена, их не так легко различить.

Несмотря на рост сбора ПЭТФ-бутылок, их содержание в общем объеме ТКО в России остается равным 16-17%, например, уровень вторичной переработки пластиковой упаковки в Канаде достиг 98% [2].

Потребность в полимерных материалах в масштабах всей Европы в 2014 г. составила около 47,8 млн. т, из которых примерно половина впоследствии так или иначе была собрана в качестве вторичных материалов. В то время как в девяти странах – Австрии, Германии, Бельгии, Дании, Люксембурге, Нидерландах, Норвегии, Швеции и Швейцарии – уже введен запрет на захоронение полимерных отходов, доля таких материалов, отправляемых на полигоны в других государствах, еще остается достаточно высокой, достигая 70% от общего объема. В перечень стран с максимальной долей направляемых на захоронение отходов входят Болгария, Греция, Хорватия, Мальта и Кипр. Однако эксперты отмечают, что в отличие от многих других отраслей слишком мало вторичных полимеров используется для замены первичного сырья. В масштабах всей Европы 50% металлолома применяется для производства стали. То же самое относится к бумажной промышленности: 50% макулатуры (бумаги и картона) после надлежащей переработки возвращается в производство новой бумаги и нового картона. Со стеклом дело обстоит несколько хуже – лишь 33% возвращается в стекольное производство. Между тем в полимерной отрасли для изготовления новых изделий используется только около 4% бывших в употреблении, а затем переработанных полимерных материалов. Возможно это объясняется тем, что полимерная промышленность является еще относительно молодой – полимеры начали широко применяться только с 1950 гг., а способы переработки бывших в употреблении полимерных изделий появились в 1990-х гг. [3].

По данным открытых источников на рынок поступает около 17 млрд. ПЭТФ-бутылок в год. С ростом объемов производства актуализируется вопрос вторичной переработки ПЭТФ. Большая часть пластика, расходуемого на производство упаковки используется только один раз, то есть не перера-

батьвается, а просто выкидывается. Емкость этого рынка оценивается в 120 млрд. долл. ежегодно. Повторная переработка одной тонны пластика позволяет сэкономить 750 кг нефти. Продукты переработки полиэтилена, пвх, полистирола, полиамида и прочего в виде дробленки могут использоваться в качестве сырья или добавки к основному сырью.

Рециклинг промышленных пластиков не вызывает значительных затруднений, так как на переработку поступают в основном отходы с известными физико-химическими свойствами. Основной проблемой рециклинга полимерных отходов является не отсутствие технологий утилизации (современные средства позволяют переработать до 90% полимерных отходов), а извлечение из массы ТКО пластика, который составляет их значительную долю (табл.).

Таблица

**Доля содержания различных упаковочных материалов
(по отношению к общему объему ТКО)**

Наименование	Доля содержания, %
Стекло	3
Бумага, картон	45
Полимер	43
Металл	2

Разработка полимерных материалов позволила создать широкий ассортимент недорогих, легковесных, продуктов высокого качества, и они стали основной частью технологического и социального развития.

Во Франции группа специалистов *Fabio Cruz**, *Silvia Lanza**, *Hakim Boudaoud**, *Sandrine Hoppe***, *Mauricio Camargo** представила доклад «**Рециклинг полимеров и аддитивное производство в контексте открытого программного обеспечения: Оптимизация процессов и методов (Polymer Recycling and Additive Manufacturing in an Open Source Context: Optimization of Processes and Methods [4].** (* Группа исследований инновационных процессов (EPRI), университет Лотарингии, Нанси, Франция; ** Лаборатория реакций и инженерных методов, университет Лотарингии, Нанси, Франция).

В Предисловии доклада отмечено следующее:

Рециклинг полимеров представляет собой способ снижения воздействия на окружающую среду накопленных материалов полимерных отходов. Однако часто наблюдается снижение уровня рециклинга на традиционных установках для рециклинга, главным образом из-за проблемы сбора и транспортирования большого объема легковесных полимеров на обычных централизованных установках для рециклинга. Так как демократизация 3D-принтеров с открытым доступом¹⁵ продвигается благодаря таким инициа-

¹⁵ Программное обеспечение с открытым кодом. Исходный код таких программ доступен для просмотра, изучения и изменения, что позволяет убедиться в отсутствии уязвимостей и неприемлемого для пользователя функционала.

тивам как FabLab environments¹⁶, имеется растущий интерес к тому, как использовать эту технологию для повышения эффективности использования сырьевых материалов. Было предложено проведение исследований, для того чтобы осуществлять рециклинг полимеров с помощью 3D-принтера с программным обеспечением с открытым кодом. Была сделана оценка рециклинга полиэтилена высокой плотности (HDPE), полученного из использованной тары из-под молока с помощью использования системы для изготовления нитевидных материалов с открытым исходным кодом, называемой RecycleBot¹⁷. В данном исследовании проведена оценка возможности механического рециклинга полилактида (полимолочной кислоты) (PLA), материала, широко используемого для 3D-принтеров с открытым доступом, для того чтобы оценить жизнеспособность использования этого подвергнутого рециклингу материала в 3D-принтерах с открытым доступом. Сделана оценка ухудшения механических и реологических свойств материала после ряда циклов процессов экструзии и печати. Определение характеристик подвергнутого рециклингу сырья для 3D-принтеров с открытым доступом подразумевает не только снижение воздействия полимерных отходов на окружающую среду, но также и позволит понять технические требования и проблемы для разработки машины / процесса рециклинга нити с открытым исходным кодом.

Сочетание 3D-принтеров с открытым исходным кодом и экструдеров для получения нитей полилактида может служить основанием новой парадигмы рециклинга вторичных полимеров, которая отменяет традиционную парадигму централизованного рециклинга полимеров, который часто бывает неэкономичным и энергоемким из-за транспортировки, для которой требуется энергия. Более того, определение характеристик также позволит исследовать новый источник материалов и новые композиционные материалы для 3D-печати с открытым исходным кодом, чтобы улучшить качество продукции, изготовленной с помощью этой технологии.

Выводы и будущие работы специаанстов из Франции

Цель данного исследования состояла в изучении механических, реологических и молекулярных свойств подвергаемой рециклингу PLA с использованием 3D-печати с открытым исходным кодом. Материал исходного сырья был приготовлен с использованием двухшнекового вращающегося экструдера. Результаты показывают, что механические свойства подвергаемого рециклингу материала находятся под влиянием процесса рециклинга. Модуль упругости остается постоянным. Однако удлинение при разрыве уменьшается на 10,63% после 5 циклов. Исследования SEC подтверждают значительное снижение молекулярных масс, порядка 26,73% после 3 экструзий по отношению к исходному полимеру и 46,91% после 5 экструзий. При использовании модели Карро, реологические эксперименты показывают уменьшение вязкости при нулевом сдвиге η_0 от 2729,21 Па.с, как при экструзии от 1 до 219,85 Па.с, так и в экструзии 5. Результаты MFI показывают значительное увеличение (примерно) в 6,05 раза по сравнению с исходным значением после рециклинга. Настоящие результаты указывают на жизне-

¹⁶ Инициатива, зародившаяся в Барселоне и Массачусетском технологическом институте, по созданию центров производства, исследований и обучения, в которых используется новейшее компьютерное программное обеспечение для создания прототипов и масштабных моделей.

¹⁷ Автоматизированная версия робота, разработанная в Мичиганском технологическом университете для изготовления пластиковых нитей из использованных полимерных бутылок.

способность утилизации PLA с использованием технологии 3D-печати с открытым исходным кодом

Это продолжающийся исследовательский проект, и он предназначен для дальнейшего изучения влияния размер сопла и ширины экструзии с 3D-принтером на механические и реологические свойства подвергаемого рециклингу материала. В различных исследованиях были разработаны математические модели, для того чтобы понять динамику комплексного разжижителя нити и разработать стратегии управления в фазе экструзии 3D-печати. Очень важно связать параметры процесса 3D-печати со свойствами материала. Следовательно, можно гарантировать получение оптимальных свойств, подвергаемых рециклингу материалов для модели распределенного рециклинга с использованием 3D-принтеров с открытым исходным кодом.

В данном обзоре следует представить материалы, опубликованные Шведской ассоциацией обращения с отходами «Обращение с отходами в Швеции в 2018 г. (Swedish Waste Management 2018, Avfall Sverige¹⁸)» [5].

Проблемы с пластмассами, направляемыми для рециклинга

Стекло и металлы – два вида материалов, которые теоретически можно подвергать рециклингу неограниченно до тех пор, пока они не загрязнены. Материальный рециклинг пластмасс, с другой стороны, усложняется, так как это материал, состоящий из различных видов пластика, а изделия часто состоят из нескольких композитных материалов¹⁹.

Исследования показывают, что в 2015 г. в ЕС было использовано 49 млн. т пластмасс. Почти половина их использовалась для упаковки. Остальная часть использовалась для различных целей, например, в строительной и автомобильной промышленности, в производстве мебели, игрушек и т.д. В ЕС уровни материального рециклинга пластмасс обычно низкие. Некоторые виды пластмасс типа полиэтилена, полиэтилена высокой плотности и полиэтилентерефталата легче подвергаются рециклингу, и у них выше уровни рециклинга. У других видов пластмасс низкие уровни сортировки и материального рециклинга.

Пластмассы – очень полезный материал, в котором сочетается много полезных свойств. Но они также могут создавать проблемы, как в производстве, так и при использовании. Различные воздействия на окружающую среду являются примерами таких проблем, наряду с образованием мусора. Пластмассы нельзя повторно использовать или подвергать рециклингу, поскольку в них содержатся опасные вещества, или были разработаны не должным образом, и это главная проблема, особенно на стадии отходов. Однако ответственность за решение проблемы начинается с этапов проектирования и производства. Avfall Sverige определила ряд положений²⁰ в отношении пластмасс с точки зрения лучшего обращения с материалами, но также выявила, что ответственность за выполнение необходимых целей лежит главным образом на производителях. Правительство также привлекло внимание к различным проблемам, которые могут вызвать пластмассы, и

¹⁸ Шведская ассоциация по обращению с отходами, основанная в 1947 г., со штаб-квартирой в Мальмё. Ассоциация состоит почти из 400 членов.

¹⁹ Report No. C₂₄₅ IVL “Material recycling of plastic waste from recycling centers”.

²⁰ <https://www.avfallverige.se/om-oss/vad-vi-tycker/>.

начало исследование по проверке возможностей снижения негативных воздействий пластмасс на окружающую среду. Исследование даст возможность предложить меры для увеличения материального рециклинга пластмасс и изучить необходимость в альтернативных методах/способах для повторного использования и материального рециклинга.

Шведское агентство охраны окружающей среды приняло решение оказать содействие SIS, Шведскому институту стандартов в разработке стандартов для рециклинга пластмасс, и стремится к международному развитию в направлении возрастания материального рециклинга пластмасс. Многие производители не желают использовать переработанные пластмассы, поскольку сомневаются в их пригодности и качестве. Международный стандарт может содействовать росту рециклинга.

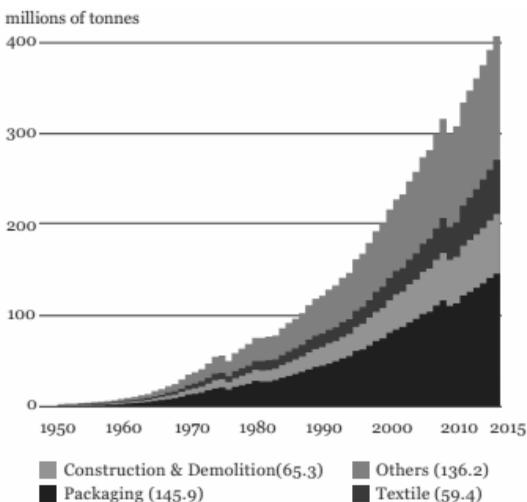


Рисунок. Различные виды отходов пластмасс в мире с 1950 по 2015 гг.

Пояснения к рисунку:

millions of tonnes – млн. т, construction & demolition – строительство и снос, packaging - упаковка, others - прочее, Textile – текстильные материалы

Важно увеличить рециклинг пластмасс, не в последнюю очередь из-за того, что для их производства в основном используются ископаемые топлива. Многие муниципалитеты в настоящее время обеспечивают сбор пластмасс, не связанных с упаковкой, рассматриваемых как муниципальные отходы пластмасс. Согласно информации в Avfall Web, в 2017 г. было собрано муниципалитетами 11740 т отходов пластмасс для рециклинга, что представляет рост на 6%, по сравнению с предыдущим годом.

Устойчиво возрастает технологическое развитие в области автоматизированной сортировки и материального рециклинга отходов пластмасс как вторичного сырья. Вместе с тем важно повысить спрос на переработанный материал, в особенности среди производителей, изготовителей и проектировщиков новой продукции.

3. Переработка стеклобоя

Стеклобойной промышленности жизненно необходим стеклобой для организации производства всех основных массовых стеклопродуктов: стекло-тары, листового стекла, строительных материалов на основе стекловолокна и пеностекла. Чтобы в стекольной печи расплавить стеклобой требуется примерно на 30% меньше энергии, чем для переплавки шихты, которая состоит лишь из первичных сырьевых компонентов. Кроме того, при более низкой температуре плавления стекломассы увеличивается срок службы стекловаренных печей, ремонт которых требует больших затрат.

Однако количество такого сырья на рынке очень незначительно и оно редко соответствует требованиям стекольной промышленности. Причина этого в почти полном отсутствии инфраструктуры для сбора и рециклинга этого материала. Таким образом стекольная отрасль испытывает серьезный недостаток качественного сырья. Цивилизованный сбор стекла отсутствует, а используемые сортировочные системы и комплексы по переработке ТКО в большинстве своем примитивны, поэтому стекло попадает на полигоны и свалки либо, в лучшем случае, отбирается вручную в небольших количествах и нестабильным качеством. Отобранное таким образом стекло еще не является вторичным сырьем. Часто такое стекло попадает на простейшие перерабатывающие комплексы, где осуществляется визуальный контроль, ручная сортировка, измельчение, просеивание, удаление черных металлов, после чего оно попадает к стекольщикам. В качественном вторичном сырье должно быть не больше 50 г камней и прочих инертных примесей на 1 т готового сырья. Учитывая дефицит вторичного сырья и меняющееся законодательство в сфере обращения с отходами, необходимо развивать отрасль и строить замкнутый ресурсный цикл, для того, чтобы отходы стекла подвергались сбору, обработке и возвращались в производство в виде вторичного сырья. Стекольная отрасль способна использовать большие объемы вторичного сырья. Например, в шихте в производстве бесцветной тары может и пользоваться 40-50% стеклобоя, а в производстве цветной – до 80-90%. В силу технологической и экономической зависимости стеклопроизводителей от стеклобоя существует и развивается стабильный рынок сбыта сырья, произведенного из вторичного стекла. Отсюда следует, что отходы стекла нужно собирать раздельно, либо отбирать из ТКО и впоследствии перерабатывать. Стекло – это единственный вторичный материал, который можно перерабатывать без потери свойств, крайне необходимый в производстве, позволяющий существенно уменьшить массу вывозимых на полигон отходов. При использовании автоматизированных систем по отбору стекла можно получить постоянный поток стекла для продажи на дальнейшую сортировку и переработку [5].

При производстве новой тары стекольному заводу требуются киловатты электроэнергии и десятки тонн кварцевого песка, а при плавлении в окружающую среду выбрасываются тонны углекислого газа. В то же время миллионы тонн стекла складываются мертвым грузом на свалках. В основном переработка стеклобоя не развивается надлежащими темпами из-за того, что стекло – материал достаточно дешевый, а сбор его в промышленных объемах – процесс трудоемкий. К тому же предприятия, перерабатывающие стеклоотходы для получения тары, специализируются на выпуске стеклобойной продукции определенного цвета.

Предприятие, осуществляющее сбор стеклоотходов, может рассортировать их по цветам с помощью специального оборудования или в ручном

режиме, но доставка этого стекла на стекольное предприятие делает прибыль сборщиков отходов стекла если не отрицательной, то близкой к нулю. Сбор, транспортирование и сортировка стеклоотходов – самые дорогостоящие звенья в цепочке утилизации стеклобоя. Для качественной сортировки стеклобоя недостаточно различать его по цветам - из-за различий в химическом составе и температуре плавления сырье может оказаться непригодным для получения качественной продукции. Большая проблема переработчика вторичного сырья – его загрязнение, что вызывает рост себестоимости переработки. Если при подготовке не было произведено соответствующей обработки, то токсичные вещества выдерживают процесс переработки и оказываются частью нового продукта. Не менее актуален и процесс очистки стеклобоя, извлекаемого из ТКО, от примесей металлов и неметаллов. На первом этапе перерабатываемый стеклобой загружается на медленно движущийся конвейер и работники вручную выбирают крупный мусор. Затем отходы стекла пропускают через магнитные и парамагнитные сепараторы. Приготовленный таким образом стеклобой поступает в предварительную мельницу. Затем снова очищают от грязи и примесей. Затем стеклянная масса обрабатывается специальными растворами и направляется на дополнительное измельчение до необходимых размеров. Затем стеклобой сортируется по фракциям, промывается и после этого готов к переработке. Многие предпринимателя, желающие заниматься выпуском изделий из переработанного стеклобоя, отказываются от первоначальных планов. Если процесс переработки стекла в нашей стране не станет рентабельным, то и работа с ним как с вторсырьем теряет всякий смысл [6].

Литература

1. Прокладывающая путь к глобальной циркулярной экономике: состояние дел и перспективы (Leading the way to a global circular economy: state of play and outlook). Рабочий документ персонала Комиссии SWD (2020) 100 заключительный Европейская Комиссия, Брюссель, 11 марта 2020 г. Commission Staff Working Document.European Commission, Brussels, 11.3.2020, SWD (2020) 100 final
2. *Раев К.В.* Переработка отходов пластмасс в России // ТБО.- 2017.- №1.-С.7-9.
3. *Палыга Р.Б.* Потенциальные возможности переработки полимеров // ТБО.- 2017.- №1.- С. 26-29.
4. *Fabio Cruz**, *Silvia Lanza**, *Hakim Boudaoud**, *Sandrine Hoppe***, *Mauricio Camargo** Polymer Recycling and Additive Manufacturing in an Open Source Context: Optimization of Processes and Methods (Рециклинг полимеров и аддитивное производство в контексте открытого программного обеспечения: Оптимизация процессов и методов.
- 5.Обращение с отходами в Швеции в 2018 г. (Swedish Waste Management 2018, Avfall Sverige²¹)
- 6.*Трофимов Г.В.* Что делать с бытовыми отходами стекла? //ТБО.- 2017.- №5.- С.18-21.
7. *Протасов Н.И.* Бесконечно перерабатываемый материал // ТБО.- 2018.- №10.- С. 38-42.

²¹ Шведская ассоциация по обращению с отходами, основанная в 1947 г., со штаб-квартирой в Мальмё. Ассоциация состоит почти из 400 членов.