

Вопросы оптимизации процесса сбора и переработки пластикового мусора в океане

П.В. Новикова¹, А.М. Сергеев², П.В. Суслов²

¹Veneq Oy, Finland

²Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения

Аннотация: В работе рассматривается решение актуальной проблемы – переработки скоплений пластикового мусора в океане. Отдельное внимание уделено организации процесса сортировки, идентификации и переработки пластика непосредственно в океане на судах переработки. Выделены механическая переработка и пиролиз, продукты которых могут использоваться для поддержки отраслей строительства, дорожного строительства и электроэнергетики прибрежных развивающихся стран.

Ключевые слова: пластиковый мусор, микропластик, переработка пластика в океане, распознавание типа пластика.

Введение

Сегодня, в эпоху потребления, товары в значительной степени приобретают коммерчески заманчивый вид за счет упаковки, позволяющей не только сохранять товарный вид продукции, но и дополнять ее внешним оформлением. При этом упаковка сама по себе после покупки становится ненужной и становится мусором.

Кроме того, мусором становится ежегодно в мире огромное количество изделий из пластика: тара, бытовые вещи, игрушки, части и конструктивы механизмов и бытовой техники, компьютеров и др. Всего, по подсчетам специалистов, образуется свыше 400 млн. т. пластиковых отходов в год [1]. Часть пластика перерабатывается, часть складывается на свалках, но до 80% всех существующих пластиков накапливается в окружающей среде – на земле и в океане. Очевидно, что вклад промышленно развитых стран в создание в конечном итоге пластикового мусора наиболее значим. Согласно исследованию, результаты которого опубликованы в газете The Guardian [2], Австралия возглавляет список стран, производящих наибольшее количество одноразовых пластиковых отходов на душу населения. За ней следуют США,

Южная Корея и Великобритания. Тем не менее, в генерации бытового мусора в кг на человека в различных по уровню потребления странах пластик составляет не менее 10%.

Самыми большими производителями одноразовых пластиковых отходов в мире являются компании ExxonMobil (5,9 млн т), крупнейшая американская химическая компания Dow (5,5 млн т), китайское нефтегазовое предприятие Sinopet (5,3 млн т).

Классификация пластиков [3] содержит основные шесть наименований, относя все остальные к отдельной группе, в том числе, очень токсичные пластики на основе бисфенола А. Пластики групп LDPE и HDPE (полиэтилен) и PP (полипропилен) подлежат многократному использованию как наиболее безопасные (с оговорками), пластики групп PET, PCV и PS менее безопасные и не рекомендуемые ко вторичному использованию.

Однако, не только токсичность/нетоксичность пластиков определяет необходимость борьбы с их накоплением и переработкой. В отличие от пищевых продуктов, бумаги, картона, да и железа, некоторые виды пластиков разлагаются в местах утилизации не менее 300 лет, накапливаясь и загрязняя окружающую среду.

Особенно большую опасность для окружающей среды представляют несанкционированные свалки с пластиком в лесах, в полях, в воде. На заводах по переработке бытовых отходов есть возможность организации технологических цепочек, ориентированных на отдельную переработку, а в местах несанкционированного складирования отходов таких возможностей нет.

Целью работы является анализ возможной оптимизации функционирования современных систем сбора и переработки пластика в местах его накопления в океане и перспектив использования продуктов его переработки.

Способы переработки пластика

Снижение количества пластика, который попадает в окружающую среду, в перспективе можно добиться его правильной утилизацией и созданием экономики замкнутого цикла за счет переработки и вторичного использования, превращая их в ценные ресурсы [4].

На рис. 1 приведена схема жизненного цикла пластика при следовании правилам экономики замкнутого цикла [4]. В процессе переработки пластик превращается в мономеры, а в дальнейшем, при протекании процесса полимеризации, – в полимеры, как правило, в гранулах. Такой подход можно считать жизнеспособным как альтернативу неустойчивому линейному подходу – «бери-сделай отходы» [5].

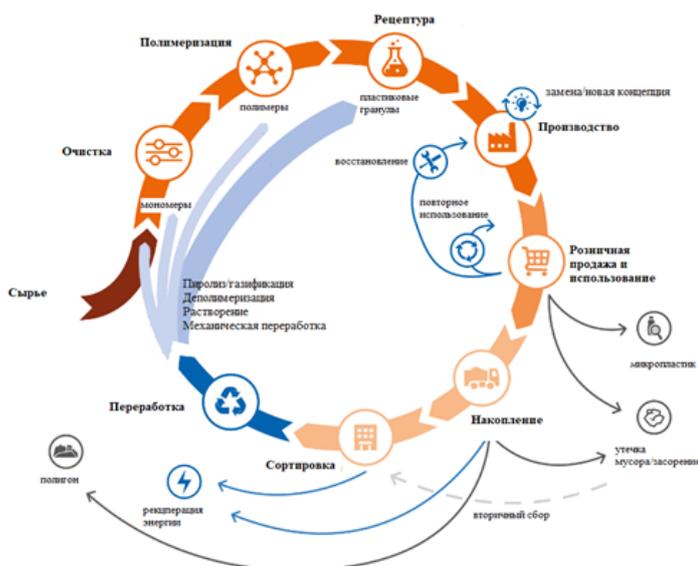


Рисунок 1 – Цепочка создания пластмасс

Источник: A circular economy for plastics, 2021 [4]

Наиболее распространенные способы переработки пластика для повторного использования реализуются на основе химического, термического, механического, биотехнологического процессов.

Химические процессы включают в себя:



– деполимеризацию (сольволиз) – переработку пластиковых отходов в мономеры при использовании растворителей – воды, гликоля, спирта и солей щелочных металлов (катализаторы) при невысокой температуре;

– гидролиз и гликолиз – методы для получения очищенных от токсичных веществ гранул с применением водно-кислотного раствора и высокой степени теплоты;

– метанолиз – метод реализуется при высоком давлении и высокой температуре для получения полиэфиров;

– термокатализ – метод превращения измельченного пластика в жидкое топливо после его нагревания до 420°C . Продуктами переработки являются мазут, дизель или бензин.

Термические процессы включают:

– пиролиз – процесс образования из пластика золы, газа и жидких веществ при высоких температурах (около 600°C) в бескислородных условиях с катализатором или без него. Его производят при невозможности осуществить механическую переработку пластика из смешанных отходов.

– газификацию – обработку пластика потоком плазмы при температурах до $+1200^{\circ}\text{C}$. Преимуществом газификации пластиковых отходов является получение синтетического газа, в составе которого преобладает H_2 , CO и нет смол, и золы.

Механический процесс переработки пластиковых отходов основан на предварительной сортировке и удалении летучих органических соединений и рециклинге – получении с помощью экструдера рециклата – полимерного материала для изготовления изделий при смешивании его с чистыми пластмассами.

Биотехнологические процессы используют разложение пластмасс при повышенных температурах, воздухе, влаге, солнечном свете, почвенных микроорганизмах. Под их действием пластмассы образуют

низкомолекулярные продукты – углекислый газ и воду, накапливаясь и ассимилируясь в почве.

Сбор и переработка пластикового мусора в океане

Особую тревогу у экологов и правительств многих государств вызывает накопление пластикового мусора в океане, где, превращаясь в микропластик, он накапливается в рыбе и других биоресурсах океана. Впоследствии микропластик с ними в виде пищи попадает в организм человека, принося значительный ущерб здоровью. По скорости накопления пластика в океанах планеты, предсказывается, что к 2050 г. масса пластика в мировых океанах превысит массу всех обитающих там рыб [6].

Оценки структуры пластикового мусора в океане показывают, что только 18% его связано непосредственно с рыбным промыслом, а остальное – бытовой пластиковый мусор, выбрасываемый с судов в океане, и, в значительно большем объеме, выносимый реками с континентов.

Подхватываемый океанскими течениями указанный пластиковый мусор концентрируется в нескольких местах Тихого, Атлантического и Индийского океанов, хотя пластик встречается везде – от Северного полюса до Южного. Места наибольшей концентрации мусора, согласно представлению агентства BBC [7], приведены на рис. 2.

Уменьшение количества пластика в океане возможно благодаря контролю количества выносимого реками пластика, как главного источника пластикового загрязнения. В настоящее время используются различные технологии для решения проблемы накопления и идентификации пластика в гидросфере. Например, компания The Bubble Barrier [8] создала технологию захвата пластика в реках до его попадания в океан. Система водосбора включает в себя пузырьковую завесу с подачей воздуха с помощью компрессоров. Основной процесс основан на создании водяного потока с перемещением пластика на поверхность воды и его удержании для сбора.

Преимуществами данной технологии является безопасность для биосферы реки и для движения судов, увеличение концентрации растворенного кислорода в воде, покрытие всего руслового потока реки. Первый в мире пузырьковый барьер был установлен в Амстердаме в 2019 г.

Компания The Ocean Cleanup [9] разработала interceptor – перехватчик пластика для предотвращения его попадания в океан.

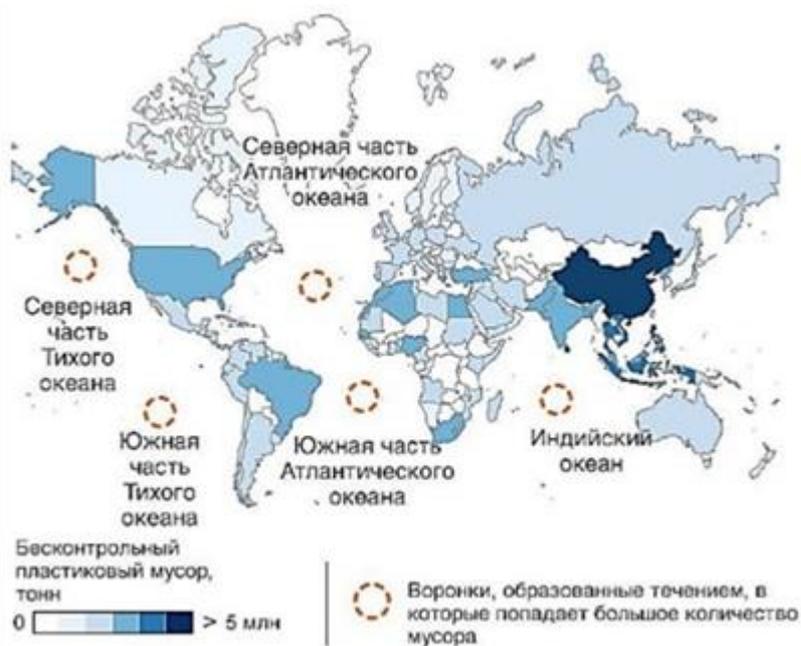


Рисунок 2. – Места концентрации пластикового мусора в океанах

Источник: материалы BBC [7]

Благодаря внедрению этих и подобных технологий возможны сбор накопление пластика с целью его переработки, исключаящее загрязнение морей и океана в целом. Переработка же пластика, находящегося и концентрирующегося в океане, затруднительна. Вылов мусора с доставкой его на перерабатывающие предприятия на суше является весьма затратным. Поэтому актуальной является задача сортировки и переработки пластика непосредственно в океане с транспортировкой продуктов переработки, в значительно меньших объемах, на сушу, и использования в хозяйственной деятельности. При этом естественная водная среда является удобной для

сортировки и идентификации пластикового мусора. Специально создавать бассейны с водой как на предприятиях МПБО, как правило пресной, для сортировки в океане не требуется.

Организация предлагаемого производственного процесса в океане (море) предполагает наличие:

- судна переработки с технологическими линиями вылова, идентификации и сортировки, переработки пластикового мусора на борту;
- судов обеспечения, на которые возлагаются задачи:
- снабжения систем жизнедеятельности судна переработки;
- доставки реагентов и других расходных материалов;
- транспортировки продуктов переработки для использования на суше.

Ниже рассмотрим организацию систем на борту судна переработки.

Распознавание типа пластика

Для распознавания (идентификации) и, следовательно, сортировки пластика на современном этапе развития технологий используются:

- видеокамеры, работающие в видимом диапазоне;
- мультиспектральные камеры, спектрометры.

Первые предназначены для систем распознавания по внешнему виду и форме пластиковых отходов. Такие системы сегодня реализуются с использованием свёрточных нейронных сетей, обученных, например, на внешних видах тары, бутылок различных типоразмеров, упаковок стандартизованного вида.

Вторые, идентифицирующие пластики по их спектрам, как правило [10] оснащены полной базой спектров полимеров: любой пластик может быть идентифицирован, в том числе, с привлечением к процессу идентификации искусственного интеллекта. Пример различия спектров, полученных при

исследовании и идентификации микропластика, извлеченного из поверхностных вод [11], приведен на рис. 3.

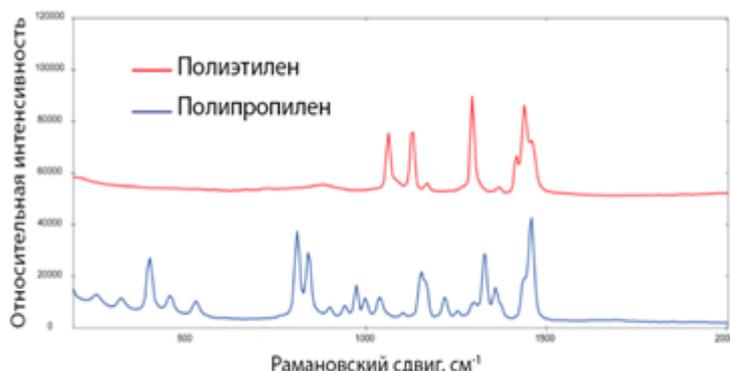


Рисунок 3 – Спектры микропластика из полиэтилена и полипропилена

Переработка пластика в океане и использование продуктов переработки

Превращение пластиковых отходов в ценные ресурсы в будущем не только решит ряд экологических проблем, а именно предотвращение попадания микропластика и его составляющих канцерогенных веществ в окружающую среду, но и позволит контролировать выбросы CO₂.

Борьба с накоплениями пластикового мусора в океане на судне переработки может осуществляться как:

- переработка с использованием пиролиза (разложения пластика);
- производство изделий и придание им новых свойств без изменения состава и состояния пластика.

Системы пиролиза, в которых пластики химически распадаются, позволяет производить из них мазут, печное топливо, горючий газ, бензин, воски и др. Так, при переработке 1 т пластикового мусора можно получить до 10 % горючего газа, около 85% жидких компонентов и до 5% несжигаемой золы [12]. Пиролиз – это компромисс между энергоэффективным и экологически чистым способом переработки отходов из пластика. Путем разложения уничтожается до 90 % вредных веществ.

В качестве промышленных технологических линий переработки, находящихся на судах, могут использоваться линии по:

- производству строительных блоков из пластиковых пакетов, изготовленных из пластика типа LDPE [13];
- производству полимера из пластиков для использования в асфальтовой смеси вместо битума [14];
- производству добавок в асфальтовую смесь, бетоны [15, 16];
- производство мазута и печного топлива [12].

Судно переработки и судно обеспечения имеют возможность использовать производимый мазут и газ для собственного потребления, поддерживая свою жизнедеятельность за счет реализуемых технологий переработки. Однако проблему представляет несоизмеримо больший объем продуктов переработки, которые следует эффективно использовать.

Благодаря практике экологической устойчивости [17], получаемые из пластика композиты привлекают внимание и в других отраслях, таких, как сельскохозяйственное производство, автомобилестроение, авиастроение, строительство, производство медицинских принадлежностей и упаковки.

На рис. 2 видно, что два основных места скопления пластикового мусора в Атлантическом океане приближены к Африканскому континенту. Соответственно, следует сформулировать предложение правительствам прибрежных стран Африки по поставке продукции для развития дорожных сетей, строительных блоков для строительства зданий и сооружений, мазута и печного топлива для электрогенерирующих предприятий, других продуктов для развития различных производств.

Переработка пластика в его скоплениях в Тихом и Индийском океанах могут способствовать тем же целям для развивающихся стран Южной Америки и Восточной Африки.

Одним из главных методов борьбы с загрязнением окружающей среды пластиковыми отходами является использование существующей правовой базы в ходе обращения с пластиком и внесение новых контролирующих актов в нормативно-правовую базу.

Однако, успешная и оперативная реализация предлагаемой структуры процесса, перерабатывающего пластик в океане, и согласованного использования продуктов переработки на суше должна опираться и на документы и поддержку международных организаций соответствующего профиля:

- организацией ООН по промышленному развитию (UNIDO);
- Всемирной организацией здравоохранения (WHO);
- Международной морской организацией (ИМО);
- Международным союзом охраны природы и природных ресурсов (IUCN);
- многими другими международными структурами, ориентированными на помощь развивающимся странам.

Заключение

Накопления пластика в океане, катастрофические по объемам, требуют срочного вмешательства человека, во-первых, с технологиями предотвращения загрязнения океанов (морей) блокированием выноса пластика реками, а, во-вторых, с современными технологиями переработки и повторного использования пластиков.

Океан является удобной средой для сортировки пластикового мусора, поскольку он уже частично отсортировывает этот мусор от стекла и металла, а в местах длительного накопления – и от бумаги, картона, пищевых отходов.

Переработка пластикового мусора в океане может стать основой создания производств продукции для использования и поддержки

промышленного развития развивающихся прибрежных стран Африки и Латинской Америки.

Литература

1. Садовская А.В., Ильючик И.В. Сортировка и переработка пластиковых бытовых отходов – путь к ответственному потреблению и производству // Географические и экономические исследования в контексте устойчивого развития государства и региона. Материалы III Международной научно-практической конференции. Донецк, 2021. С. 37-39.
2. Twenty firms produce 55% of world's plastic waste, report reveals. URL: theguardian.com/environment/2021/may/18/twenty-firms-produce-55-of-worlds-plastic-waste-report-reveals (Дата обращения 28.09.2023)
3. Все о вторсырье. Опасный пластик. URL: makulaturu.ru/articles/opasniy-plastik/ (Дата обращения 28.09.2023)
4. A circular economy for plastics, 2021. URL: tno.nl (Дата обращения 04.09.2023)
5. CIRCULAR CITIES Holland Circular Hotspot, 2019. URL: hollandcircularhotspot.nl/wp-content/uploads/2019/04/HCH-Brochure-20190410-web_DEF.pdf (Дата обращения 05.09.2023)
6. Белова М.К., Кондратенко Л.Н. Миграция пластика в мировой океан. Экология речных ландшафтов. Сборник статей по материалам IV Международной научной экологической конференции. Краснодар, 2020. С. 8-11.
7. Семь графиков, объясняющих, почему пластик в океане - это плохо. URL: bbc.com/russian/features-42307854 (Дата обращения 05.09.2023)
8. The Bubble Barrier. URL: thegreatbubblebarrier.com/technology/ (Дата обращения 06.09.2023)
9. The Ocean Cleanup. URL: theoceancleanup.com/ (Дата обращения 06.09.2023)



10. Компания «Спектр-М». URL: enspectr.ru/about/ (Дата обращения 28.01.2023)
11. Идентификация микропластиков с помощью рамановской микроскопии. URL: czl.ru/blog/raman-spectroscopy/identification-of-microplastics-with-portable-raman-microscopy.html (Дата обращения 05.09.2023)
12. Пиролиз пластиков как способ получения топлива. URL: rcycle.net/plastmassy/piroliz-plastikov-kak-sposob-polucheniya-topliva/ (Дата обращения 05.09.2023)
13. Ремизова В.М. Композиты из отходов // Университетская наука. 2018. № 1(5). С. 79-82.
14. Асфальт из переработанного пластика в Великобритании. URL: dtech.su/bitumen-plastic/ (Дата обращения 05.09.2023)
15. КК Plastic Waste Management Ltd. URL: kkplasticroads.com/ (Дата обращения 05.09.2023)
16. Киянец А.В. Эффективность применения продуктов вторичной переработки полиэтилентерефталата в бетонах // Инженерный вестник Дона. 2022. №2. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2022/7487
17. Ritu P. Chapter 9 - Green composites: Versatile uses and applications in life / Editor(s): Tariq Altalhi, Inamuddin, Green Sustainable Process for Chemical and Environmental Engineering and Science. Elsevier, 2022. P. 165-193. Doi:10.1016/B978-0-323-99643-3.00002-4

References

1. Sadovskaya A.V., Il'yutchik I.V. Geograficheskie i ekonomicheskie issledovaniya v kontekste ustojchivogo razvitiya gosudarstva i regiona. Materialy III Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii. Pod obshchej redakciej E.G. Koshelevoj. Doneck, 2021. pp. 37-39.
-

2. Twenty firms produce 55% of world's plastic waste, report reveals. URL: theguardian.com/environment/2021/may/18/twenty-firms-produce-55-of-worlds-plastic-waste-report-reveals (accessed 28.09.2023)
 3. Vse o vtorsyr'e. Opasnyj plastik [All about recyclables. Dangerous plastic]. URL: makulaturu.ru/articles/opasniy-plastik/ (accessed 28.09.2023)
 4. A circular economy for plastics, 2021. URL: tno.nl (accessed 04.09.2023)
 5. CIRCULAR CITIES Holland Circular Hotspot, 2019. URL: hollandcircularhotspot.nl/wp-content/uploads/2019/04/HCH-Brochure-20190410-web_DEF.pdf (accessed 05.09.2023)
 6. Belova M.K., Kondratenko L.N. Ekologiya rechnyh landshaftov. Sbornik statej po materialam IV Mezhdunarodnoj nauchnoj ekologicheskoj konferencii. Krasnodar, 2020. pp. 8-11.
 7. Sem' grafikov, ob'yasnyayushchih, pochemu plastik v okeane - eto ploho [Seven Graphs Explaining Why Plastic in the Ocean is Bad]. URL: bbc.com/russian/features-42307854.
 8. The Bubble Barrier URL: thegreatbubblebarrier.com/technology/ (accessed 06.09.2023).
 9. The Ocean Cleanup. URL: theoceancleanup.com/ (accessed 06.09.2023).
 10. Kompaniya «Spektr-M» (The Company «Spectrum-M»). URL: enspectr.ru/about/ (accessed 28.01.2023).
 11. Identifikaciya mikroplastikov s pomoshch'yu ramanovskoj mikroskopii [Identification of microplastics using Raman microscopy]. URL: czl.ru/blog/raman-spectroscopy/identification-of-microplastics-with-portable-raman-microscopy.html.
 12. Piroliz plastikov kak sposob polucheniya topliva [Pyrolysis of plastics as a method of obtaining fuel]. URL: rcycle.net/plastmassy/piroliz-plastikov-kak-sposob-polucheniya-topliva/ (accessed 05.09.2023)
 13. Remizova V.M. Universitetskaya nauka. 2018. № 1 (5). pp. 79-82.
-



14. Asfal't iz pererabotannogo plastika v Velikobritanii [Asphalt from recycled plastic in the UK]. URL: dtech.su/bitumen-plastic/ (accessed 05.09.2023)
15. KK Plastic Waste Management Ltd. URL: kkplasticroads.com/ (accessed 05.09.2023)
16. Kiyanec A.V. Inzhenernyj vestnik Dona, 2022, №2. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2022/7487
17. Ritu P. Chapter 9 - Green composites: Versatile uses and applications in life. Editor(s): Tariq Altalhi, Inamuddin, Green Sustainable Process for Chemical and Environmental Engineering and Science. Elsevier, 2022. P. 165-193. Doi:10.1016/B978-0-323-99643-3.00002-4