

# ПЕРЕРАБОТКА ПЛАСТИКОВ: ТЕХНОЛОГИЯ НЕПРЕРЫВНОГО ПИРОЛИЗА, КОТОРАЯ РАБОТАЕТ

**С.И.Стомпель, Ph.D, Л.В.Грауман**  
ЗАО «Безопасные Технологии»

## Что мы знаем о накоплении и утилизации отходов пластика? Факты и цифры

Для того чтобы наобещать цивилизации всякие виды мучительной гибели, сегодня вовсе не обязательно заглядывать в «Откровения Иоанна-богослова». С этим может справиться простой пластиковый пакет об руку с ПЭТ бутылкой. Ведь в мировом океане уже к 2025 году, до которого осталось каких-то 5 лет, секунда по историческим понятиям, на одну тонну рыбы придется 3 тонны пластика — это 600 бутылок на каждые 10 кг рыбы. Остров в Тихом океане, целиком состоящий из пластиковых отходов [1] по площади занимает примерно три Франции [2]. И не стоит думать, что пластиковый мусор в нем плавает лишь на поверхности: постепенно разрушаясь, до 70% его падает на дно, зависает на глубине и совершенно невозможно оценить, насколько загрязнен на этой огромной площади Тихий океан. Разброс в оценках составляет от 5 до 50 триллионов тонн – в 10 раз (по данным Гринпис) [3].



Большое тихоокеанское мусорное пятно

Пластики – удивительная группа материалов с самыми разнообразными свойствами, давно служащие человеку. Изобретение первого искусственного

материала, целлулоида, относится к 1855 году. Вторым прорывом был бакелит, изобретенный в 1907 Лео Бакеландом. С тех пор пластик проник абсолютно во все стороны человеческой жизни и сделался совершенно незаменимым. И, как обычно происходит, начал потихоньку диктовать условия. Сегодня пластик отбирает 8% всей добытой нефти, причем половина идет на его производство, а половина - на утилизацию [4].

Отходы из пластика, количество которых нарастает со скоростью снежного кома, плохо поддаются утилизации: например, с помощью различных технологий перерабатывается всего 7% пластиковой упаковки. Хотя если проанализировать эти цифры, выяснится, что, например ЕС отправляет такие отходы в низкодоходные страны и считает их утилизированными, в то время как реальную судьбу этих отходов проследить просто невозможно. Чемпионом в переработке пластика является Тайвань, где процент переработки пластиковых отходов достигает 55%.

А что в России? Проблема переработки пластиковых отходов встала перед Россией гораздо позже, чем перед Европой: в Советском Союзе в качестве упаковочного материала гораздо больше использовали бумагу, утилизация которой была достаточно хорошо отработана. Не было ни правовой базы, ни технологий, ни даже интереса к проблеме утилизации пластика. Только в конце XX века об этой проблеме заговорили, ориентируясь на мировой опыт. Несмотря на то, что по данным журнала ТБО пластиковые отходы составляют всего 6% от общего количества ТКО, это особый вид отходов, требующий различных подходов как по типу, так и по региону образования. Утилизация пластика представляет собой проблему, в основном по двум причинам: разнообразия и сложности химического состава и длительного периода распада отходов.

## Виды пластиков: какие можно перерабатывать? Что означают треугольники с цифрами

Коды переработки пластика – специализированные обозначения материала, из которого изготовлено изделие (Таб.1). Маркировка, состоящая из идентификаторов в виде цифр и букв, значительно облегчает процесс сортировки пластиковых отходов и последующей переработки. Именно в зависимости от физико-химических характеристик полимера определяется способ обращения с его отходами.

Таблица 1. Виды пластика

Тип пластика	Маркировка	Основные характеристики	Области применения
ПЭТ, ПЭТФ Полиэтилентерефталат PET/PETE		<ul style="list-style-type: none"> <li>• высокая термостойкость</li> <li>• чистота и прочность</li> <li>• температура плавления - от 245 °С</li> <li>• устойчивость к растворителям и агрессивным жидкостям</li> <li>• повторное использование не рекомендуется, могут выделяться фталаты</li> <li>• <b>подлежит переработке</b></li> </ul>	бутылки для питьевой воды, безалкогольных и спортивных напитков, банки для специй, жаропрочные контейнеры для еды и мешки для запекания, банки для лекарств, волокна для одежды
ПНД, ПЭВП (пЭВД) Полиэтилен высокой плотности/ Полиэтилен низкого давления PEHD/HDPE		<ul style="list-style-type: none"> <li>• высокая устойчивость к влаге и химикатам</li> <li>• твердость и прочность</li> <li>• гладкая воскообразная поверхность</li> <li>• газопроницаемость</li> <li>• термически неустойчивый материал</li> <li>• температура плавления - от 120 °С</li> <li>• низкая степень опасности =&gt; практически не выделяет вредных веществ</li> <li>• <b>подлежит переработке</b></li> </ul>	бутылки для молока и негазированных напитков, строительная трубы, мебель, упаковка для продуктов питания, бутылки для шампуня и жидкости для полоскания рта, пластиковые заборы, горшки для растений
ПВХ Поливинилхлорид PVC		<ul style="list-style-type: none"> <li>• может быть жестким и гибким</li> <li>• высокая прозрачность</li> <li>• прочность</li> <li>• высокая устойчивость к химикатам, жиру и маслу</li> <li>• тонет в воде</li> <li>• при нагревании выделяет канцерогенные вещества, негативно влияет на организм человека (гормональный баланс, репродуктивную и иммунную системы)</li> <li>• содержит фталаты, бисфенол А, винилхлорид, ртуть и т.д.</li> <li>• <b>при сжигании выделяет диоксины!</b></li> <li>• <b>не подлежит переработке!</b></li> </ul>	водопроводные трубы, прозрачная упаковка для продуктов питания, термоусадочная пленка, пластиковые детские игрушки, скатерти, виниловые напольные покрытия, детские игровые коврики и блистеры (например, для медикаментов), оконные и дверные рамы, медицинские изделия, трубы и фитинги, оболочка из проволоки и кабеля, водостоки, изделия из синтетической кожи
ПВД Полиэтилен низкой плотности/ Полиэтилен высокого давления LDPE/PEVD		<ul style="list-style-type: none"> <li>• практически безвреден</li> <li>• простота переработки</li> <li>• высокая прочность</li> <li>• низкая температура плавления - от 100 °С</li> <li>• в редких случаях выделяет формальдегид</li> <li>• <b>подлежит переработке</b></li> </ul>	мешки для химической чистки, мешки для газет, мусорные мешки, а также «бумажные» коробки для молока и стаканы для горячих/холодных напитков, упаковочные пленки, пузырчатая упаковка, мешки для покупок, мешки для замороженных продуктов, мешки для проволоки и кабеля, мешки из высокопрочных материалов
ПП Полипропилен PP		<ul style="list-style-type: none"> <li>• устойчивость к низким и высоким температурам, к агрессивным жидкостям</li> <li>• прочность и жесткость</li> <li>• относительно безопасен и безвреден</li> <li>• высокая температура плавления - от 160 °С</li> <li>• выделяет формальдегид при неправильном хранении либо длительном применении</li> <li>• <b>подлежит переработке</b></li> </ul>	баночки для йогуртов, крышки для бутылок, бутылки для кетчупа и сиропа, рефрижераторные контейнеры, горшки для растений, питьевые соломинки, ланч-боксы
ПС Полистирол PS		<ul style="list-style-type: none"> <li>• эксплуатационная гибкость, прозрачность</li> <li>• теплоизоляционные свойства</li> <li>• высокая температура плавления - от 240 °С</li> <li>• относится к канцерогенам, неблагоприятно действующим на кровеносную и репродуктивную системы, печень и почки</li> <li>• при высоких температурах выделяет вредное вещество – стирол</li> <li>• <b>частично подлежит переработке</b> (имеются ограничения)</li> </ul>	одноразовая посуда чашки, тарелки, контейнеры, лотки для мяса в супермаркете, яичные коробки, коробки для продуктов питания, вешалки для одежды и футляры
Другие виды пластика		<ul style="list-style-type: none"> <li>• любые другие виды пластика (поликарбонат, полиамид, нейлон, биопластики и т.д.), кроме вышеперечисленных</li> <li>• использование для пищевых целей допустимо только при наличии соответствующей маркировки</li> <li>• при нагревании выделяет бисфенол А!</li> <li>• <b>не подлежит переработке!</b></li> </ul>	волоконный текстиль, бутылки для кулера, «биоразлагаемый» пластик, тюбики для зубной пасты, многоразовая тара

## Методы утилизации и переработки пластиковых отходов

Основные методы обращения с пластиковыми отходами можно разделить на 4 группы:

Механическая  
переработка  
(вторичная переработка)

Химическая утилизация

Захоронение

Термические методы  
(инсинерация,  
пиролиз)

**Механический метод** – грануляция, так можно переработать отходы пленки, поликарбоната, полиэтилена низкого давления, полистирола и пенополистирола, полиамида и некоторых других. Метод заключается в нагреве, пропуске через экструдер, гранулировании и охлаждении. Гранулы затем можно повторно использовать в производстве пластиковых товаров. Недостатком этого метода можно считать тот факт, что из вторичного сырья удастся изготовить лишь менее качественные пластиковые товары.

**Химическая утилизация (рециклинг)** вовлекает применение токсичных растворителей, с помощью которых также не удастся «пересоздать» пластик исходного качества. Кроме того, любой химический процесс критически зависит от однородности сырья, чего трудно добиться в отношении отходов. Необходимы сортировочные мощности.

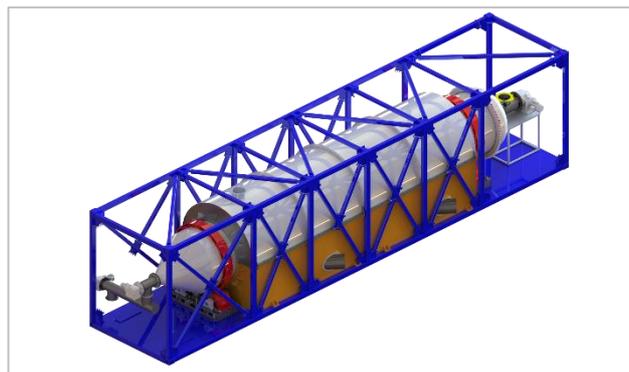
Преимущества и недостатки такого метода как **захоронение** несколько неуместно даже обсуждать. Это метод позавчерашнего дня, к сожалению, широко распространенный и сегодня в силу относительной дешевизны для настоящего момента, однако в ближайшем будущем он сыграет куда худшими опасностями, чем остальные методы.

**Термические методы**, подразделяемые на инсинерацию и пиролиз, также широко применяются для утилизации пластика. Преимущество инсинерации – в ее «всеядности» и уменьшении изначального объема отходов, особенно в отношении пластика, обладающих немалой теплотворной способностью (конечно, теплотворная способность разных видов пластика кардинально различается). При условии качественной современной системы газоочистки инсинерацию широко используют и сегодня, например, Германия сжигает до 60% своих пластиковых отходов. Всплеск инсинерации пластика наблюдался в 2000-2016 годах в Европе, где количество сжигаемого пластика увеличилось на 61%. В Китае действует 231 крупный мусоросжигательный завод и соответственно, доля инсинерации там тоже велика. Однако, бессмысленная трата достаточно ценного вторичного ресурса сегодня неоправдательна.

**Пиролиз** предполагает нагрев сырья без доступа кислорода и разложение полимерных цепочек без их окисления. Это достаточно перспективный способ, в меньшей степени, чем инсинерация или химический рециклинг нагружающий окружающую среду, имеет одну ахиллесову пяту – низкую производительность. Практически все пиролизные технологии, представленные на современном рынке, до сих пор имеют периодический или полунепрерывный принцип работы, что связано со сложностью герметизации процесса.

Однако в этой области ведутся активные разработки новых и усовершенствования старых технологий, которые позволят сделать пиролиз более безопасным и производительным.

Вращающаяся печь непрерывного пиролиза УТД-2 - идеальное решение для переработки отходов пластика.



Установка пиролиза УТД-2 на базе вращающегося реактора

Компания IPEC, уже хорошо известная своими установками непрерывного пиролиза углеводородсодержащих отходов УТД-2 различной производительности, разработала новую технологию непрерывного пиролиза, предназначенную для утилизации различных видов пластика: полиэтилена, полипропилена, полистирола, полиэтилентерефталата, полиамида и некоторых других, кроме поливинилхлорида, в котором присутствует хлор.



Пластиковые отходы из загрузочной емкости подаются на измельчитель и после него на экструдер, где проходит нагрев и плавка пластических масс до пастообразного состояния. Далее сырье подается в реактор, нагреваемый горелками на пиролизном газе, образующемся в процессе реакции. В реакторе, благодаря вращению камеры, сырье равномерно распределяется по стенкам и разлагается без доступа кислорода. Далее парогазовая смесь проходит фильтр пиролизных газов, где очищается от тяжелых компонентов и механических примесей (золы) и поступает в каталитическую колонну, которая препятствует образованию парафинов.

После парогазовой смеси она подается в газожидкостный сепаратор, где разделяется на жидкую и газовую фазу. Жидкость – пиролизное топливо – сливается в бак хранения (готовой продукции). Пиролизный газ через газоосушительную колонну, где отделяется остаточный водяной пар, подается на горелки через фильтр и газовый компрессор.

Сухой углеродный остаток непрерывно удаляется из реактора с помощью системы автоматического золоудаления в бункер - золоприемник.

Дымовые газы из топки, не содержащие вредных примесей, вытягиваются дымососом в дымовую трубу и выбрасываются в атмосферу. Если температура дымовых газов превышает допустимую по нормативам, предусмотрено либо разбавление их атмосферным воздухом, либо, в качестве опции, блок рекуперации тепловой энергии.

### Производительность Комплекса



# 1000 кг

пластиковых отходов в час

Главное преимущество процесса IPEC – его непрерывность. Технология пиролиза, дополненная каталитическим блоком – наиболее перспективная из имеющихся на сегодняшний день термических технологий утилизации пластиковых отходов. У нее лишь одно значимое требование – настоятельная необходимость в герметизации реактора и строгой изоляции процесса от окружающей среды. Проникновение атмосферного воздуха в процесс немедленно приводит к аварийной ситуации. К счастью, в IPEC давно знают, как обезопасить оборудование и персонал, безаварийная работа УТД-2 подтверждена многими заказчиками.

### Список источников

1. <https://www.nationalgeographic.org/encyclopedia/great-pacific-garbage-patch/>
2. <https://www.gq.ru/entertainment/kak-rossiya-boretsya-s-plastikom>
3. [https://greenpeace.ru/wp-content/uploads/2019/10/FalseSolutions\\_RU.pdf](https://greenpeace.ru/wp-content/uploads/2019/10/FalseSolutions_RU.pdf)
4. <https://www.bbc.com/russian/features-41389239>