

УДК 629.7.036.54-66.0048, 662.613.004.55

С. И. Бурдюгов, кандидат технических наук, ОАО «Научно-производственное объединение «Искра», Пермь
Г. М. Батракова, доктор технических наук, Пермский государственный технический университет

ХАРАКТЕРИСТИКА ОТХОДОВ ОСНОВНЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ЭТАПОВ УТИЛИЗАЦИИ МАЛОГАБАРИТНЫХ РАКЕТНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ НА ТВЕРДОМ ТОПЛИВЕ

Рассмотрены результаты исследования отходов малогабаритных ракетных двигателей на твердом топливе, образующихся при их утилизации. Представлены категории отходов и способы их ликвидации.

Ключевые слова: отходы утилизации, газовые выбросы, малогабаритные ракетные двигатели.

В соответствии с терминами и определениями, введенными Федеральным законом «Об отходах производства и потребления», к категории отходов отнесены товары (продукция), утратившие свои потребительские свойства. В этом случае элементы конструкций снимаемых с вооружения изделий с твердотопливными ракетными двигателями (РДТТ), как маршевыми, так и малогабаритными двигателями (МРДТТ) специального назначения, относятся к категории отходов вооружения и боевой техники, которые подлежат уничтожению с соблюдением мер экологической безопасности в соответствии с экологической политикой РФ, ориентированной на реализацию принципов устойчивого развития государства и его отдельных регионов.

Обеспечение экологической безопасности при утилизации отходов вооружения и военной техники должно быть реализовано в соответствии с основными положениями «Концепции экологической безопасности РФ» и государственной политики в области обращения с отходами.

Обычно в каждой межконтинентальной баллистической ракете (МБР) имеется большое количество МРДТТ, обеспечивающих функции управления полетом. В связи с различным назначением МРДТТ имеют существенно отличающиеся друг от друга тактико-технические характеристики: тягу, массу топливного заряда, время работы, секундный расход газов [1].

Конструктивно МРДТТ состоят:

- 1) из силовых элементов конструкции двигателя (корпуса, соплового блока, крышек, элементов воспламенителя);
- 2) заряда;
- 3) воспламенителя.

Для изготовления силовых элементов МРДТТ применяются различные металлические материалы (в основном титановые сплавы ВТ23, ОТ4), стеклоорганические пластики. Для наружной и внутренней теплозащиты применяют различные типы резиновых смесей. В сопловых блоках дополнительно к металлам применяют углеродные материалы. Заряды изготавливаются с использованием различных типов топлив, как баллистических, так и смесевых. Для воспламенителей применяются традиционные составы.

Образование отходов как экологический аспект сопровождает все этапы ликвидации и утилизации МРДТТ. При этом на каждом этапе образуется помимо отходов утилизации непосредственно МРДТТ отходы технологических процессов – твердые и газообразные, характеристики которых представлены в табл. 1.

Основную массу твердых отходов составляют элементы МРДТТ, образующиеся при их утилизации [2]. Их можно классифицировать по виду применяемых материалов в элементах МРДТТ:

- 1) металлические;
- 2) композиционные материалы;
- 3) теплозащитные материалы (ТЗП).

Металлические детали в конструкции МРДТТ могут составлять от 12–40 до 95–100 %. Это сплавы титана (ВТ23, ВТ-3-1, ВТ 20Л, ВТ 6С, ОТ 4), алюминия (Амг 6, АД1М), сплав ВНДС-1. Проблемы их утилизации решаются двумя основными способами:

- разрезкой по типу сплавов с последующей отправкой в переработку на предприятиях вторчермета;
- получением металлических заготовок для выплавки вторичных сплавов.

Количество металлических отходов при данных видах переработки практически остается неизменным.

Газовые выбросы образуются на всех этапах утилизации МРДТТ. Особое внимание следует уделить образованию газовых выбросов при хранении МРДТТ на различных этапах утилизации. Характеристики газовых выбросов, образующихся при хранении снаряженных МРДТТ на открытой площадке, представлены в табл. 2, а характеристики газовых выбросов элементов МРДТТ после прожига заряда, хранящихся на открытой площадке или в контейнере, – в табл. 3, 4.

Для утилизации композиционных материалов (КМ) и ТЗП МРДТТ используют метод пиролиза [3]. В конце 90-х годов прошлого века была разработана технология, позволяющая получить из органикоуглепластиковых элементов ликвидируемых МБР с РДТТ товарный продукт – активированный уголь (АУ). Однако исходя из изменившейся экономической ситуации себестоимость таких АУ оказалась неконкурентоспособной с серийно выпускаемыми АУ. Поэтому актуальной задачей стало уменьшение

отходов для последующего захоронения, что было реализовано методом сжигания в печи пиролиза. Пиролиз и сжигание по экологическим последствиям не имеют существенных отличий, но количество получаемых твердых отходов при сжигании значительно меньше.

В результате сжигания экспериментально установлено образование следующих отходов:

- 1) твердые продукты органопластиков (ОП), углепластиков (УП), стеклопластиков (СП);
- 2) твердые продукты теплозащитного покрытия;
- 3) пыль ОП, УП, СП, ТЗП;
- 4) закладные элементы из металлических сплавов;
- 5) отходы процесса сжигания (сорбенты, фильтры, шлам от нейтрализации газовых выбросов);
- 6) газовые выбросы.

Таблица 1. Характеристики отходов технологических процессов утилизации МРДТТ

Наименование операции утилизации МРДТТ	Виды воздействия	Качественный состав отходов
Транспортировка	Выбросы железнодорожного и автомобильного транспорта	СО, NO ₂ , сажа
Разрезка изделия	Вентиляционные выбросы от легковоспламеняющихся жидкостей (ЛВЖ)	Органические растворители (бензин, нефрас, уайт-спирит)
	Отходы	Шкурка шлифовальная, ткань протирочная, смесь герметиков, покрытий, остатки резины, остатки топлива
Разрезка узлов МРДТТ	Вентиляционные выбросы	Пыль полиамида, пыль абразивная, оксиды Gp, оксиды Al, Ni, СО, NO ₂
	Отходы	Стружка стекло-, органо-, углепластиков, остатки резины, стружка топлива
Складирование элементов МРДТТ на открытой площадке	Эмиссия в атмосферу с площади накопления	СО, NO ₂ , HCl, HF, фенол, формальдегид, углеводороды
Проведение рентгеноконтроля заряда	излучение	
Сжигание заряда в составе МРДТТ	Газовые выбросы	Al ₂ O ₃ , HCl, CO, NaOH, NaCl, SiO ₂ , соединения Al – для смесевых топлив. Для баллистических топлив – оксиды тяжелых металлов (Ti, Co, Pb), NO, NO ₂ , CO, SO ₂
	Отходы	Кокс ТЗП, резина, элементы МРДТТ из металлических и неметаллических материалов
	Отходы системы очистки	Отработанные фильтры и сорбент (активированный уголь, ХПА – химический поглотитель известковый)
	Шум	120 дБ
Термическая деструкция композиционных (стекло-, органо-, углепластиковых) материалов элементов МРДТТ	Газовые выбросы	HCl, SO ₂ , NO ₂ , HF, пыль асбестосодержащего карбонизата
	Сточные воды	
	Отходы	Шлам от очистки столов, отработанные фильтры, сорбенты, пыль карбонизата, отходы стекловолокна

Таблица 2. Характеристика газовых выбросов при хранении МРДТТ на открытой площадке до утилизации

Наименование соединения	Обнаруженная концентрация, мг/м ³	ПДК, мг/м ³	Степень превышения
Хлористый водород	0,014 ± 0,0014	5,0	нет
Фтористый водород	0,007 ± 0,001	0,5	нет
Оксид азота	0,010 ± 0,003	5,0	нет
Оксид углерода	0,871 ± 0,112	20,0	нет
Формальдегид	0,018 ± 0,0192	0,05	нет
Фенол	0,018 ± 0,004	0,1	нет
Сумма углеводородов	2,3 ± 0,115	100,0	нет

Таблица 3. Характеристика газовых выбросов на открытом участке складирования элементов МРДТТ после сжигания топлива

Наименование соединения	Обнаруженная концентрация, мг/м ³	ПДК, мг/м ³	Степень превышения
Хлористый водород	< 0,6	5,0	нет
Формальдегид	0,03	0,05	нет
Оксид азота в пересчете на NO ₂	< 0,65	5,0	нет
Фенол	< 0,04	0,1	нет
Фтористый водород	< 0,03	0,5	нет
Оксид углерода	< 5	20,0	нет
Углеводороды нефти	< 100	900,0	нет

Таблица 4. Характеристика газовых выбросов при хранении элементов МРДТТ после сжигания топлива в контейнере

Наименование соединения	Обнаруженная концентрация, мг/м ³	ПДК, мг/м ³	Степень превышения
Фтористый водород	0,1	0,5	нет
Формальдегид	0,05	0,05	нет
Фенол	0,25	0,1	2,5 раза
Аммиак	5,2	20,0	нет
Хлористый водород	2,6	5,0	нет

При термической деструкции потеря массы материала, полученная в процессе экспериментальной отработки, составляет для ОП 70–72 %, СП – 40–50 %, УП – 10–15 %.

В процессе прожига заряда РДТТ происходит деструкция защитного покрытия и образование прококсованного слоя с потерей начальной массы свыше 50 %. ТЗП после огневых испытаний представляет собой хрупкий кокс резины, разрушающейся при механическом воздействии на него. Клеевое соединения ТЗП с корпусом нарушается частично. Повторное температурное нагружение при термической деструкции приводит к потерям механической прочности и, учитывая длительность процесса, к полной деструкции ТЗП. Проведенные исследования показывают, что в результате пиролиза (сжигания) общая потеря массы ТЗП при сжига-

нии в печи пиролиза составляет ≈ 66 % (для смеси резиновой 51-2101).

В результате карбонизации на два порядка снижается механическая прочность КМ. Нарушается адгезионная способность клеевых соединений и крепление материала с неметаллическими и металлическими элементами конструкции. В результате снижения прочности, а также разрезки и перегрузки, создаются условия для выделения пылевидных твердых отходов – пыли КМ и ТЗП. Экспериментально установлено, что за один цикл доля пыли КМ и ТЗП может достигать до 10 %.

Характеристики и свойства твердых отходов МРДТТ, варианты их утилизации, а также отходы от технологических процессов очистки газовых выбросов при пиролизе (шлам нейтрализации сточных вод) и сжигании зарядов МРДТТ (ХПА, фильтры, отработанный сорбент) показаны в табл. 5

Таблица 5. Характеристика свойств твердых отходов МРДТТ и вариантов их утилизации

Наименование отхода	Технологическая операция	Характеристика отхода	Варианты утилизации
Органопластик и углепластик в конструкции изделия	Хранение после прожига заряда РДТТ	Прочные, термически и химически устойчивые композиционные пластмассы, электро- и теплопроводные, с низким коэффициентом линейного расширения и трения	Термическая деструкция
Карбонизат ОП	Карбонизация композиционных пластиков	Твердый конгломерат черного цвета, слоистый, легкий, хрупкий.	Упаковка в контейнеры, отправка партии товарного продукта для получения активированных углей
Карбонизат УП	Карбонизация УП выходных блоков	Фракции менее ... мм, соответствие ТУ ТУ-6-00209591-457.ОП-95 на уголь активный	
Кокс ТЗП после термической деструкции	Извлечение карбонизованного изделия, подготовка к дроблению карбонизата	Легкий, хрупкий, сыпучий, серо-белого цвета, легко разрушается при соприкосновении, наличие волокон асбеста	Герметичный отсос в бункерную систему, отверждение, упаковка, накопление транспортной партии, захоронение
Неметаллические материалы в конструкции изделия		Термически стойкие ткани и волокна с высоким модулем упругости, прочностью, атмосферо-, кислото- и коррозионностойкие	Термическая деструкция для уменьшения объема, упаковка, накопление транспортной партии, захоронение

Наименование отхода	Технологическая операция	Характеристика отхода	Варианты утилизации
Металлические закладные детали	Отделение утилизируемых отходов	Сплавы титановые (ВТ-2, ВТ-3-1, ВТ 6С, ВТ 23, ОТ 4), алюминиевые (Амг 6М, 6Б, 4Д1М), сталь ВП-25 и др.	Накопление транспортной партии, отправка на переработку
Неметаллические закладные детали после термодеструкции	Дробление карбонизата ОП и УП	Стеклопластик на основе ткани ТПК, наличие фрагментов асбестоткани	Отделение на участке дробления, упаковка, накопление транспортной партии, отправка на захоронение
Рассев и пыль карбонизата	Упаковка карбонизата	Твердые частицы не более 5 мм, слоистый, легкий, хрупкий, сыпучий, наличие волокон асбеста	Упаковка, накопление транспортной партии, отправка на захоронение
Пыль угольная	Упаковка карбонизата	Мелкодисперсные твердые частицы	Упаковка, накопление транспортной партии, отправка на захоронение
Отработанный сорбент	Очистка газов при карбонизации	Угольный сорбент из активированных углей марки АР-А (АБГ), сыпучий, пылящий	Термическое обезвреживание
Шлак сжигания отработанного адсорбента	Термическое обезвреживание сорбента из адсорбера АВФКП	Зольный остаток, пылящий	Упаковка, накопление транспортной партии, отправка на захоронение
Шлам нейтрализации и осветления сточных вод	Нейтрализация стоков установки термического обезвреживания	Состав: CaSO_4 , CaF_2 , CaCO_3 , влажность 70 %	Упаковка, накопление транспортной партии, отправка на захоронение
Химический поглотитель известковый (ХПА), фильтры, отработанный сорбент	Система очистка продуктов сгорания	Фильтровальная ткань из синтетических волокон, нанесенных на марлевуую подложку из перхлорвинила (гидрофобного, химически стойкого материала), сорбент с веществами, уловленными в процессе очистки продуктов сгорания	Упаковка, накопление транспортной партии и отправка на захоронение

Таким образом, в результате утилизации МРДТТ образуется более 20 наименований отходов, потерявших потребительские свойства, отличающихся по объему образования, морфологическим, физико-химическим свойствам, опасности для окружающей среды.

Большинство отходов относится к категории химических устойчивых, инертных, не подверженных биодegradации, малорастворимых или нерастворимых в воде. Фазовое состояние отходов различно – твердые, сыпучие, пылеобразные, шламы влажностью до 70 %.

Практически все отходы многокомпонентные, в их составе присутствуют неорганические вещества.

Смешанные отходы представлены неметаллическими закладными деталями и материалами с измененными свойствами после термической деструкции.

В перечне отходов отсутствуют особо опасные виды твердых отходов, нет взрывоопасных, легковоспламеняющихся, окисляющихся, высокотоксичных, ядовитых, радиоактивных и инфицирующих.

Список литературы

1. Утилизация твердотопливных ракетных двигателей / С. И. Бурдюгов [и др.]. – Москва ; Ижевск : Ин-т компьютерных исследований НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика», 2008. – 512 с.
2. Бурдюгов С. И. Разработка технологии и методов утилизации элементов малогабаритных ракетных двигателей на твердом топливе // Вестник ИжГТУ. – 2008. – № 1(37). – С. 31–34
3. Соколовский М. И., Шайдунова Г. И. К вопросу о термообезвреживании органоластиковых корпусов РДТТ методом пиролиза // Экобезопасность и устойчивое развитие. – 2005. – № 1. – С. 42–44.

S. I. Burdyugov, Candidate of Technical Sciences, OJSC Research and Production Association "Iskra", Perm
G. M. Batrakova, Doctor of Technical Sciences, Perm State Technical University

Waste Characteristics of the Main Utilization Stages of Small Size Solid-Propellant Rocket Engines

The results of investigation of small size solid-propellant rocket engines wastes formed in the process of their utilization are considered. The waste categories and ways of their elimination are presented.

Key words: waste utilization, gas emissions, small size solid-propellant rocket engines.