

**Руководство по применению  
наилучших доступных технологий и  
наилучших видов природоохранной  
деятельности для рециклинга и  
окончательного удаления изделий,  
содержащих  
полибромдифениловые эфиры,  
включенные в список  
Стокгольмской конвенции о стойких  
органических загрязнителях**

Черновая редакция

июль 2012 г.



**unitar**

United Nations Institute for Training and Research



Stockholm Convention



UNEP

### **Заявление об отказе от ответственности**

Содержание данного документа выражает точку зрения его авторов, которая может не совпадать с взглядами представителей секретариата Стокгольмской конвенции (ССК), Программы Организации Объединенных Наций по окружающей среде (ЮНЕП), Организации Объединенных Наций по промышленному развитию (ЮНИДО), Учебного и научно-исследовательского института Организации Объединенных Наций (ЮНИТАР), Организации Объединенных Наций (ООН) или каких-либо других сотрудничающих организаций. ССК, ЮНЕП, ЮНИДО, ЮНИТАР и ООН не несут ответственность за точность и полноту представленной информации и не принимают на себя обязательств или ответственности за какие-либо потери или убытки, прямо или косвенно обусловленные ущербом, понесенным в результате использования информации, содержащейся в данном документе.

## Содержание

<b>1</b>	<b>Введение</b> .....	<b>10</b>
1.1	Назначение документа	10
1.2	Структура документа	11
1.3	Связь с Базельской конвенцией	13
1.4	Связь с другими экологическими факторами	13
<b>2</b>	<b>Справочная информация о ПБДЭ, относящихся к СОЗ</b> .....	<b>15</b>
2.1	ПБДЭ, включенные в Стокгольмскую конвенцию о стойких органических загрязнителях	15
2.2	Производство промышленных смесей полибромдифениловых эфиров	16
2.3	Прежнее использование ПБДЭ, относящихся к СОЗ	17
2.3.1	<i>Прежнее использование п-пента-БДЭ</i>	17
2.3.2	<i>Прежнее использование п-окта-БДЭ</i>	18
2.4	Риск, связанный с применением ПБДЭ, относящихся к СОЗ	19
2.5	ПБДЭ, относящиеся к СОЗ, в материальных потоках и потоках переработки, а также в изделиях, срок эксплуатации которых исчерпан	19
2.5.1	<i>П-пента-БДЭ: повторное использование, переработка и содержание в отходах</i>	20
2.5.2	<i>П-окта-БДЭ: повторное использование, переработка и содержание в отходах</i>	24
2.6	Сепарация материалов, содержащих относящиеся к СОЗ ПБДЭ	25
<b>3</b>	<b>Общие принципы и межотраслевые факторы, подлежащие учету при переработке и удалении изделий, содержащих ПБДЭ, относящиеся к СОЗ</b> .....	<b>27</b>
3.1	Общие принципы применения наилучших доступных технологий и наилучших видов природоохранной деятельности	27
3.2	Регулирование отходов	27
3.2.1	<i>Ответственность производителя</i>	29
3.3	Регулирование жизненного цикла продукции, содержащей ПБДЭ, относящиеся к СОЗ	30
3.3.1	<i>Факторы, подлежащие учету при оценке жизненного цикла полимерной фракции транспортных средств</i>	30
3.3.2	<i>Факторы, подлежащие учету при оценке жизненного цикла для переработки отходов ЭЭО и пластиковых отходов ЭЭО</i>	31
3.3.3	<i>Факторы, подлежащие учету при оценке жизненного цикла для регулирования пенополиуретана</i>	32
3.3.4	<i>Факторы, подлежащие учету при оценке жизненного цикла для извлечения брома из отходов</i>	32
3.4	Альтернативы ПБДЭ, относящимся к СОЗ	36
3.5	Мониторинг содержания ПБДЭ, относящихся к СОЗ, и брома в полимерах	38

<b>4</b>	<b>Специализированные наилучшие доступные технологии и наилучшие виды природоохранной деятельности: пластиковые отходы ЭЭО, содержащие ПБДЭ, относящиеся к СОЗ, или бромированные антипирены.....</b>	<b>39</b>
4.1	Повторное использование ЭЭО	39
4.2	Факторы, подлежащие учету при переработке пластмасс, содержащих относящиеся к СОЗ ПБДЭ	39
4.2.1	Маркировка пластиковой фракции и изделий, содержащих относящиеся к СОЗ ПБДЭ	41
4.2.2	Технологии обработки пластика, позволяющие свести к минимуму вредное воздействие	42
4.2.3	Типы и состав пластмасс, содержащих ПБДЭ, относящиеся к СОЗ	42
4.3	Технологии сепарации полимеров, содержащих относящиеся к СОЗ ПБДЭ	45
4.3.1	Способы ручного демонтажа	48
4.3.2	Отдельные методы скрининга для сепарации основной массы отходов и измельченного пластика, возможно содержащих ПБДЭ, относящиеся к СОЗ	49
4.3.3	Комбинирование методов для получения продукции, пригодной для реализации	53
4.3.4	Сравнение технологических методов сепарации полимеров	56
4.3.5	Полномасштабные предприятия по сепарации отходов ЭЭО и полимеров, содержащих относящиеся к СОЗ ПБДЭ	57
4.4	Извлечение энергии из пластиковых отходов, содержащих относящиеся к СОЗ ПБДЭ, и обращение с пластиковыми отходами	58
<b>5</b>	<b>Специализированные наилучшие доступные технологии и наилучшие виды природоохранной деятельности: отходы, содержащие ПБДЭ, относящиеся к СОЗ, или бромированные антипирены, в транспортном секторе .....</b>	<b>59</b>
5.1	Повторное использование транспортных средств, содержащих относящиеся к СОЗ ПБДЭ	61
5.2	Обработка и рециклинг транспортных средств с выработанным ресурсом	61
5.2.1	Демонтаж транспортного средства и очистка от материалов, представляющих опасность для окружающей среды	62
5.2.2	Промышленные установки для измельчения отходов транспортных средств (шредерные установки)	63
5.2.3	Переработка методом улучшенной очистки от материалов, способных нанести вред окружающей среде, и технологии пост-шредерной обработки	65
5.3	Извлечение энергии и окончательное удаление автомобильного шредерного остатка и других отходов обработки транспортных средств с выработанным ресурсом	67
5.3.1	Извлечение энергии	67
5.3.2	Окончательное удаление автомобильного шредерного остатка	68
5.4	Соображения, касающиеся развивающихся стран	68
<b>6</b>	<b>Специализированные наилучшие доступные технологии и наилучшие виды природоохранной деятельности: пенополиуретан, содержащий ПБДЭ, относящиеся к СОЗ .....</b>	<b>70</b>
6.1	Повторное использование мебели и матрасов, возможно загрязненных относящимися к СОЗ ПБДЭ	71
6.2	Обработка и переработка пенополиуретана	71

6.2.1	<i>Склеивание измельченных пенополимеров: переработка пенополиуретана, содержащего снятый с производства п-пента-БДЭ</i>	72
6.2.2	<i>Переработка матрасов для получения ресурсов</i>	73
6.2.3	<i>Повторное измельчение</i>	74
6.2.4	<i>Химическая регенерация (гликолиз)</i>	74
<b>6.3</b>	<b>Маркировка изделий, произведенных из переработанного пенополиуретана</b>	<b>74</b>
<b>6.4</b>	<b>Прочие материалы, в которых могут обнаруживаться ПБДЭ, относящиеся к СОЗ</b>	<b>74</b>
<b>7</b>	<b>Извлечение энергии или ресурсов из материалов, содержащих относящиеся к СОЗ ПБДЭ.....</b>	<b>76</b>
<b>7.1</b>	<b>Общие замечания о термической обработке материалов, содержащих относящиеся к СОЗ ПБДЭ</b>	<b>76</b>
7.1.1	<i>Удельная теплота сгорания материалов, содержащих относящиеся к СОЗ ПБДЭ, и содержание в них галогенов</i>	76
7.1.2	<i>Мониторинг высвобождения ПБДД/ ПБДФ и полигалогенизированных дибензодиоксинов и дибензофуранов</i>	77
7.1.3	<i>Соображения по поводу коррозии, вызываемой бромом или бромоводородом (HBr)</i>	77
7.1.4	<i>Факторы, подлежащие учету при очистке дымовых газов от бромоводорода и брома</i>	77
<b>7.2</b>	<b>Получение энергии посредством сжигания материалов, содержащих относящиеся к СОЗ ПБДЭ, в установках для сжигания отходов</b>	<b>78</b>
7.2.1	<i>Совместное сжигание пластиковых отходов ЭЭО</i>	79
7.2.2	<i>Совместное сжигание автомобильного шредерного остатка в установках для сжигания твердых бытовых отходов</i>	80
7.2.3	<i>Извлечение металлов</i>	80
7.2.4	<i>Соображения, касающиеся развивающихся стран</i>	80
<b>7.3</b>	<b>Печи для обжига цемента</b>	<b>81</b>
7.3.1	<i>Соображения, касающиеся развивающихся стран</i>	83
<b>7.4</b>	<b>Плавильные системы</b>	<b>84</b>
<b>7.5</b>	<b>Пиролиз и газификация материалов, содержащих ПБДЭ, относящиеся к СОЗ</b>	<b>84</b>
7.5.1	<i>Соображения, касающиеся развивающихся стран</i>	85
<b>7.6</b>	<b>Металлообрабатывающие предприятия</b>	<b>85</b>
7.6.1	<i>Печи для выплавки меди и медеплавильные предприятия полного цикла</i>	86
7.6.2	<i>Извлечение сырья и энергии в электродуговых печах</i>	90
7.6.3	<i>Переработка полимеров, содержащих относящиеся к СОЗ ПБДЭ, с целью получения сырья для сталелитейной промышленности</i>	91
7.6.4	<i>Использование материалов, содержащих относящиеся к СОЗ ПБДЭ, при вторичном производстве алюминия</i>	92
7.6.5	<i>Переработка пластиковых отходов ЭЭО на предприятиях по переплавке сурьмы</i>	93
7.6.6	<i>Соображения, касающиеся развивающихся стран</i>	93
<b>8</b>	<b>Удаление материалов, содержащих относящиеся к СОЗ ПБДЭ, на полигоны для захоронения</b>	<b>95</b>
<b>8.1</b>	<b>Минусы захоронения отходов, содержащих относящиеся к СОЗ ПБДЭ, на полигонах</b>	<b>95</b>

<b>8.2</b>	<b>Организованные полигоны для удаления материалов, содержащих относящиеся к СОЗ ПБДЭ</b>	<b>96</b>
<b>8.3</b>	<b>Соображения, касающиеся долгосрочного надзора за территорией организованного полигона отходов после его закрытия</b>	<b>96</b>
	<b>Список литературы.....</b>	<b>98</b>
	<b>Приложения .....</b>	<b>99</b>
	<b>Приложение 1. Общие соображения относительно наилучших доступных технологий и наилучших видов природоохранной деятельности</b>	<b>99</b>
	<i>Системы экологического менеджмента</i>	99
	<i>Регулирование материалов/ отходов на предприятиях и в ходе технологических процессов</i>	100
	<i>Дробление, шредирование (измельчение), грохочение и промывка</i>	105
	<i>Общие соображения, касающиеся применения наилучших доступных технологий и наилучших видов природоохранной деятельности в отношении выбросов в атмосферу и сброса сточных вод</i>	106
	<i>Предотвращение загрязнения почвы</i>	107
	<b>Приложение 2. Универсальные наилучшие доступные технологии и наилучшие виды природоохранной деятельности для обработки пластика</b>	<b>108</b>
	<i>Учет методов сокращения выбросов ЛОС/ ТЛОС при проектировании технологического процесса</i>	108
	<i>Учет методов сокращения выбросов ЛОС/ ТЛОС при разработке промышленного оборудования</i>	109
	<b>Приложение 3. Удаление материалов, содержащих ПБДЭ, относящиеся к СОЗ, на полигоны для отходов</b>	<b>110</b>
	<i>Вывоз материалов, содержащих относящиеся к СОЗ ПБДЭ, на полигоны для отходов:</i>	110
	<i>Типы отходов, содержащих относящиеся к СОЗ ПБДЭ и подвергаемых захоронению на полигонах</i>	111
	<i>Категории полигонов, принимающих отходы, содержащие ПБДЭ, относящиеся к СОЗ</i>	112
	<i>Доставка отходов на полигоны</i>	113
	<i>Эксплуатация и техническое обслуживание полигонов, на которые удаляются отходы, содержащие относящиеся к СОЗ ПБДЭ</i>	117
	<i>Выбросы ПБДЭ с полигонов для отходов</i>	118
	<i>Высвобождение ПБДЭ, относящихся к СОЗ, при пожарах на полигонах и свалках</i>	121
	<i>Наилучшие доступные технологии для предотвращения краткосрочных и долговременных выбросов ПБДЭ, относящихся к СОЗ, с полигонов для отходов</i>	121
	<i>Наилучшие доступные технологии и наилучшие виды природоохранной деятельности для регулирования полигонов после завершения их эксплуатации</i>	124
	<i>Экскавация полигонов для отходов и воздействие ПБДЭ, относящихся к СОЗ</i>	125
	<i>Захоронение материалов, содержащих относящиеся к СОЗ ПБДЭ, на полигонах в соответствии с принципами наилучших доступных технологий и наилучших видов природоохранной деятельности: сводные результаты, выводы и перспективы</i>	125
	<b>Приложение 4. Получение брома из материалов, содержащих относящиеся к СОЗ ПБДЭ</b>	<b>127</b>
	<i>Извлечение брома посредством термических процессов</i>	128

<i>Технологии выделения ПБДЭ, относящихся к СОЗ, или бромированных антипиренов из полимерной матрицы</i>	130
<b>Приложение 5. Определение содержания ПБДЭ, относящихся к СОЗ, в продуктах и изделиях</b>	<b>132</b>
<i>Идентификация ПБДЭ, относящихся к СОЗ, стандартными методами анализа ПБДЭ</i>	132
<i>Методы экспресс-анализа содержания ПБДЭ, относящихся к СОЗ, путем ГХ-МС</i>	132
<i>Мониторинг содержания ПБДЭ непосредственно на предприятии методом рамановской спектроскопии</i>	133
<i>Измерение содержания брома в продуктах и изделиях непосредственно на предприятии</i>	133
<i>Масс-спектрометрия скользящего разряда</i>	133
<i>Метод рентгенофлуоресцентного анализа</i>	134
<i>Метод просвечивания рентгеновскими лучами</i>	134

## Перечень рисунков

<b>Рисунок 1-1.</b> Структура руководства, отражающая структуру общего потока значимых сфер производства и применения п-пента-БДЭ и п-окта-БДЭ, а также повторного использования, переработки и окончательного удаления изделий, содержащих данные соединения .....	11
<b>Рисунок 3-1.</b> Иерархия технологий обращения с отходами.....	28
<b>Рисунок 4-1.</b> Состав смеси с большим содержанием полимеров после извлечения металлов из шредированных отходов ЭЭО .....	43
<b>Рисунок 4-2.</b> Типы полимеров, выявленные в небольших образцах полимерных отходов ЭЭО (массовая доля, %). .....	44
<b>Рисунок 4-3.</b> Поэтапная сепарация полимеров из отходов электронного и электротехнического оборудования и их трансформация в пластик, имеющий рыночную стоимость и подлежащий рециклингу. ....	47
<b>Рисунок 5-1.</b> Схематическое изображение процесса обработки транспортного средства с выработанным ресурсом .....	60
<b>Рисунок 5-2.</b> Общая схема процесса измельчения при помощи шредерных установок .....	64
<b>Рисунок 5-3.</b> Состав отходов измельчения .....	65
<b>Рисунок А-1.</b> Потенциально возможные методы восстановления брома и создания замкнутого технологического цикла брома (Tange and Drohmann 2002).....	128

## Перечень таблиц

<b>Таблица 2-1.</b> Типичное распределение гомологов ПБДЭ в промышленных смесях ПБДЭ .....	16
<b>Таблица 2-2.</b> Расчетные значения общей выработки промышленных смесей ПБДЭ, в период с 1970 г. до 2005 г. ....	16
<b>Таблица 3-1.</b> Сравнение технологий рециклинга и извлечения ресурсов по количеству выбросов и степени воздействия .....	34
<b>Таблица 4-1.</b> Сочетание методов сепарации, вводимые ресурсы, продукты, получаемые в результате, статус метода, а также комментарии относительно экономической выгоды метода.....	56
<b>Таблица 5-1.</b> Детали транспортных средств с выработанным ресурсом, которые могут быть переработаны .....	63
<b>Таблица 5-2.</b> Общий обзор технологий постшредерной обработки .....	66
<b>Таблица 7-1.</b> Окислительно-восстановительный потенциал галогенов, а также температура кипения/плавления галогенидов натрия и калия .....	78
<b>Таблица 7-2.</b> Производительность металлообрабатывающих предприятий в Европе .....	89
<b>Таблица А-1.</b> Типы полигонов для отходов и соответствующие ограничения на захоронение отходов, содержащих относящиеся к СОЗ ПБДЭ.....	114



## Список сокращений

АБС	Акрилонитрилбутадиен-стирол
ГБД	Гексабромдифенил
ГБЦД	Гексабромциклододекан
ГФУ	Гидрофторуглерод
ГХ-МС	Газовая хроматография с применением масс-спектрометра
Дека-БДЭ	Декабромдифениловый эфир
ИК	Инфракрасный
КР-СОЗ	Комитет по рассмотрению стойких органических загрязнителей
КС	Конференция сторон
ЛОС	Летучие органические соединения
ПБД	Полибромдифенил
ПБДД/ ПБДФ	Полибромированные дибензо-р-диоксины и полибромированные дибензофураны
ПБДЭ	Полибромдифениловый эфир
ПБДЭ-СОЗ	Полибромдифениловые эфиры, относящиеся к стойким органическим загрязнителям
ПБТ	Полибутилентерефталат
ПВХ	Поливинилхлорид
п-окта-БДЭ	Промышленный октабромдифениловый эфир (смесь гекса-БДЭ и гепта-БДЭ)
п-пента-БДЭ	Промышленный пентабромдифениловый эфир (смесь тетра-БДЭ и пента-БДЭ)
ППУ	Пенополиуретан
ПХД	Полихлорированный дифенил
ПХДД/ ПХДФ	Полихлорированные дибензо-р-диоксины и полихлорированные дибензофураны
СОЗ	Стойкие органические загрязнители
ТБО	Твердые бытовые отходы
ТЛОС	Труднолетучие органические соединения
УПС	Ударопрочный полистирол
ХФУ	Хлорфторуглерод
ЭЛТ	Электронно-лучевая трубка
ЭЭО	Электротехническое и электронное оборудование
RoHS	Директива Европейского Парламента и Совета об ограничении использования определенных опасных веществ при производстве электротехнического и электронного оборудования

## 1 Введение

### 1.1 Назначение документа

В мае 2009 г. Конференция Сторон внесла изменения в Стокгольмскую конвенцию о стойких органических загрязнителях с целью включения в Приложение А некоторых полибромированных дифениловых эфиров:

- Гексабромдифенилового эфира и гептабромдифенилового эфира<sup>1</sup>;
- Тетрабромдифенилового эфира и пентабромдифенилового эфира<sup>2</sup>.

В рамках данного документа перечисленные химические соединения собирательно называются ПБДЭ, относящиеся к СОЗ. Гексабромдифениловый эфир и гептабромдифениловый эфир входят в состав промышленной смеси пентабромдифенилового эфира (п-пента-БДЭ), а тетрабромдифениловый эфир и пентабромдифениловый эфир содержатся в промышленном октабромдифениловом эфире (п-окта-БДЭ).

Основная задача данного документа заключается в предоставлении руководящих указаний по применению наилучших доступных технологий и наилучших видов природоохранной деятельности в целях рециклинга и окончательного удаления продуктов и изделий, содержащих относящиеся к СОЗ ПБДЭ, приемлемым с точки зрения охраны окружающей среды способом с соблюдением рекомендаций Конференции Сторон по устранению ПБДЭ, относящихся к СОЗ, из отходов различных видов. Под наилучшими доступными технологиями понимается наиболее эффективный и передовой этап в развитии производственной деятельности и методов эксплуатации объектов, который указывает на практическую пригодность определенных технологий. Наилучшие виды природоохранной деятельности характеризуют применение наиболее оптимального сочетания мер и стратегий регулирования природоохранной деятельности. Настоящий документ также предназначен для оказания содействия Сторонам-участникам Конвенции в пересмотре и обновлении национальных планов выполнения обязательств путем внесения информации о мерах по ликвидации стойких органических загрязнителей в соответствующих материальных потоках в рамках выполнения обязательств по реализации положений Стокгольмской конвенции (см. рис. 1-1). В документе приведены указания, касающиеся разработки комплекса мероприятий по приемлемому с точки зрения охраны окружающей среды обращению с изделиями и материалами, содержащими относящиеся к СОЗ ПБДЭ, на основании результатов инвентаризации ПБДЭ, относящихся к СОЗ. В частности, данное руководство представляет практический интерес для национальных координационных центров по реализации положений Конвенции, координаторов процесса пересмотра и обновления национального плана выполнения обязательств, а также для рабочих групп, отвечающих за проведение инвентаризации ПБДЭ, относящихся к СОЗ, и разработку планов действий по регулированию ПБДЭ, относящихся к СОЗ.

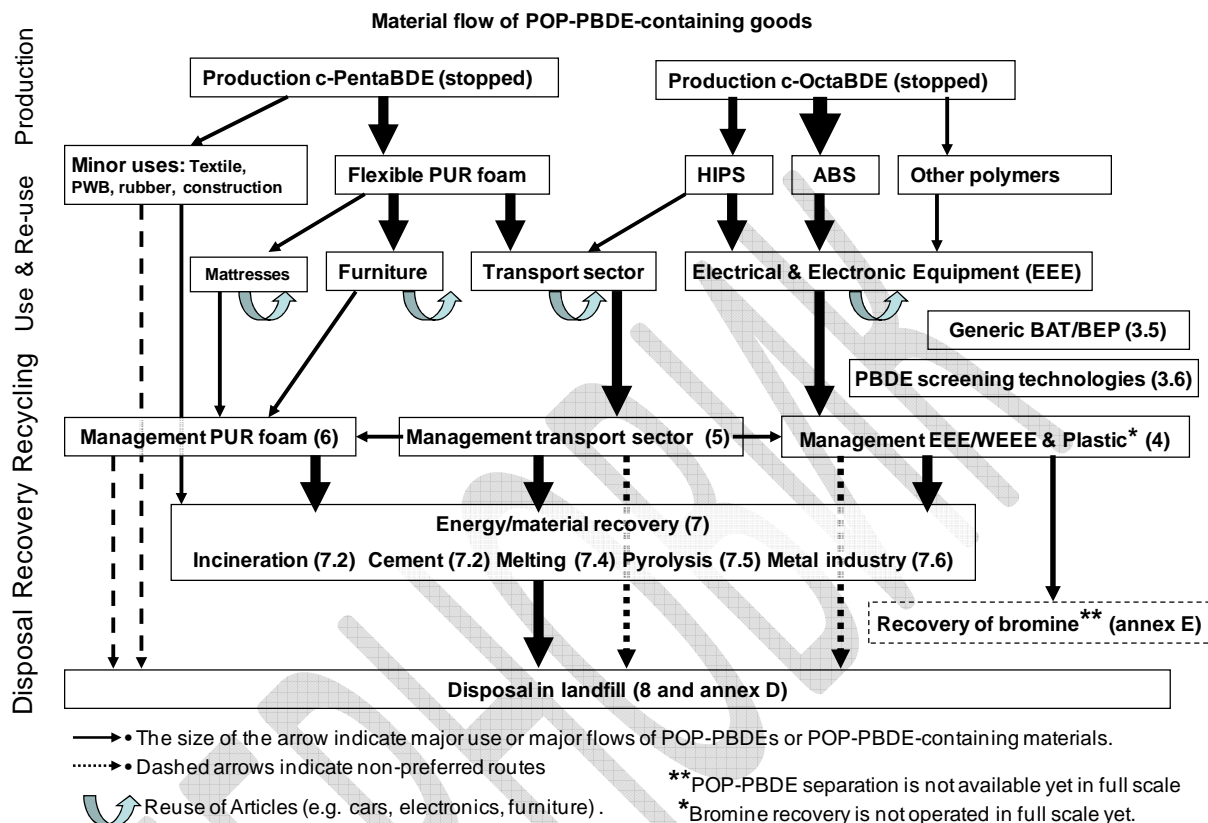
Кроме того, в документе рассматриваются вопросы переработки продуктов и изделий, содержащих относящиеся к СОЗ ПБДЭ, а также вопросы уничтожения данных химических соединений.

<sup>1</sup> В список Конвенции включены тетрабромдифениловый эфир и пентабромдифениловый эфир, т.е. 2,2',4,4'-тетрабромдифениловый эфир (БДЭ-47; номер в реестре CAS 40088-47-9) и 2,2',4,4',5-пентабромдифениловый эфир (БДЭ-99; номер в реестре CAS 32534-81-9), а также другие тетра- и пентабромдифениловые эфиры, входящие в состав смеси промышленного пентабромдифенилового эфира.

<sup>2</sup> В список Конвенции включены гексабромдифениловый эфир и гептабромдифениловый эфир, т.е. 2,2',4,4',5,5'-гексабромдифениловый эфир (БДЭ-153, номер в реестре CAS 68631-49-2), 2,2',4,4',5,6'-гексабромдифениловый эфир (БДЭ-154, номер в реестре CAS 207122-15-4), 2,2',3,3',4,5',6-гептабромдифениловый эфир (БДЭ-175, номер в реестре CAS 446255-22-7), 2,2',3,4,4',5',6-гептабромдифениловый эфир (БДЭ-183, номер в реестре CAS 207122-16-5), а также другие гекса- и гептабромдифениловые эфиры, являющиеся компонентами промышленной смеси октабромдифенилового эфира.

## 1.2 Структура документа

В разделе 1 дан краткий обзор целей и структуры данного документа (см. рис. 1-1). В этом разделе также разъясняется связь руководства с Базельской конвенцией о контроле за трансграничной перевозкой опасных отходов и их удалением.



**Рисунок 1-1.** Структура руководства, отражающая структуру общего потока значимых сфер производства и применения п-пента-БДЭ и п-окта-БДЭ, а также повторного использования, переработки и окончательного удаления изделий, содержащих данные соединения

Material flow of POP-PBDE containing goods – Материальный поток изделий и продуктов, содержащих относящиеся к СОЗ ПБДЭ; production – производство; use & re-use – использование и повторное использование; recycling – переработка; recovery – извлечение ресурсов; disposal – окончательное удаление; Production of c-Penta-BDE (stopped) – Производство п-пента-БДЭ (прекращено); Production of c-Octa-BDE (stopped) – Производство п-окта-БДЭ (прекращено); Minor uses: Textiles, PWB, rubber, construction – Менее значимые сферы применения: текстильные изделия, печатные платы, резинотехнические изделия, строительные материалы; Flexible PUR foam – Эластичный пенополиуретан; HPS – УПС; ABS – АБС; Other polymers – Прочие полимеры; Mattresses – Матрасы; Furniture – Мебель; Transport sector – Транспортный сектор; Electrical & Electronic Equipment (EEE) – Электрическое и электротехническое оборудование (ЭЭО); Generic BAT/BEP (3.5) – Универсальные наилучшие доступные технологии и наилучшие виды природоохранной деятельности (3.5); PBDEs screening technologies (3.6) – Технологии скрининга и выявления ПБДЭ (3.6); Management PUR foam (6) – Регулирование изделий из пенополиуретана (6); Management transport sector (5) – Регулирование продукции транспортного сектора (5); Management EEE/WEEE & Plastic\* (4) – Регулирование ЭЭО/ отходов ЭЭО и пластиковых полимеров\* (4); Energy/ material recovery (7) – Извлечение энергии/ ресурсов (7); Incineration (7.2) –

Сжигание (7.2); Cement (7.2) – Использование цементных печей для обжига цемента; Melting (7.4) – Выплавка; Pyrolysis (7.5) – Пиролиз; Metal industry (7.6) – металлообрабатывающие предприятия; Recovery of bromine\*\* (annex E) – Восстановление брома\*\* (приложение 5); Disposal in landfill (8 and annex D) – Захоронение отходов на полигонах (8 и приложение 4); The size of the arrow indicate major use or major flows of POP-PBDEs or POP-PBDE-containing materials – Размер стрелки соответствует значимости данной сферы применения или материального потока в отношении ПБДЭ или изделий, содержащих относящиеся к СОЗ ПБДЭ ; Dashed arrows indicate non-preferred routes – Пунктирные стрелки указывают на нежелательные способы обращения с отходами; Reuse of Articles (e.g. cars, electronics, furniture) – Повторное использование изделий (например, легковых автомобилей, электронных устройств, мебели); POP-PBDE separation is not available in full scale – Полноценное отделение ПБДЭ, относящихся к СОЗ, невозможно; Bromine recovery is not operated in full scale yet – Восстановление брома в промышленных масштабах в настоящее время не производится.

В разделе 2 представлены справочная информация о ПБДЭ, относящихся к СОЗ (2.1), расчетная оценка общего объема выработки п-пента-БДЭ и п-окта-БДЭ (2.2), информация об основных сферах прежнего употребления п-пента-БДЭ и п-окта-БДЭ (2.3), сведения о риске, с которым связано применение ПБДЭ, относящихся к СОЗ (2.4), а также информация о содержании ПБДЭ, относящихся к СОЗ, в материальных потоках, потоках переработки и изделиях, снятых с эксплуатации.

В разделе 3 (дополнительная информация содержится также в приложениях 1 и 2) описаны общие принципы и межотраслевые факторы, подлежащие учету при переработке и удалении изделий, содержащих ПБДЭ, относящиеся к СОЗ, исходя из иерархии технологий обращения с отходами (3.2), управления жизненным циклом (3.3), при учете альтернатив ПБДЭ, относящимся к СОЗ (3.4), а также мониторинга содержания брома/ ПБДЭ в полимерах (3.5).

В разделе 4 рассматриваются наилучшие доступные технологии и наилучшие виды природоохранной деятельности для повторного использования электронного и электротехнического оборудования (ЭЭО) (4.1), переработки пластиковых материалов из отходов ЭЭО (4.2), технологии сепарации пластиковых материалов, содержащих относящиеся к СОЗ ПБДЭ (4.3), а также методы переработки пластиковых отходов изделий, исчерпавших свой ресурс, которые содержат относящиеся к СОЗ ПБДЭ (4.4).

В разделе 5 дан обзор возможных наилучших доступных технологий и наилучших видов природоохранной деятельности для обращения с продуктами транспортной промышленности, содержащими относящиеся к СОЗ ПБДЭ (легковыми автомобилями, автобусами, грузовыми автомобилями, железнодорожным транспортом, морским и авиационным транспортом), с целью повторного использования данной транспортной продукции (5.1), обработки и переработки транспортных средств с выработанным ресурсом (5.2), а также с целью получения энергии и окончательного удаления измельченных остатков автомобильных деталей (автомобильных шредерных остатков) и других отходов транспортных средств с выработанным ресурсом (5.3).

В разделе 6 описаны наилучшие доступные технологии и наилучшие виды природоохранной деятельности для регулирования и обработки изделий из пенополиуретана, содержащего относящиеся к СОЗ ПБДЭ, в том числе повторное использование мебели и матрасов (6.1), переработка/ рекуперация пенополиуретана (6.2), маркировка изделий, произведенных из пенополиуретана, прошедшего переработку (6.3), а также технологии в отношении других материалов, которые могут быть загрязнены ПБДЭ (6.4).

В разделе 7 содержится информация о способах термической обработки материалов, содержащих относящиеся к СОЗ ПБДЭ (7.1), в том числе о сжигании отходов (7.2), применении печей для обжига цемента (7.3), применении плавильных печей (7.4), а также методах пиролиза (7.5). Также в этом разделе описываются аспекты применения наилучших доступных технологий и наилучших видов природоохранной деятельности различными предприятиями вторичных металлов, занимающимися обработкой материалов, содержащих ПБДЭ (в целях получения энергии или металлов) (7.6).

В разделе 8 (а также в приложении 3) рассматриваются соображения, связанные с наименее предпочтительным способом удаления отходов, содержащих ПБДЭ, – захоронением таких отходов на полигонах и свалках, с учетом того факта, что не для всех стран доступны альтернативные методы удаления отходов.

### 1.3 Связь с Базельской конвенцией

Базельская конвенция о контроле за трансграничной перевозкой опасных отходов и их удалением была принята в 1989 г. и вступила в силу в 1992 г. Базельская конвенция имеет непосредственное отношение к применению наилучших доступных технологий и наилучших видов природоохранной деятельности для обращения с отходами, которые содержат СОЗ, загрязнены ими или состоят из них. С учетом того, что полимеры в отходах ЭЭО в потенциале представляют собой крупнейший поток материалов, содержащих относящиеся к СОЗ ПБДЭ, огромную важность приобретает согласованность действий («синергические связи») при реализации положений Стокгольмской конвенции и Базельской конвенции. Базельская конвенция, среди прочего, накладывает на подписавшие ее Стороны обязательства по минимизации производства опасных отходов, обеспечению наличия соответствующих объектов по удалению отходов, а также обеспечению экологически обоснованного регулирования отходов.

На восьмом совещании Конференции Сторон Базельской конвенции, проведенном в декабре 2006 г., были пересмотрены и приняты общие технические указания по экологически обоснованному регулированию отходов, состоящих из СОЗ, загрязненных ими или содержащих такие загрязнители. В данных указаниях рассматриваются вопросы, связанные со всеми тремя аспектами деятельности, определяемыми в пункте 2 статьи 6 Стокгольмской конвенции. На десятом совещании, состоявшемся в октябре 2011 г., Конференция Сторон Базельской конвенции приняла рабочую программу<sup>3</sup> в отношении СОЗ, включенных в Стокгольмскую конвенцию, с целью обновления общих указаний и разработки специализированных технических указаний.

### 1.4 Связь с другими экологическими факторами

Согласно требованию, изложенному в пункте 6 статьи 3 Стокгольмской конвенции, любая Сторона, в отношении которой действует конкретное исключение и (или) приемлемая цель, принимает соответствующие меры для обеспечения того, чтобы любое производство или использование в рамках такого исключения или цели осуществлялись таким образом, который предупреждает или сводит к минимуму воздействие на человека и выбросы в окружающую среду. Настоящий документ разработан в качестве руководства для Сторон, присоединившихся к конвенции, по надлежащей оценке факторов риска, связанных с применением перфтороктансульфоновой кислоты (ПФОСК) и ее солей.

В потоках материалов, содержащих относящиеся к СОЗ ПБДЭ, могут также содержаться другие значимые загрязнители:

- Приборы и устройства, относящиеся к ЭЭО, содержат широкий спектр загрязняющих веществ, что подробно описано Шведским агентством по охране окружающей среды (Naturvardsverket, 2011). Отдельные типы устройств, относящихся к ЭЭО, в частности, кондиционеры, выделяют вещества, разрушающие озоновый слой, например, хлорфторуглероды (ХФУ), или парниковые газы, например, гидрофторуглероды (ГФУ).

---

<sup>3</sup> Решение БК-10/9.

- **Транспортные средства с выработанным ресурсом**, помимо различных СО<sub>2</sub>, содержат другие поллютанты, в том числе тяжелые металлы, вещества, разрушающие озоновый слой и (или) парниковые газы.
- **Пенополиуретан** может содержать опасные пенообразующие вещества, способствующие разрушению озонового слоя (например, ХФУ) или увеличению парникового эффекта (например, дихлорметан).

Переработка и удаление данных материальных потоков могут сопровождаться приведением в свободное состояние и высвобождением указанных токсических соединений, в результате чего происходит вредное воздействие на человека и загрязнение окружающей среды (Wong et al., 2007; UNEP, 2010b). Соединения, выброс которых при переработке и захоронении на полигонах отходов ЭЭО представляет наибольшую опасность, - свинец, ртуть, а также, наряду с ПБДЭ, химические соединения, включенные в список Приложения С Стокгольмской конвенции (в частности, полихлорированные дибензо-*p*-диоксины и дибензофураны (ПХДД/ ПХДФ)), и родственные им бромированные диоксины и фураны. По результатам исследований образцов и биологического материала, полученных из окружающей среды и от человека в регионах, где происходит бесконтрольная переработка отходов ЭЭО, выявлялись предельно высокие значения (в некоторых случаях – наиболее высокие за весь период наблюдений и измерений) концентрации этих соединений (UNEP 2010a, 2010b; Naturvardsverket, 2011). Выброс веществ, разрушающих озоновый слой, и парниковых газов также представляет серьезную угрозу; такие выбросы могут иметь место в случаях, когда при окончательном удалении отходов ЭЭО, отходов транспортных средств с выработанным ресурсом и т.д. не соблюдаются принципы применения наилучших доступных технологий и наилучших видов природоохранной деятельности.

Таким образом, переработка и окончательное удаление материалов, содержащих ПБДЭ, относящиеся к СО<sub>2</sub>, требуют целостного подхода, учитывающего наличие всех данных загрязнителей, вероятность их высвобождения/ выброса при переработке и удалении, а также факторы риска, сопряженные с подобными выбросами. Наличие веществ, разрушающих озоновый слой, парниковых газов, тяжелых металлов (в том числе свинца и ртути), новых стойких органических загрязнителей и непреднамеренно вырабатываемых СО<sub>2</sub> дает возможность координировать соответствующую деятельность по реализации нескольких конвенций (Стокгольмской, Роттердамской и Базельской конвенций, Монреальского протокола и конвенции ООН об изменении климата) путем минимизации содержания всевозможных загрязнителей, представляющих различную опасность. Предлагаемый подход к оценке жизненного цикла изделий (описываемый в качестве инструмента решения в разделе 3.3) гарантирует учет всех упомянутых факторов влияния на окружающую среду, а также обеспечивает надлежащую оценку этих факторов для принятия наукоемких решений посредством адаптации наиболее подходящих для отдельных материальных потоков, содержащих относящиеся к СО<sub>2</sub> ПБДЭ, методов переработки и окончательного удаления отходов. При регулировании этих материальных потоков Сторонам настоятельно рекомендуется соблюдать должные меры предосторожности в целях минимизации выбросов всех перечисленных загрязнителей при внедрении наилучших доступных технологий и наилучших видов природоохранной деятельности в соответствии с указаниями данного руководства.



## 2 Справочная информация о ПБДЭ, относящихся к СОЗ

### 2.1 ПБДЭ, включенные в Стокгольмскую конвенцию о стойких органических загрязнителях

Полибромированные дифениловые эфиры (ПБДЭ; см. рис. 2-1) представляют собой группу промышленных ароматических броморганических химических соединений, используемых с 1970-ых гг. в качестве антипиреновых добавок при производстве разнообразной продукции, преимущественно товаров широкого потребления. Произведенные промышленным способом ПБДЭ отличались тремя разными степенями бромирования и распространялись коммерчески в виде промышленного пентабромдифенилового эфира, промышленного октабромдифенилового эфира и промышленного декабромдифенилового эфира (Alaee et al., 2003; Prevedouros et al., 2004; SFT, 2009). Типичный характер распределения компонентов, содержащихся в промышленных смесях эфиров, описан в таблице 2-1. Несмотря на то, что в составе п-дека-БДЭ<sup>4</sup> не выявлено полибромдифениловых эфиров, относящихся к стойким органическим загрязнителям, в течение своего жизненного цикла данная смесь химических соединений может подвергаться дебромированию с последующим образованием ПБДЭ, относящихся к СОЗ, представляя собой, таким образом, значимый источник таких ПБДЭ (UNEP, 2010c; Ross et al., 2009).

В Стокгольмскую конвенцию включены тетрабромдифениловый эфир и пентабромдифениловый эфир, являющиеся основными компонентами в составе промышленного пентабромдифенилового эфира (п-пента-БДЭ), а также гексабромдифениловый эфир и гептабромдифениловый эфир, содержащиеся в промышленном октабромдифениловом эфире (п-окта-БДЭ).

Тетра-БДЭ, пента-БДЭ, гекса-БДЭ и гепта-БДЭ внесены в список Приложения А Стокгольмской конвенции, что предусматривает ликвидацию их производства и использования Сторонами, при условии соблюдения исключений, предусмотренных конвенцией. Перечисленные стойкие органические загрязнители в настоящем документе именуется полибромдифениловыми эфирами, или ПБДЭ, относящимися к стойким органическим загрязнителям (СОЗ). Окта-БДЭ, нона-БДЭ и дека-БДЭ, содержащиеся в промышленной смеси, в список Конвенции не включены, поскольку данные химические соединения не соответствуют определению стойких органических загрязнителей. Тем не менее, эти высокобронированные эфиры могут подвергаться дебромированию до ПБДЭ, являющихся стойкими органическими загрязнителями (UNEP, 2010b, 2010c).

Относящиеся к СОЗ ПБДЭ долгое время сохраняются в окружающей среде, способны к биоаккумуляции и могут переноситься на большие расстояния от источника выброса. Данные химические соединения обнаруживаются как в организме человека, так и в биоте, независимо от географического региона. Существуют доказательства вредного воздействия данных соединений на человека и животный мир (Shaw et al., 2010).

---

<sup>4</sup> В результате термических процессов, а также процессов, происходящих в окружающей среде и в биоте, декабромдифениловые эфиры могут подвергаться распаду до полибромдифениловых эфиров более низкой степени бромирования, в том числе до соединений, считающихся стойкими органическими загрязнителями (UNEP, 2010c). К прочим ключевым продуктам распада относятся полибромированные дибензофураны и, в зависимости от обстоятельств, полибромированные дибензо-*p*-диоксины (Weber and Kuch, 2003; Ebert and Bahadir, 2003; UNEP, 2010b).

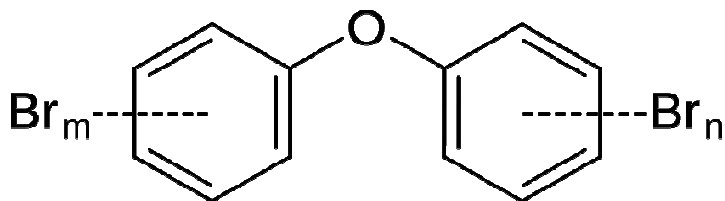


Рисунок 2-1. Структура полибромдифениловых эфиров (ПБДЭ)

Таблица 2-1. Типичное распределение гомологов ПБДЭ в промышленных смесях ПБДЭ

Промышленная смесь	Компонент, масс. %					
	Тетра-БДЭ	Пента-БДЭ	Гекса-БДЭ	Гепта-БДЭ	Окта-БДЭ	Дека-БДЭ
п-пента-БДЭ	24-38	50-60	4-8			
п-окта-БДЭ			10-12	44	31-35	10-11
п-дека-БДЭ						<3
						97-98

(*Sellstrom et al., 2005; La Guardia et al., 2006*)

## 2.2 Производство промышленных смесей полибромдифениловых эфиров

П-пента-БДЭ производился в Израиле, Японии, США и странах Европейского союза (ЕС), а также, возможно, в Китае (UNEP, 2006a, 2010b). Производство данной коммерческой смеси в странах ЕС было прекращено в 1997 г. Принято считать, что с конца 1990-ых гг. полибромдифениловые эфиры, относящиеся к стойким органическим загрязнителям, производились преимущественно в США вплоть до 2004 г. – этот год считается датой прекращения производства.<sup>5</sup>

Смеси п-окта-БДЭ производились в Нидерландах, Франции, США, Японии, Великобритании и Израиле. В 2004 г. было прекращено производство данных загрязнителей в странах ЕС, США и странах Азиатско-Тихоокеанского региона; к настоящему времени не было получено информации, свидетельствующей о том, что п-окта-БДЭ по-прежнему производится в каких-либо развивающихся странах (BSEF 2007).

Согласно оценкам, приведенным в сводном обзоре данных о производстве ПБДЭ, подготовленном Комитетом по рассмотрению СОЗ (КР-СОЗ) в рамках Стокгольмской конвенции, всего за период с 1970 г. до 2005 г. было произведено в общей сложности от 1,3 до 1,5 миллионов тонн полибромдифениловых эфиров (UNEP, 2010a). Общая выработка п-пента-БДЭ во всех странах мира, по оценкам, составила около 100000 тонн; аналогичный показатель указывается для п-окта-БДЭ. К 2005 г. было произведено более 1,1 миллиона тонн п-дека-БДЭ,<sup>6</sup> не включенного в списки Стокгольмской конвенции (см. таблицу 2-2). Несмотря на то, что производство стойких органических загрязнителей п-пента-БДЭ и п-окта-БДЭ было прекращено в 2004 г., дека-БДЭ по-прежнему производится.

Таблица 2-2. Расчетные значения общей выработки промышленных смесей ПБДЭ, в период с 1970 г. до 2005 г.

Промышленная смесь	Тонн
п-пента-БДЭ	91000 – 105000

<sup>5</sup> Информация о производстве п-пента-БДЭ в Китае и сроках его прекращения требует уточнения (UNEP, 2010a, 2010b).

<sup>6</sup> С течением времени дека-БДЭ подвергается распаду до ПБДЭ более низкой степени бромирования, в том числе до ПБДЭ, относящихся к СОЗ (UNEP, 2010b, 2010c).



п-окта-БДЭ	102700 – 118500
п-дека-БДЭ	1100000 – 1250000

(UNEP, 2010a: цитируется по Schenker et al., 2008 и Li, 2010)

## 2.3 Прежнее использование ПБДЭ, относящихся к СОЗ

Основные отрасли производства, в которых использовались ПБДЭ, относящиеся к СОЗ, включают в себя следующие:

- Производство броморганических соединений;
- Электротехническая и электронная промышленность;
- Транспортная промышленность;
- Мебельная промышленность;
- Текстильная и ковровая промышленность;
- Строительная промышленность;
- Переработка отходов производства и потребления (рециклинг).

### 2.3.1 Прежнее использование п-пента-БДЭ

Считается, что на долю производства пенополиуретана (ППУ) приходится от 90 до 95% всего произведенного п-пента-БДЭ. Данные пеноматериалы применялись преимущественно для производства обивочных материалов и в автомобильной промышленности. Менее значимые сферы применения п-пента-БДЭ включают в себя производство текстильных изделий, печатных плат, пеноизоляции, изоляции кабелей, конвейерных лент, лаков и, возможно, буровых растворов (UNEP, 2007). На долю п-пента-БДЭ, использовавшегося в данных областях, приходится, по расчетам, всего 5% или менее от общего количества п-пента-БДЭ (SFT, 2009; UNEP, 2010b). Опубликованы данные (Alcock et al., 2003), согласно которым в США в общей сложности было использовано 85000 тонн п-пента-БДЭ, в то время как остальные 15000 тонн пришлись на долю Европы. Нельзя исключить возможность того, что п-пента-БДЭ производились и использовались в странах Азии, однако достоверные данные на этот счет отсутствуют.

Данные о приблизительном отраслевом распределении объема производства п-пента-БДЭ во всех странах мира (36% использовано в транспортной промышленности, 60% - в производстве мебели, а оставшиеся 4% включают в себя производство прочих продуктов и изделий) представляются обоснованными и в целом согласуются с результатами анализа различных видов отходов (UNEP, 2010b).

По имеющимся данным, в пенополиуретане материалов для обивки, набивочных материалов, подушек сидений и матрасов, а также ковровых покрытий, используемых, в частности, в странах, в которых регламентированы требования к огнестойкости таких материалов (например, США, Великобритании), содержание п-пента-БДЭ в среднем составляет около 3-5 масс.% (массовая доля в %) (ENVIRON, 2003; UNEP, 2010a). Для производства пенополиуретана, использовавшегося в транспортной промышленности, например, производства сидений или подголовников/подлокотников п-пента-БДЭ, возможно, использовался в меньших количествах: массовая доля п-пента-БДЭ в данных случаях – 0,5-1% (Luedeka, 2011).<sup>7</sup> Если учесть, что общий объем производства п-пента-БДЭ составил

<sup>7</sup>Соблюдение стандарта огнестойкости MVSS 302 при производстве автомобильных сидений и пеноматериалов для внутренней отделки салонов требует содержания различного количества антипиренов в зависимости от того, тестируются ли исходные (сырцовые) пеноматериалы или композитные покрытия сидений, потолков или пола салона. По сообщению одного из крупнейших мировых поставщиков сидений, для производства формованных изделий из пеноматериалов требуется от 0,5% до 1,0% огнезащитных добавок: именно такое количество антипиренов может обнаруживаться в автомобильных сидениях, подлокотниках и подголовниках. Содержание антипиренов в ковровых покрытиях, изготовленных с применением формованных пеноматериалов,

приблизительно 100000 тонн, а массовая доля данного соединения в пенополиуретане – 4%, то можно рассчитать (с запасом), что прошлая выработка пенополиуретана с применением п-пента-БДЭ составила приблизительно 2,5 миллиона тонн. Это значение, возможно, было значительно более высоким ввиду того, что в основной сфере своего применения (производстве пенополиуретана для транспортных средств в США) п-пента-БДЭ использовался в меньших количествах. Кроме того, вторичная переработка пенополиуретана, загрязненного данным СОЗ, совместно с пенополиуретаном, не содержащим п-пента-БДЭ, привела к увеличению общего количества пенополиуретановых материалов, содержащих полибромдифениловые эфиры, относящиеся к стойким органическим загрязнителям. Более подробная информация изложена в разделе 2 «Руководства по инвентаризации полибромдифениловых эфиров (ПБДЭ), включенных в Стокгольмскую конвенцию о стойких органических загрязнителях».

### 2.3.2 Прежнее использование п-окта-БДЭ

В прошлом п-окта-БДЭ преимущественно использовался в производстве акрилонитрилбутадиенстирольных полимеров (АБС-пластика), на долю которых приходилось около 95% п-окта-БДЭ в странах Европейского союза. АБС-пластик, изготовленный с использованием СОЗ, применялся, в основном, для производства корпусов электротехнического и электронного оборудования, в частности, корпусов электронно-лучевых приборов и офисного оборудования, например, копировальных аппаратов и принтеров.<sup>8</sup> Прочие, менее значимые сферы применения включали в себя производство ударопрочного полистирола (УПС), полибутилтерефталата (ПБТ) и полиамидных пластмасс. Подавляющее большинство указанных полимеров использовалось в электронных приборах и устройствах, однако некоторые также использовались в транспортной промышленности.

Прочие второстепенные сферы применения, согласно опубликованным данным, включали в себя производство нейлона, полиэтилена низкой плотности, поликарбоната, фенолформальдегидных смол, ненасыщенных полиэфирных смол, адгезивных материалов и полимерных покрытий (UNEP, 2010a, 2010b).

В составе продуктов основной сферы применения массовая доля п-окта-БДЭ, как правило, находилась на уровне от 12 до 18%, а объем выработки п-окта-БДЭ при удельной массе 15% составлял приблизительно 100000 тонн. Расчетный объем производства первичных полимеров, содержащих п-окта-БДЭ, составил приблизительно 800000 тонн. С учетом наличия п-окта-БДЭ в новых пластиковых изделиях в результате рециклинга загрязненных полимеров (вторичное загрязнение) можно с уверенностью предположить, что общее количество изделий из пластика, содержащего СОЗ, значительно выше указанного значения. Более подробная информация изложена в разделе 2 «Руководства по инвентаризации полибромдифениловых эфиров (ПБДЭ), включенных в Стокгольмскую конвенцию о стойких органических загрязнителях».

---

могло составлять 2-5%, а содержание огнезащитных добавок в пеноматериалах, применявшихся для обработки материала для обшивки потолка салона, в зависимости от материала обивки потолка и качества субстрата пеноматериала, достигало 15% (Luedeka, 2011).

<sup>8</sup> В некоторых регионах, например, в странах Европы и в Японии, корпуса ЭЛТ-мониторов и копировальное оборудование уже, как правило, рассматриваются отдельно.

## 2.4 Риск, связанный с применением ПБДЭ, относящихся к СОЗ

Риск, сопряженный с применением отдельных стойких органических загрязнителей, оценивался Комитетом по рассмотрению СОЗ (КР-СОЗ). Характеристики факторов рисков, связанных с применением и производством п-пента-БДЭ (UNEP/POPS/POPRC.2/17/Add.1) и п-окта-БДЭ (UNEP/POPS/POPRC.2/17/Add.4), а также документы по оценке учета факторов риска, сопряженных с п-пента-БДЭ (UNEP/POPS/POPRC.3/20/Add.1) и п-окта-БДЭ (UNEP/POPS/POPRC.4/15/Add.1), доступны для просмотра и скачивания по адресу [www.pops.int](http://www.pops.int).

В некоторых регионах концентрация выбросов ПБДЭ, относящихся к СОЗ, уже достигает таких значений, при которых начинается серьезное отрицательное воздействие на здоровье человека, поддающееся измерению в рамках эпидемиологических исследований (Herbstman et al., 2010). В «Техническом отчете о последствиях рециклинга промышленного пентабромдифенилового эфира и промышленного октабромдифенилового эфира», представленном КР-СОЗ (UNEP 2010a, b), сделан вывод о том, что наибольшему риску в случае воздействия ПБДЭ, относящихся к СОЗ, в результате участия в деятельности по переработке отходов подвергаются следующие группы населения:

- Рабочие, занятые в процессе переработки и окончательного удаления отходов ЭЭО, отличающемся низким уровнем технологии.
- Лица, проживающие в тех областях развивающихся стран/ стран с переходной экономикой, в которых ведется интенсивная деятельность по переработке и удалению отходов ЭЭО с применением устаревших и низкоуровневых технологий (Wong et al., 2007).
- Рабочие, занятые в производстве/ переработке/ монтаже (сборке или установке) изделий из пеноматериалов (Stapleton et al., 2008).
- Новорожденные и грудные дети, в особенности в странах или местностях, где вредное воздействие данных загрязнителей на организм уже достигло высокого уровня. В таких ситуациях не исключается вероятность того, что применение изделий, изготовленных из вторичного сырья, увеличит имеющийся высокий уровень вредного воздействия.
- Рабочие, обслуживающие плавильные печи и другое оборудование по обработке отходов ЭЭО (могут подвергаться вредному воздействию в результате выбросов ПБДЭ из печатных плат или пластиковых отходов ЭЭО, а также выбросов родственных данным эфирам полибромированных дибензо-*p*-диоксинов и дибензофуранов (ПБДД/ ПБДФ)).
- Женщины, обладающие способностью к деторождению, и беременные женщины, что связано с воздействием на неврологическое развитие плода (Herbstman et al., 2010).

В этом отчете также был сделан вывод о том, что образование ПБДД/ ПБДФ в ходе жизненного цикла ПБДЭ (Shaw et al., 2010) представляет собой серьезную угрозу, которую необходимо учитывать при оценке факторов риска, сопряженных с обработкой относящихся к СОЗ ПБДЭ (UNEP, 2010a, b).

## 2.5 ПБДЭ, относящиеся к СОЗ, в материальных потоках и потоках переработки, а также в изделиях, срок эксплуатации которых исчерпан

Хотя считается, что ПБДЭ, относящиеся к СОЗ, более не производятся, основную сложность в их ликвидации представляет выявление существующих запасов СОЗ и изделий, содержащих ПБДЭ, относящиеся к СОЗ, а также их удаления по окончании срока службы.

Значительные объемы данных загрязнителей участвуют в мировом потоке рециклинга и продолжают использоваться в изделиях широкого потребления (UNEP, 2010a, 2010b; Shaw et al., 2010). Существующие практики повторного использования и рециклинга материалов и отходов, содержащих

ПБДЭ, относящиеся к СОЗ, послужили толчком для принятия на 4-ом совещании Конференции Сторон решения о введении специального исключения, допускающего рециклинг и повторное использование указанных материалов при соблюдении определенных условий. В «Техническом отчете о последствиях рециклинга промышленного пентабромдифенилового эфира и промышленного октабромдифенилового эфира» (UNEP 2010a, b) подчеркивается, что риск увеличения вредного воздействия загрязнителей в случае, когда в рамках эпидемиологических исследований, проводимых в некоторых регионах, выявляются поддающиеся количественному определению серьезные последствия воздействия ПБДЭ на здоровье человека, явно нецелесообразен с точки зрения здравого смысла. Следовательно, необходим контроль переработки материалов, содержащих ПБДЭ, в сырье для изделий, эксплуатация которых не позволяет эффективно регулировать дальнейшее вредное воздействие данных соединений (UNEP, 2010 a, b). При этом превращение таких изделий в отходы по окончании срока их службы может повлечь дополнительные выбросы загрязнителей (Hale et al., 2006). Таким образом, все существующие запасы должны быть уничтожены или подлежат регулированию экологически обоснованным образом. В этом отношении также учитываются сформулированные на 5-ом совещании указания Конференции Сторон касательно поэтапного сокращения деятельности по рециклингу материалов, содержащих относящиеся к СОЗ ПБДЭ, там, где это возможно.

В основных разделах данного документа и приложениях к нему приведены некоторые технические характеристики методов, подходящих для решения поставленных задач.

### 2.5.1 П-пента-БДЭ: повторное использование, переработка и содержание в отходах

П-пента-БДЭ преимущественно использовался для производства пенополиуретана для нужд транспортной промышленности (т.е., легковых автомобилей, автобусов, железнодорожного транспорта и т.д.) и мебельной промышленности (например, для производства диванов, сидений, подушек и т.д.); данная промышленная смесь также в ограниченном количестве применялась при производстве матрасов и в некоторых других областях. Таким образом, в данном руководстве по применению наилучших доступных технологий и наилучших видов природоохранной деятельности необходимо рассмотреть аспекты повторного использования и переработки (рециклинга) указанных основных материальных ресурсов (см. разделы 5 и 6).

Необходимость в оценке прежнего применения п-пента-БДЭ в других, менее значимых сферах (например, при изготовлении изоляционных материалов для строительных нужд, технической резины, текстильных изделий, поливинилхлорида (ПВХ), эпоксидных смол, используемых в печатных платах, и т.д.) может возникнуть, только если данные области применения п-пента-БДЭ представляются актуальными для данной страны.

Основные потоки использования и рециклинга материалов и изделий, содержащих п-пента-БДЭ, представлены на рисунке 2-2.

#### *Транспортная промышленность*

Срок службы легковых автомобилей в развитых странах составляет от 10 до 12 лет; автобусы и железнодорожный подвижной состав могут эксплуатироваться на протяжении более длительного периода времени. Существенное количество легковых автомобилей и других транспортных средств, произведенных в развитых странах, экспортировалось и продолжает экспортироваться в развивающиеся страны и страны с переходной экономикой для дальнейшего (повторного) использования; в этих странах данные транспортные средства зачастую эксплуатируются в течение весьма продолжительного времени до полного выхода из строя, а затем разбираются на запчасти, которые, в свою очередь, также используются повторно. В настоящее время (скорее всего, в

развивающихся странах) продолжается эксплуатация значительной доли парка транспортных средств (легковых автомобилей, автобусов и, возможно, поездов), произведенных с 1970 г. до 2004 г. и содержащих п-пента-БДЭ; такие транспортные средства по окончании срока службы подлежат выявлению для предотвращения их повторной эксплуатации и рециклинга. Таким образом, в отношении транспортного сектора существует потребность в особых принципах применения наилучших доступных технологий и наилучших видов природоохранной деятельности для дальнейшего контроля и управления материалами, содержащими п-пента-БДЭ. Применение наилучших доступных технологий и наилучших видов природоохранной деятельности в рамках данного материального потока рассматривается в разделе 5. Вопросы, связанные со сложившейся практикой переработки пенополиуретана и полимеров, отчасти затрагиваются в разделах 4 и 7.

### *Производство мебели и матрасов*

Применение п-пента-БДЭ, а также других антипиренов для производства мебели и матрасов зависит от наличия в данной стране нормативов, регулирующих требования к огнестойкости изделий (Shaw et al., 2010). В частности, действующие в США и Великобритании стандарты огнестойкости определяют требования пожарной безопасности к мебели, в связи с чем мебель в Северной Америке и Великобритании часто производится с добавлением антипиренов. Таким образом, старая мебель и матрасы (в особенности в таких учреждениях, как тюрьмы, учреждения военного ведомства, больницы или гостиницы) в этих странах/ регионах могут содержать п-пента-БДЭ и другие антипирены.

Срок эксплуатации мебели в развитых странах, по оценкам, составляет приблизительно 10 лет. Соответственно, считается, что значительная часть мебели, содержащей п-пента-БДЭ, в этих странах уже вывезена на полигоны или подвергнута сжиганию (ESWI, 2011), а малая доля была переработана, например, в основание для ковровых покрытий (см. ниже). Объем экспорта мебели из Северной Америки и Великобритании в другие регионы для повторного использования и переработки не оценивался и должен быть учтен в качестве возможного источника п-пента-БДЭ в других странах.

П-пента-БДЭ также применялся при производстве жесткого пенополиуретана, используемого в качестве строительного материала, однако данная сфера применения ПБДЭ не считается значимой. Информация о дальнейшем выявлении соединения в продуктах переработки жесткого пенополиуретана отсутствует.

### *Производство текстильных изделий и резинотехнических изделий*

В ограниченных количествах п-пента-БДЭ использовался<sup>9</sup> для обработки текстильных изделий, в том числе обработки задней поверхности текстильных изделий, при производстве портьер и функционального текстиля (UNEP, 2009). Несмотря на то, что объем рециклинга текстильных изделий, содержащих ПБДЭ, относящиеся к СОЗ, до конца не ясен, есть основания полагать, что данное значение для композитных материалов, например, используемых в транспортной промышленности, будет невелико. Не исключена возможность наличия некоторого ограниченного количества других текстильных изделий, содержащих данные ПБДЭ, среди продуктов рециклинга, однако с определенной степенью уверенности можно утверждать, что в обращении находится лишь сравнительно небольшое количество текстильных изделий, содержащих относимые к СОЗ ПБДЭ, поскольку применение п-пента-БДЭ было прекращено около 10 лет назад. Решение Комитета по рассмотрению СОЗ рекомендовать Конференции Сторон включить гексабромциклододекан, применяющийся главным образом в текстильной промышленности, в список стойких органических

---

<sup>9</sup> П-дека-БДЭ и гексабромциклододекан до сих пор используются для пропитки текстильных изделий.



загрязнителей (КР-СОЗ-5/6<sup>10</sup>) может означать, что регулирование производства и использования текстильных изделий, обработанных бромированными антипиренами, проявляющими подобные СОЗ свойства, в ближайшем будущем может стать гораздо более актуальным. П-пента-БДЭ также использовался в производстве резины для конвейерных лент и в других, не имеющих большого значения сферах. В связи с тем, что содержание ПБДЭ в изделиях и продуктах данных отраслей невелико, применение наилучших доступных технологий и наилучших видов природоохранной деятельности для подобных случаев не рассматривается, за исключением случаев наличия ПБДЭ в изделиях, срок эксплуатации которых исчерпан (см. разделы 7 и 8).

### *Производство печатных плат*

Применение п-пента-БДЭ в производстве печатных плат было постепенно свернуто.<sup>11</sup> Печатные платы в качестве отходов электротехнического и электронного оборудования в конечном итоге оказываются в некоторых развивающихся странах, где посредством примитивных методов в неофициальном секторе или при помощи обычных плавильных печей производится извлечение металлов из печатных плат. Такая деятельность может приводить к выделению определенного количества ПБДЭ, относимых к СОЗ, и полибромированных дибензодиоксинов и дибензофуранов (см., например, Yu et al., 2008). Соответственно, существует острая необходимость в определении и внедрении наилучших доступных технологий и наилучших видов природоохранной деятельности для данного материального потока (см. разделы 4, 7 и 8).

### *Получение новых изделий из продуктов переработки пенополиуретана*

Полиуретановые пеноматериалы, применявшиеся для производства мебели, транспортных средств, транспортных средств с выработанным ресурсом и матрасов, подвергаются частичной переработке для вторичного использования в составе новых изделий посредством таких технологических процессов, как склеивание путем прессования измельченных пенополимеров для изготовления основы для коврового покрытия и повторное измельчение.

#### **[Переработка пенополиуретана для изготовления основы для коврового покрытия]**

В настоящее время в США и Канаде широко практикуется переработка пенополиуретана в основу для ковровых покрытий путем склеивания и прессования измельченных пенополимеров (Ludeka, 2011; см. раздел 6). Объем перерабатывающей деятельности такого рода в других регионах неизвестен, однако представляется ограниченным (DiGangi et al., 2011). Результаты первого же исследования, проведенного в США (Stapleton et al., 2008), свидетельствовали о значимом воздействии ПБДЭ, относящихся к СОЗ, на работников, занятых в переработке пенополиуретана и специалистов по настилу ковровых покрытий; кроме того, существует очевидный риск дальнейшего воздействия данных СОЗ на потребителей.

#### **[Прочие сферы применения]**

Хотя большая часть обрезков пенополиуретана используется для переработки в основу для ковровых покрытий (в США), подобные куски и обрезки также могут измельчаться и использоваться в качестве упаковочных материалов, набивочного материала для подушек, подстилки для домашних животных и

<sup>10</sup> [http://informea.org/uploads/decisions/stockholm/\\_3754\\_stockholm-POPRC-5-6-en\\_4df73f5fbb6d5.pdf](http://informea.org/uploads/decisions/stockholm/_3754_stockholm-POPRC-5-6-en_4df73f5fbb6d5.pdf)

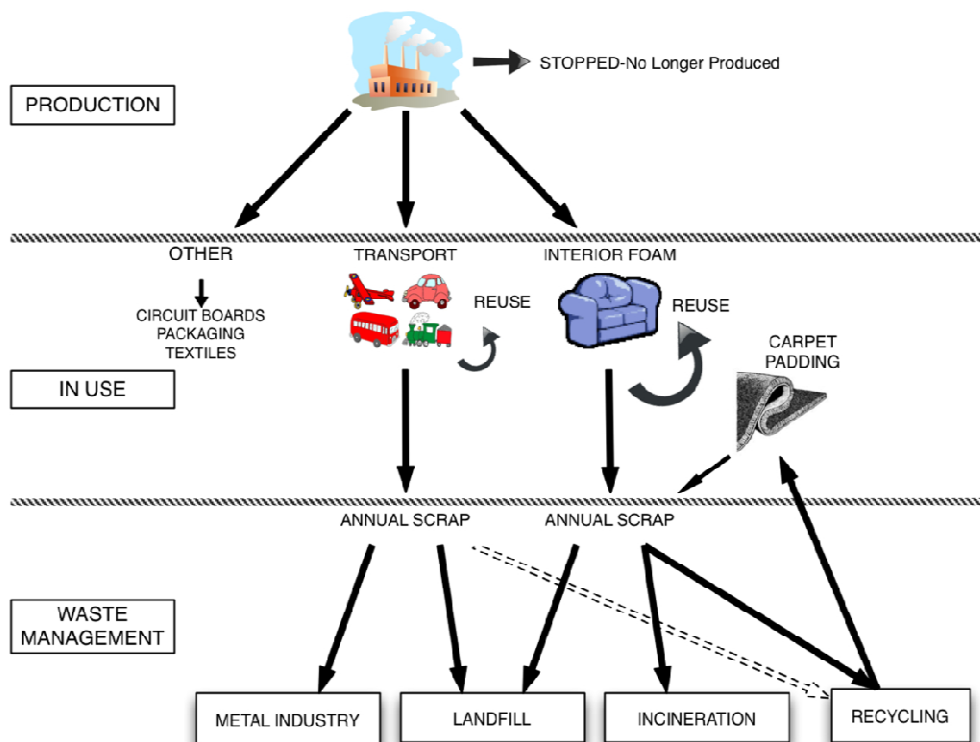
<sup>11</sup> Основной антипирен, применяемый в производстве печатных плат, - тетрабромбисфенол-А и его производные.

изоляционного материала и набивки мягких игрушек. Обрезки пеноматериалов, кроме того, могут применяться в качестве набивочного материала для некоторых видов мебели, в качестве звукоизоляционного материала, гимнастических матов или набивки сидений школьных автобусов (UNEP, 2010b; USEPA, 1996; Zia et al., 2007).

#### [Повторное измельчение]

В работе (Eaves, 2004) отмечается, что данный инновационный технологический процесс позволяет производителям в некриогенных условиях измельчать обрезки пеноматериалов в ультрадисперсный порошок, которым заменяется около 20% первичных полимеров при производстве новых пеноматериалов.

Меры по внедрению наилучших доступных технологий и наилучших видов природоохранной деятельности призваны сократить возможный риск вредного воздействия путем сепарации пеноматериалов, содержащих относящиеся к СОЗ ПБДЭ (см. раздел 6).



(по материалам: Alcock et al., 2003; UNEP, 2010a, b)

**Рисунок 2-2.** Схематическое изображение жизненного цикла п-пента-БДЭ

PRODUCTION – ПРОИЗВОДСТВО; STOPPED – No Longer Produced – ПРЕКРАЩЕНО – более не производится; OTHER – ПРОЧИЕ ПРОДУКТЫ; TRANSPORT – ТРАНСПОРТНЫЕ СРЕДСТВА; INTERIOR FOAM – ПЕНОМАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ОТДЕЛКИ ПОМЕЩЕНИЙ И ПРОИЗВОДСТВА МЕБЕЛИ; IN USE – ЭКСПЛУАТАЦИЯ; Circuit boards – печатные платы; packaging – упаковочные материалы; textiles – текстильные изделия; reuse – повторное использование; carpet padding – ковровые покрытия; ANNUAL SCRAP – ЕЖЕГОДНЫЙ СБОР ОТХОДОВ ДЛЯ УТИЛИЗАЦИИ; WASTE MANAGEMENT – РЕГУЛИРОВАНИЕ ОТХОДОВ; METAL INDUSTRY – МЕТАЛЛУРГИЯ; LANDFILL – ПОЛИГОНЫ ДЛЯ ЗАХОРОНЕНИЯ ОТХОДОВ; INCINERATION – СЖИГАНИЕ; RECYCLING – ПЕРЕРАБОТКА ОТХОДОВ

### 2.5.2 П-окта-БДЭ: повторное использование, переработка и содержание в отходах

Страны Европы и Япония отказались от применения п-окта-БДЭ в 1990-ых гг. Производство п-окта-БДЭ в США было прекращено в 2004 г. Наибольшее количество п-окта-БДЭ содержится в полимерах (в частности, в АБС-пластике и УПС), используемых в электротехническом и электронном оборудовании или являющихся отходами электрического и электронного оборудования. В производстве полимеров для транспортной промышленности п-окта-БДЭ применялся ограниченно.

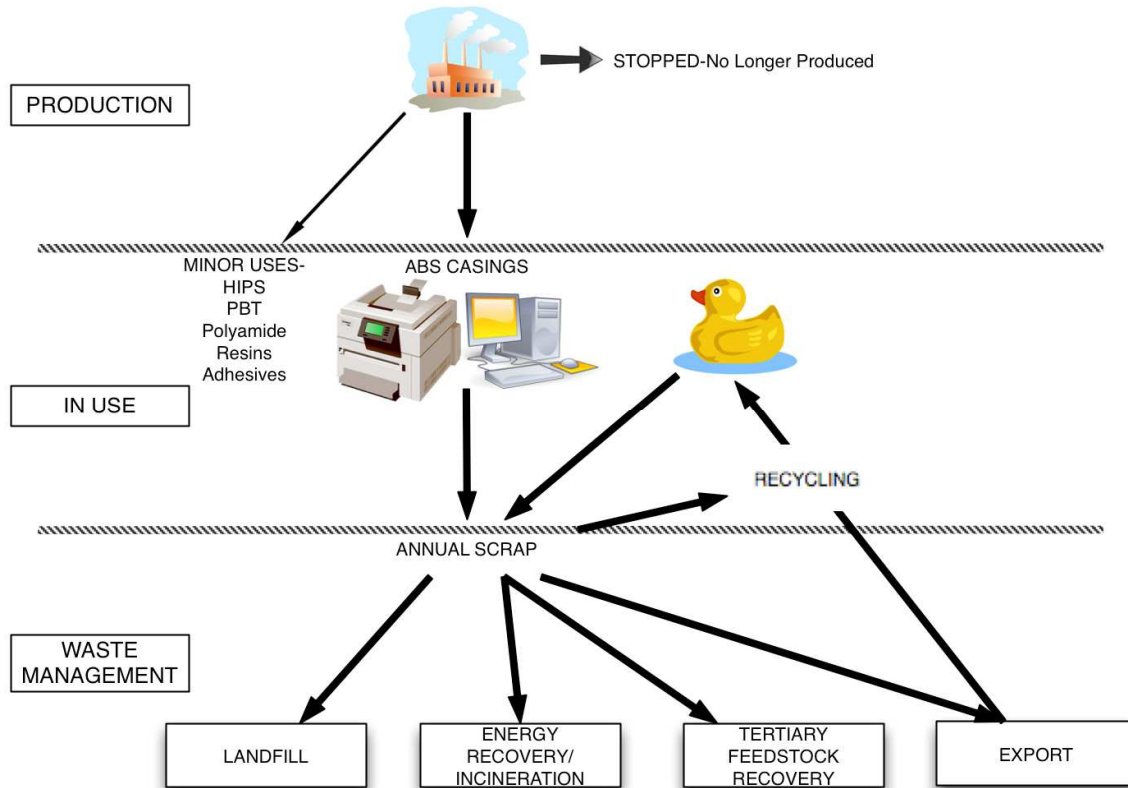
#### *Электротехническое и электронное оборудование, находящееся в употреблении, поддержанное электротехническое и электронное оборудование и отходы электротехнического и электронного оборудования*

Электронные приборы, произведенные до 2005 г., в основном, телевизоры и компьютерные ЭЛТ-мониторы, могут содержать п-окта-БДЭ, использованный в качестве огнезащитного материала. Большое количество поддержанного электротехнического и электронного оборудования, а также отходов электротехнического и электронного оборудования экспортировались – и в некоторых случаях по-прежнему экспортируется – развитыми странами или регионами (например, США, странами Европы и Японией) в развивающиеся страны с целью повторного употребления или рециклинга. Применение примитивных технологий рециклинга отходов электротехнического и электронного оборудования привело к загрязнению обширных участков местности в развивающихся странах, а также к воздействию СОЗ на специалистов, занятых в переработке, и на все население в целом (Wong et al., 2007; UNEP, 2010a, b).

#### *Пластмассы, полученные в результате рециклинга отходов электротехнического и электронного оборудования, и производство изделий из переработанных пластмасс*

С точки зрения иерархии технологий обращения с отходами и оценки жизненного цикла крайне предпочтительна механическая переработка пластмасс для последующего вторичного использования. При этом в случае загрязнения пластмасс СОЗ и другими опасными веществами соблюдению иерархии технологий обращения с отходами следует уделить особое внимание. В результате рециклинга отходов электротехнического и электронного оборудования образуется фракция огнестойких пластмасс, которые могут содержать п-окта-БДЭ. Отдельные пластиковые элементы отходов электротехнического и электронного оборудования отправляются в развивающиеся страны, например, Китай и Индию, где данные элементы подвергают рециклингу и переработке в новые изделия. Результаты недавних исследований показали, что переработка пластмасс, содержащих относящиеся к СОЗ ПБДЭ и другие бромированные антипирены, применялась при производстве изделий, не требующих огнестойкости, в том числе детских игрушек, предметов домашнего обихода и видеокассет (Hirai & Sakai, 2007; Chen et al., 2009; Chen et al., 2010). Приведенные данные свидетельствуют о недостаточном контроле над потоком пластмасс, содержащих относящиеся к СОЗ ПБДЭ и другие антипирены, в сфере переработки, а также о том, что содержащие ПБДЭ пластмассы смешиваются с полимерами, не обладающими огнестойкостью, при производстве изделий для особо уязвимых категорий конечных потребителей. Таким образом, в некоторых случаях применение переработанного пластика может представлять значительно бóльшую опасность, нежели применение первоначального продукта (например, в случае переработки корпуса принтера в игрушку, которую ребенок может взять в рот).





(по материалам: Alcock et al., 2003)

**Рисунок 2-3.** Схематическое изображение жизненного цикла п-окта-БДЭ и потенциальная опасность выбросов

PRODUCTION – ПРОИЗВОДСТВО; STOPPED – No Longer Produced – ПРЕКРАЩЕНО – более не производится; MINOR USES – НЕЗНАЧИМЫЕ СФЕРЫ ПРИМЕНЕНИЯ; ABS CASINGS – ДЕТАЛИ КОРПУСОВ ИЗ АБС-ПЛАСТИКА; IN USE – ЭКСПЛУАТАЦИЯ; HIPS – ударопрочный полистирол; PBT – полибутилентерефталат; polyamide – полиамидные пластмассы; resins – смолы; adhesives – адгезивные материалы; RECYCLING – РЕЦИКЛИНГ; ANNUAL SCRAP – ЕЖЕГОДНЫЙ СБОР ОТХОДОВ ДЛЯ УТИЛИЗАЦИИ; WASTE MANAGEMENT – РЕГУЛИРОВАНИЕ ОТХОДОВ  
 LANDFILL – ПОЛИГОНЫ ДЛЯ ЗАХОРОНЕНИЯ ОТХОДОВ; ENERGY RECOVERY INCINERATION – ПОЛУЧЕНИЕ ЭНЕРГИИ В РЕЗУЛЬТАТЕ СЖИГАНИЯ ОТХОДОВ; TERTIARY FEEDSTOCK RECOVERY – ВТОРИЧНАЯ ПЕРЕРАБОТКА ДЛЯ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ИСХОДНОГО СЫРЬЯ; EXPORT – ЭКСПОРТ

## 2.6 Сепарация материалов, содержащих относящиеся к СОЗ ПБДЭ

В указаниях Комитета по рассмотрению СОЗ, принятых на 5-ом совещании Конференции Сторон, особо отмечается важность сепарации материалов, содержащих относящиеся к СОЗ ПБДЭ. Данные указания являются логическим продолжением подробного «Технического отчета о последствиях рециклинга промышленного пентабромдифенилового эфира и промышленного октабромдифенилового эфира», представленного КР-СОЗ (UNEP 2010a, b). В случае необходимости подробной информации о предпосылках регулирования ПБДЭ, относящихся к СОЗ, следует обратиться к данному экспертному отчету и соответствующему Приложению (UNEP 2010a, b).

Обязательства по реализации положений Стокгольмской конвенции распространяются только на те бромированные антипирены, которые включены в конвенцию, т.е. на ПБДЭ, относимые к СОЗ, и на гексабромдифенил. Тем не менее, сортировка материалов на содержащие ПБДЭ и содержащие другие бромированные антипирены, не включенные в список конвенции, в настоящее время сопряжена с трудностями вследствие технологических ограничений. Соответственно, на практике, в

целях сепарации материалов, содержащих относящиеся к ПБДЭ СОЗ, необходимо отделять все материалы, содержащие бромированные антипирены/ бром, от материалов, не содержащих данные вещества и соединения<sup>12</sup>.

---

<sup>12</sup> Прочие соображения касательно предпочтительности отделения пластиковых полимеров, содержащих бромированные антипирены/ бром, от материалов, не содержащих подобных добавок, приведены в «Техническом отчете о последствиях рециклинга промышленного пентабромдифенилового эфира и промышленного октабромдифенилового эфира» (UNEP 2010a,b)

### **3 Общие принципы и межотраслевые факторы, подлежащие учету при переработке и удалении изделий, содержащих ПБДЭ, относящиеся к СОЗ**

#### **3.1 Общие принципы применения наилучших доступных технологий и наилучших видов природоохранной деятельности**

В этом разделе обобщаются универсальные правила безопасности или необходимые меры предосторожности при обращении с ПБДЭ, относящимися к СОЗ. Данные меры предосторожности распространяются на все типы продукции и предприятия, имеющие отношение к применению и обработке относимых к СОЗ ПБДЭ, и касаются регулирования отходов и жизненного цикла. Руководящие принципы, применимые только к отдельным категориям обработки, приводятся в следующих разделах.

Разработанные в рамках Стокгольмской конвенции указания по применению наилучших доступных технологий и наилучших видов природоохранной деятельности для регулирования непреднамеренно произведенных СОЗ (Stockholm Convention, 2007) схематически описывают такие принципы, как устойчивое развитие, устойчивое потребление, предусмотрительный подход (подход, основанный на принципе «осторожности»), комплексное загрязнение, интернализация экологических издержек, расширенная ответственность производителя, экологически чистое производство, оценка жизненного цикла и управление жизненным циклом. Все эти принципы имеют прямое отношение к обеспечению применения наилучших доступных технологий и наилучших видов природоохранной деятельности при регулировании процессов переработки и удаления материалов, содержащих ПБДЭ, относящиеся к СОЗ. В настоящем документе к ключевым материальным потокам изделий, содержащих относящиеся к СОЗ ПБДЭ, применены методы оценки жизненного цикла и регулирования жизненного цикла в связи с их особой значимостью для определения оптимальных способов переработки и окончательного удаления отходов (см. раздел 3.4).

#### **3.2 Регулирование отходов**

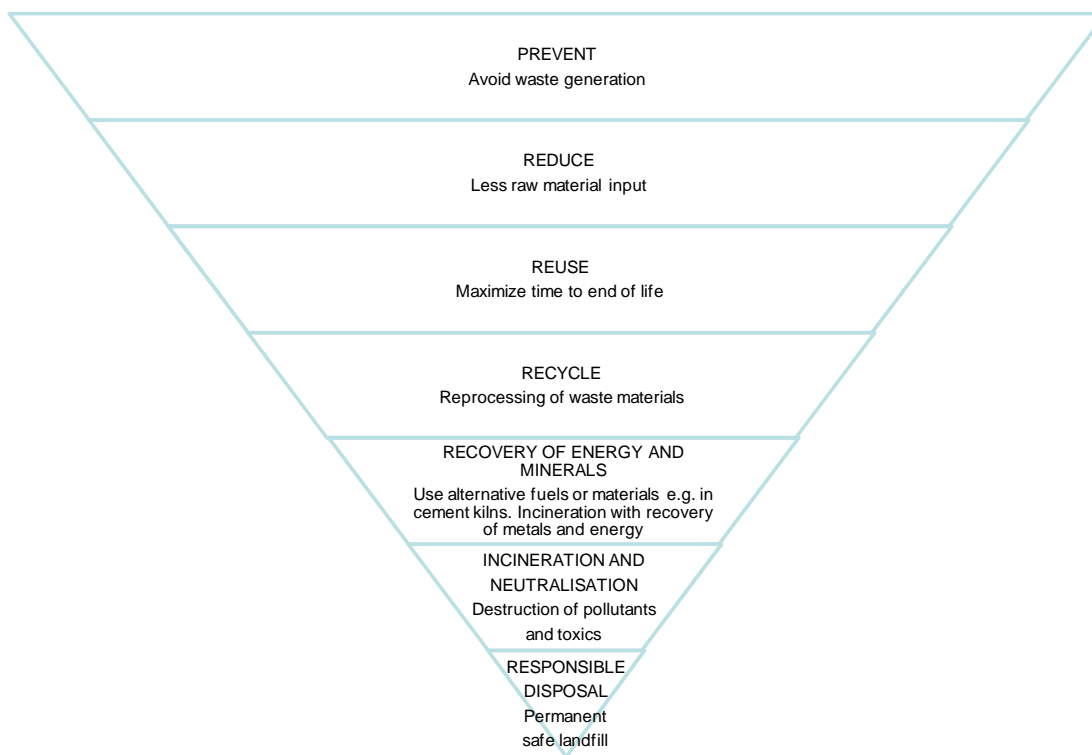
Регулирование отходов оказывает влияние на все слои общества и секторы экономики. Вопросы регулирования отходов должны решаться на уровне муниципальной, региональной и федеральной власти, а решение этих вопросов требует наличия законодательной базы, финансового механизма, а также эффективного сотрудничества между гражданами и органами власти на всех уровнях. Кроме того, эффективное регулирование отходов невозможно без достаточного уровня инвестирования. Для внедрения сбалансированной системы регулирования отходов важно, чтобы все значимые действия на различных уровнях выполнялись с соблюдением единой согласованной стратегии. Таким образом, обсуждение и принятие национальной стратегии регулирования отходов представляется необходимым или, по меньшей мере, перспективным.

Успешное внедрение какой-либо системы регулирования отходов, в особенности в развивающихся странах, может потребовать передачи соответствующих технологий и создания потенциала, в соответствии со статьей 12 Стокгольмской конвенции.

Конференция Сторон Стокгольмской конвенции при любой возможности стремится обеспечить соблюдение принципов иерархии технологий обращения с отходами (Stockholm Convention, 2007). В указаниях по применению наилучших доступных технологий и наилучших видов природоохранной деятельности, представленных в приложении С Стокгольмской конвенции принята иерархия технологий обращения с отходами, показанная на рисунке 3-1.

Каждое решение должно приниматься с учетом местных обстоятельств, например, наличия объектов для обработки отходов, альтернативных рынков для материалов, а также инфраструктуры, позволяющей безопасным образом собирать, обрабатывать и транспортировать отходы.

При рассмотрении возможностей и способов обращения с материалами, содержащими относящиеся к СОЗ ПБДЭ, важно отразить принципы технологий обращения с отходами, которые также описаны в разделах, посвященных отдельным видам отходов. В этих разделах указаны ключевые аспекты, которые необходимо учесть при рассмотрении вопроса о повторном использовании изделий, содержащих относящиеся к СОЗ ПБДЭ, а также описаны варианты переработки и технологии сепарации изделий/ материалов, содержащих данные ПБДЭ (разделы 4 – 6). Наличие относящихся к СОЗ ПБДЭ и ПФОСК в соответствующих крупных материальных потоках создает сложности, связанные с повторным использованием и переработкой изделий, содержащих данные стойкие органические загрязнители. Для переработки и повторного использования продукции, содержащей опасные химические соединения, необходим более предусмотрительный подход, который следует использовать при любой возможности в замкнутых циклах материалов при повышении объема переработки. Также описываются и оцениваются способы возврата термической энергии, в том числе ограничения, накладываемые на возможности обработки отходов, содержащих относящиеся к СОЗ ПБДЭ. Описываются наилучшие доступные технологии и наилучшие виды природоохранной деятельности для окончательного удаления материалов, содержащих ПБДЭ, относящиеся к СОЗ (раздел 8 и приложение 3).



(Stockholm Convention, 2007)

**Рисунок 3-1.** Иерархия технологий обращения с отходами

PREVENT avoid waste generation – ПРЕДОТВРАЩЕНИЕ предотвращение образования отходов; REDUCE less raw material input – СОКРАЩЕНИЕ снижение расхода исходного сырья; REUSE maximize time to end of life – ПОВТОРНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ доведение длительности срока эксплуатации до максимума; RECYCLE reprocessing

of waste materials – ПЕРЕРАБОТКА повторная обработка отходов; RECOVERY OF ENERGY AND MINERALS use alternative fuels or materials e.g. in cement kilns. Incineration with recovery of metals and energy – ПОЛУЧЕНИЕ ЭНЕРГИИ И МИНЕРАЛОВ использование альтернативных видов топлива или ресурсов, например, в печах для обжига цемента. Сжигание с целью извлечения металлов и энергии; INCINERATION AND NEUTRALISATION destruction of pollutants and toxics – СЖИГАНИЕ И НЕЙТРАЛИЗАЦИЯ уничтожение загрязнителей и токсических соединений; RESPONSIBLE DISPOSAL permanent safe landfill – БЕЗОПАСНОЕ УДАЛЕНИЕ экологически безопасное захоронение на полигонах.

В последнее десятилетие признается решающая роль отходов, содержащих относящиеся к СОЗ ПБДЭ, в особенности отходов электронного и электротехнического оборудования и транспортных средств с выработанным ресурсом, в национальных системах и стратегиях по регулированию отходов. В большинстве стран регулирование крупных потоков товаров широкого потребления, содержащих пенополиуретан, таких как мебель, матрасы, а также изоляционных пеноматериалов в настоящее время происходит образом, не позволяющим говорить об устойчивом развитии и потреблении.

Таким образом, инвентаризация переработки и регулирования по завершении срока эксплуатации указанных крупных материальных потоков, содержащих все потенциально вредные химические соединения, и в особенности применение наилучших доступных технологий и наилучших видов природоохранной деятельности при переработке и регулировании таких материальных потоков могут стать важным компонентом национальной программы по регулированию отходов; при этом следует принимать во внимание принципы оценки и регулирования жизненного цикла изделий, изложенные ниже.

### 3.2.1 Ответственность производителя

Производители и прочие заинтересованные лица несут ответственность, возлагаемую на основании таких законодательных инициатив, как комплексная политика ЕС в отношении продукции;<sup>13</sup> тематическая стратегия ЕС по предотвращению образования отходов и их переработке<sup>14</sup> и связанные с ней базовые (рамочные) директивы;<sup>15</sup> программа по расширенной ответственности производителя Организации экономического сотрудничества и развития и соответствующие руководящие документы (OECD, 2001); концепция ответственного обслуживания продукции на всех этапах ее жизненного цикла, а также на основании других инициатив. В некоторых случаях может оказаться целесообразным обязать производителей принимать отдельные произведенные ими изделия в конце срока их эксплуатации и обеспечивать экологически обоснованное регулирование этих изделий (Stockholm Convention, 2007).

Изделия, содержащие относящиеся к СОЗ ПБДЭ, принадлежат к важным материальным потокам, и наложение на производителя ответственности за эти материальные потоки может стать ключом к глобальному регулированию таких изделий. В некоторых регионах в отношении транспортных средств и ЭЭО уже разработаны подобные нормативно-правовые программы, определяющие ответственность производителя за обращение с данными изделиями по окончании срока их эксплуатации. Данный подход может быть применен и в отношении других материальных потоков изделий, содержащих ПБДЭ, относящиеся к СОЗ, например, изоляционных пеноматериалов, матрасов или мебели.

---

<sup>13</sup> <http://ec.europa.eu/environment/ipp/>

<sup>14</sup> <http://ec.europa.eu/environment/waste/strategy.htm>

<sup>15</sup> <http://ec.europa.eu/environment/waste/framework/index.htm>

### 3.3 Регулирование жизненного цикла продукции, содержащей ПБДЭ, относящиеся к СОЗ

Принцип регулирования жизненного цикла продукции описывается как комплексная концепция управления товарами и услугами на всех этапах их жизненного цикла в целях обеспечения более устойчивого производства и потребления, основывающаяся на существующих инструментах процессуальной и аналитической оценки состояния окружающей среды и включающая в себя экономические, социальные и экологические аспекты (Stockholm Convention, 2007).

Оценка жизненного цикла представляет собой универсальный метод количественной оценки влияния какого-либо изделия или системы на окружающую среду и здоровье человека на протяжении полного жизненного цикла этого изделия или системы (UNEP, 2011; European Commission JRC, 2010). Оценка жизненного цикла в основном применяется для анализа причин возникновения проблем, связанных с отдельным изделием, сравнения вариантов улучшения какого-либо изделия, проектирования новых изделий и выбора между имеющимися аналогами какого-либо продукта. Оценка жизненного цикла также может применяться для сравнения вариантов переработки и постэксплуатационной обработки какого-либо изделия.

При помощи данного метода (оценки жизненного цикла) оценивались системы вторичной переработки, в том числе проводилась всесторонняя оценка швейцарской системы сбора и утилизации отходов ЭЭО (Hischier et al., 2005; Wäger et al., 2011). Выбранная модификация подхода к оценке/ регулированию жизненного цикла, определяющая границы применимости подхода, может послужить перспективным инструментом для выработки стратегий регулирования ПБДЭ, относящихся к СОЗ, в странах с низким и средним уровнем дохода, методы и принципы рециклинга в которых отличаются от технологий, применяющихся в развитых странах, и требуют увеличения трудоемкости. Так, применение данного метода может привести к более эффективной сепарации и сортировки переработанных ресурсов на объектах, занимающихся разборкой отходов ЭЭО, тем самым позволяя увеличить производительность и повысить качество операций по переработке. Другие факторы, свидетельствующие о перспективности оценки/ регулирования жизненного цикла, вкратце изложены ниже (см. также таблицу 3-1).

#### 3.3.1 Факторы, подлежащие учету при оценке жизненного цикла полимерной фракции транспортных средств

Легкая фракция автомобильного шредерного остатка, на долю которой приходится большая часть всей полимерной фракции, обычно определяется как 15-25 масс.% - то, что остается после устранения последствий загрязнения окружающей среды, разборки, шредирования (измельчения) корпуса и извлечения металлов из шредированного лома транспортного средства с выработанным ресурсом (Vermeulen et al., 2011).

На сегодняшний день применение оценки жизненного цикла к данному виду отходов рассматривалось лишь в небольшом числе работ (Vermeulen et al., 2011). Все авторы сходятся во мнении, что захоронение таких отходов на полигоне является наименее предпочтительным вариантом, однако выводы относительно альтернатив такому способу удаления отходов, несколько разнятся, в зависимости от принятых допущений и границ системы оценки (Boughton and Horvath, 2006; Ciacci et al., 2010; Duval et al., 2007).

В рамках оценки жизненного цикла в работе (Boughton and Horvath, 2006) гидролиз с последующим получением легкого дистиллятного топлива (термохимическая обработка), совместное сжигание в



печи для обжига цемента и извлечение вторичного сырья для переработки рассматривались в качестве альтернатив захоронению автомобильного шредерного остатка на полигоне. Авторы пришли к заключению, что совместное сжигание автомобильного шредерного остатка в печи для обжига цемента является наиболее выгодным практическим вариантом, требующим наименьших временных затрат, исходя из предположения, что совместное сжигание автомобильного шредерного остатка не повлияет на суммарный объем выбросов или качество цемента и не окажет вредного воздействия на рабочих, обслуживающих печь. Как отмечается в разделе 7.3, впрочем, данные допущения могут быть недостоверными.

В рамках другого исследования, использовавшего метод оценки жизненного цикла, сравнивались пять стратегий регулирования автомобильного шредерного остатка (Ciacci et al., 2010): (i) захоронение на полигоне, (ii) повышение количества металлов, извлеченных из отходов перед их захоронением, (iii) повышение извлечения металлов из отходов с последующей их термической обработкой с целью получения энергии, (iv) повышение извлечения ресурсов посредством постшредерной обработки с последующим получением энергии и (v) переработка с целью получения сырья. Результаты исследования показали, что варианты (iv) и (v) позволяют получить наибольшую экологическую выгоду в сравнении с методами, применяемыми в настоящее время. Вариант (v), т.е. переработка с целью получения вторичного сырья, имел небольшое преимущество, поскольку при его использовании достигался наибольший объем переработки; т.е. данный вариант является наилучшим решением при регулировании автомобильного шредерного остатка.

При этом результаты обоих исследований подтвердили, что состояние рынка по-прежнему оставляет желать лучшего в отношении выгодной переработки пластиковых деталей автомобилей (Duval et al., 2007). Существующие экономические барьеры или факторы рыночной неопределенности зачастую препятствуют полноценному применению альтернативных методов обработки автомобильного шредерного остатка (Vermeulen et al., 2011). Со снижением запасов нефти и ростом затрат на производство энергии цена на полимеры, по всей вероятности, увеличится, поэтому можно ожидать, что в будущем повысится экономическая целесообразность рециклинга, который, скорее всего, станет наилучшей доступной технологией и наилучшим видом природоохранной деятельности при обработке автомобильного шредерного остатка.

### 3.3.2 Факторы, подлежащие учету при оценке жизненного цикла для переработки отходов ЭЭО и пластиковых отходов ЭЭО

В работе (Hischier et al., 2005) изучались швейцарские системы по возврату и переработке; результаты, полученные при помощи оценки жизненного цикла, показали, что воздействие рециклинга отходов ЭЭО на окружающую среду было меньше, нежели в случае альтернативного базового сценария, учитывающего как сжигание отходов ЭЭО, так и первичное производство сырья. Исследование проводилось в промышленно развитой стране, имеющей возможности для выполнения рециклинга экологически приемлемым способом. В большинстве развивающихся стран дело может обстоять иным образом, поэтому при проектировании производственной деятельности по переработке отходов ЭЭО в каждом отдельном случае могут быть применены методы оценки жизненного цикла, чтобы убедиться в том, что предлагаемая деятельность снизит общее воздействие на окружающую среду данной страны с учетом ее особенностей.

### 3.3.3 Факторы, подлежащие учету при оценке жизненного цикла для регулирования пенополиуретана

Поскольку в большинстве стран пенополиуретан отправляется на полигон для отходов или сжигается, текущий жизненный цикл пенополиуретана подлежит дальнейшей оптимизации более безопасным с экологической точки зрения образом. Потенциал улучшения заключается в увеличении т.н. горизонтального рециклинга (т.е. замкнутой системы рециклинга) пенополиуретана. Пенополиуретан может быть использован повторно в результате дробления и измельчения в новый полимер или извлечен при помощи гликолиза, однако лишь в ограниченном масштабе. Массовая переработка пенополиуретана в основу для ковровых покрытий путем склеивания и прессования измельченных пенополимеров в настоящее время практикуется только в Северной Америке. Такие пенополимеры могут быть повторно измельчены и спрессованы в основу для ковровых покрытий.

### 3.3.4 Факторы, подлежащие учету при оценке жизненного цикла для извлечения брома из отходов

Для извлечения брома из материальных потоков, содержащих относящиеся к СОЗ ПБДЭ, был разработан ряд технологий (см. приложение 4). Никаких полномасштабных объектов для этой цели пока не было введено в эксплуатацию, и нет никаких данных, свидетельствующих о разработке подобных рециклинговых установок с замкнутым циклом в перспективе.<sup>16</sup> В целях экологически обоснованного регулирования потока вещества данный пробел необходимо ликвидировать. Привлечь дополнительное внимание к вопросу сепарации пластика, содержащего бром, в связи с имеющимися в настоящее время техническими ограничениями на сепарацию только пластика, содержащего относящиеся к СОЗ ПБДЭ, можно посредством мероприятий по реализации положений Стокгольмской конвенции, которые могут способствовать увеличению сбора ресурсов, содержащих бром, что, в свою очередь, может послужить дальнейшим толчком к развитию технологических процессов по извлечению брома.

Восстановление брома (см. приложение 4) может открыть перспективы по созданию новых источников дохода – при условии, что подобная предпринимательская деятельность защищена политическими мерами и законодательными требованиями, что позволит покрыть издержки в случаях, когда пластик не может быть подвергнут непосредственной переработке. Для дальнейшего содействия внедрению данного метода необходимо оценить суммарные затраты (в том числе внешние издержки) на термическую обработку и захоронение на полигоне или сброс отходов. В случае площадок для термической обработки эти затраты могут включать в себя расходы на охрану окружающей среды при выбросах, ржавление оборудования для переработки и затраты на экологически обоснованное удаление зольного остатка. Стоимость сжигания в печи для опасных отходов составляет приблизительно 10 евро на 0,1% брома (и хлора) в поступившем на утилизацию потоке мусора (Fernwärme Wien GmbH, 2011), однако данная цифра отражает только более высокие производственные издержки, нежели расходы на охрану окружающей среды. В случае удаления

---

<sup>16</sup> Кроме того, степень рециклинга полимеров, содержащих бромированные антипирены, остается низкой (оценивается в 8% для полимеров из отходов ЭЭО в ЕС; PlasticsEurope, 2010), и только некоторая часть таких полимеров перерабатывается в полимеры, обладающие огнезащитными свойствами. Таким образом, циркуляция бромированных антипиренов в настоящее время не может считаться экологически сбалансированной.








зольного остатка цена должна отражать затраты на специализированные мусорные полигоны с возможностью долгосрочного захоронения (см. раздел 8 и приложение 3).

Черновик

Таблица 3-1. Сравнение технологий рециклинга и извлечения ресурсов по количеству выбросов и степени воздействия

<i>Scenario (Material)</i>	<i>Applied in practice</i>	<i>Waste Hierarchy</i>	<i>Economics **</i>	<i>BFR Removal/ Destruction</i>	<i>PBDD/DF</i>	<i>Worker Exposure</i>	<i>Consumer Exposure</i>
<i>Rebonding (PUF)</i>	Green	Green	Orange	Red	Yellow	Red	Red
<i>Regrinding (Polymer)</i>	Green	Green	Orange	Red	Yellow	Red	Red
<i>Moulding (Polymer)</i>	Green	Green	Orange	Red	Orange	Red	Red
<i>Creasolv (Polymer)</i>	Yellow	Green	Yellow	Green	Green	Yellow	Green
<i>Hydrolysis</i>	Orange	Yellow	Orange	Orange	Green	Yellow	Green
<i>Glycolysis</i>	Orange	Yellow	Orange	Orange	Yellow	Yellow	Green
<i>Pyrolysis for fuel/feed</i>	Yellow	Yellow	Orange	Orange	Red	Orange	Yellow
<i>Pyrolysis/ Gasification</i>	Green	Orange	Yellow	Yellow	Orange	Yellow	Green
<i>Blast Furnace (Polymer)</i>	Green	Orange	Green	Green	Yellow	Yellow	Green
<i>Copper Smelters (PWB)</i>	Green	Orange	Green	Green	Red	Orange	Green
<i>Antimony Smelter</i>	Green	Orange	Yellow	Green	Red	Orange	Green
<i>Electric Arc*</i>	Orange	Orange	Yellow	Green	Red	Orange	Green
<i>Secondary Aluminium*</i>	Orange	Orange	Yellow	Green	Red	Orange	Green
<i>Cement Kilns (All)</i>	Green	Orange	Yellow	Green	Yellow	Yellow	Green
<i>HW/MW Incineration (All)</i>	Green	Orange	Red	Green	Orange	Yellow	Green
<i>Landfill (All)</i>	Green	Red	Yellow	Red	Orange	Orange	Orange
<i>Open Burning (All)**</i>	Green	Red	Red	Red	Red	Red	Red

	<b>Yes/ Scoring:</b>
	Positive – e.g. low emissions/ environmental/ health impacts
	Uncertain - probably OK
	Uncertain - possibly negative
	No/Negative – high emissions/ environmental/ health impacts

(UNEP 2010a)

Scenario (Material) – Метод (материал); Applied in practice – Применяется на практике; Waste hierarchy – Иерархия технологий обращения с отходами; Economics\* – Экономические факторы; BFR removal/ destruction – Извлечение/ уничтожение бромированных антипиренов; PBDD/DF – ПБДД/ПБДФ; Worker exposure – Воздействие на операторов оборудования; Consumer exposure – Воздействие на потребителя; Rebonding (PUR) – Измельчение и прессование в новое изделие

(пенополиуретан); Regrinding (Polymer) – Дробление (полимеры); Moulding (Polymer) –Формование (полимеры); Creasolv (Polymer) –Запатентованная технология растворения полимеров CreaSolv® (полимеры); Hydrolysis – Гидролиз; Glycolysis – Гликолиз; Pyrolysis for fuel/feed – Пиролиз для получения топлива/ сырья; Pyrolysis/ Gasification – Пиролиз/ Газификация; Blast furnace (Polymer) – Шахтная печь (полимеры); Copper smelters (PWB) – Медеплавильные предприятия (печатные платы); Antimony smelter – Установка по переработке сурьмы; Electric arc\* – Электродуговая печь; Secondary aluminium\* - Вторичный алюминий; Cement kilns (All) – Цементные печи (все виды отходов); HW/MW incineration (All) – Сжигание медицинских/ токсичных отходов (все виды); Landfill (All) – Захоронение на полигоне (все виды отходов); Open burning (All)\*\* – Открытое сжигание (все виды отходов); Yes/Scoring – Да/ Оценка; Positive – e.g. low emissions/ environmental/ health impacts – Положительная – т.е. малые объемы выбросов/ незначительное воздействие на здоровье человека/ окружающую среду; Uncertain – probably OK – Не определена – допускается приемлемость; Uncertain – possibly negative – Не определена – допускается неприемлемость; No/Negative – high emissions/ environmental/ health impacts – Нет/ Отрицательная – т.е. большие объемы выбросов/ значительное воздействие на здоровье человека/ окружающую среду .

\* ПБДЭ представлены в составе фракции металлов. \*\* Экономические факторы включают в себя учет внешних издержек.

### 3.4 Альтернативы ПБДЭ, относящимся к СОЗ

П-пента-БДЭ и п-окта-БДЭ были постепенно выведены из употребления около десяти лет назад, и за последние 20 лет или около того был разработан и внедрен ряд замен этим соединениям. Поскольку Стокгольмская конвенция запретила производство и применение ПБДЭ, относящихся к СОЗ, информация о других антипиренах может оказаться полезной для оптимизации рационального регулирования химических соединений, обладающих огнезащитными свойствами. Данные, представленные в общем обзоре доступных альтернатив промышленному пентабромдифениловому эфиру (UNEP, 2009), указывают на то, что на рынке имеются подходящие заменители как для п-пента-БДЭ, так и для п-окта-БДЭ – менее опасные, химические и нехимические огнезащитные составы. В отчете, поданном на рассмотрение Европейской комиссии, дан обзор используемых в настоящее время промышленных антипиренов (Arcadis EBRC, 2011).

Цель состоит в замене опасных соединений более безопасными вариантами; для этого необходима тщательная оценка альтернативных огнезащитных составов. Некоторое время назад в работе (Waaijers et al., 2012) рассматривались стойкость, биоаккумуляция и токсическое действие безгалогеновых антипиренов. Для определения наилучшего заменителя ПБДЭ, пригодного для применения в особых целях или условиях, необходима индивидуальная оценка каждого соединения. В целях получения полных и достоверных сведений о токсикологических и экотоксикологических свойствах альтернативных антипиренов и возможностях их переработки важно учесть все имеющиеся данные о воздействии на здоровье человека и окружающую среду (см. приложение 5).

В таблице 3-2 перечислены некоторые огнезащитные соединения, которые могут использоваться в качестве альтернативы п-пента-БДЭ и п-окта-БДЭ в основных сферах применения последних. На рисунке 3-2 в схематичном виде представлен порядок принятия решений по применению тех или иных антипиренов. Критерии выбора экологически приемлемых антипиренов разработаны Немецким агентством по охране окружающей среды (UBA, 2008).

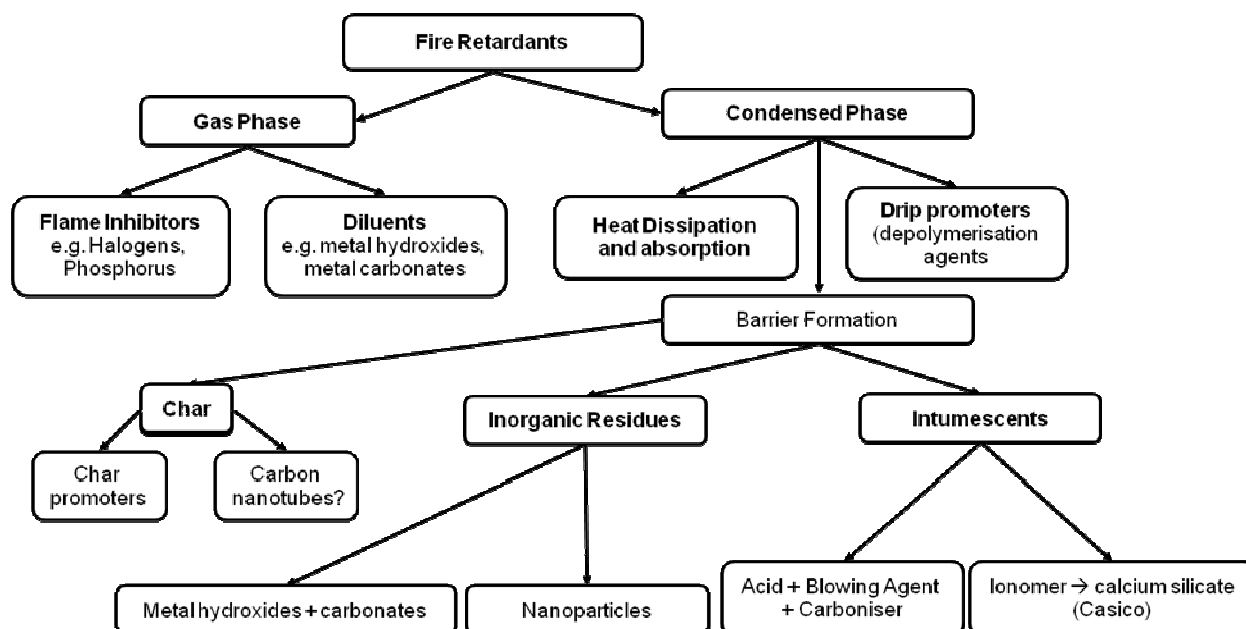
**Таблица 3-2.** Основные сферы применения п-пента-БДЭ и п-окта-БДЭ и некоторые антипирены, которые могут послужить заменой

<b>Основная сфера применения ПБДЭ, относящихся к СОЗ</b>	<b>Альтернативные бромированные или хлорированные антипирены</b>	<b>Альтернативные безгалогеновые - антипирены</b>
<b>Корпуса электронного и электротехнического оборудования (ЭЭО) (п-окта-БДЭ)</b>	П-дека-БДЭ и декабромдифенилэтан (ДБДФЭ) или трис(трибромфенил)цианурат (для производства АБС и УПС); гексабромциклододекан (ГБЦД) (для производства УПС); тетрабромбисфенол-А (для производства АБС); бромсодержащие полимеры	Безгалогеновые антипирены на основе фосфора: бисфенола-А бис(дифенилфосфат) резорцина бис(дифенилфосфат) (для производства поликарбоната, смеси поликарбоната и АБС, а также смеси полифенилового эфира и УПС)
<b>Мелкие детали ЭЭО (п-окта-БДЭ)</b>	Дека-БДЭ и ДБДФЭ (для производства ПБТ, ПЭТ и полиамида); бромсодержащие полимеры	Микроинкапсулированный красный фосфор, магния гидроксид, меламин, фосфинаты металлов (для производства полиамида), а также фосфинаты металлов (для производства ПБТ и ПЭТ)
<b>Печатные платы (п-пента-БДЭ)</b>	Тетрабромбисфенол А в реактивной форме (для производства эпоксидных смол); тетрабромбисфенол А в	Безгалогеновые антипирены на основе фосфора: дигидрооксифосфафенантрен/ алюминия гидроксид (для производства

	аддитивной форме (для производства фенольных смол)	эпоксидных смол); фосфинаты металлов/ дигидроокса-фосфафенантрен/ кремния диоксид (для производства эпоксидных смол); полимерные фосфонаты (для производства эпоксидных смол); огнестойкие терморезистивные пластмассы огнестойкие термопластические пластмассы (в процессе разработки)
<b>Текстильные покрытия (п-пента-БДЭ)</b>	Дека-БДЭ (для производства различных волокон); ГБЦД (для производства различных волокон); галогенизированные антипирены, представляющие собой органические фосфорные соединения	Синтетические волокна, обладающие собственной огнестойкостью в сочетании с комбинированными антипиренами (для производства полипропилена и полиэтилена); огнестойкие синтетические волокна (для производства полиамида); стекловолокно; долговременное включение фосфонитовых соединений (для производства целлюлозы); вспучивающиеся огнезащитные системы (для производства различных волокон)
<b>Пенополиуретан (п-пента-БДЭ)</b>	Бромированные антипирены серии Firemaster 550 и 600; галогенизированные антипирены, представляющие собой органические фосфорные соединения	Различные барьерные технологии; замена пенополиуретана в отдельных случаях

АБС – акрилонитрилбутадиен-стирол; ПБТ – полибутилентерефталат; ПЭТ – полиэтилентерефталат; УПС – ударопрочный полистирол

(источник: UBA, 2008)



(Hull, 2010)

**Рисунок 3-2.** Схематическое изображение порядка принятия решения по применению тех или иных антипиренов

Fire retardants – Антипирены; Gas phase – Газовая фаза; Condensed phase – Конденсированная фаза; Flame inhibitors e.g. halogens, phosphorus – Ингибиторы горения, например, галогены, фосфор; Diluents e.g. metal hydroxides, metal carbonates – Разбавители, например, гидроксиды металлов, карбонаты металлов; Heat dissipation and absorption – Рассеивание и поглощение тепла; Drip promoters (depolymerisation agents) – Катализаторы капельной конденсации (агенты деполимеризации); Barrier formation – Формирование барьера; Char – Уголь; Inorganic residues – Неорганический остаток; Intumescent – Вспучивающиеся вещества; Char promoters – Угольные катализаторы; Carbon nanotubes? – Угольные нанотрубки?; Metal hydroxides + carbonates – Гидроксиды металлов + карбонаты; Nanoparticles – Наночастицы; Acid + Blowing agent + Carboniser – Кислота + Пенообразующее вещество + Карбюратор; Ionomer → calcium silicate (Casico) – Ионосодержащий полимер → кальция силикат («Касико»).

### 3.5 Мониторинг содержания ПБДЭ, относящихся к СОЗ, и брома в полимерах

В соответствии с указаниями, принятыми на 5-ом совещании Конференции Сторон, сепарация изделий, содержащих ПБДЭ, относящиеся к СОЗ, требует скрининга и выявления ПБДЭ, относящихся к СОЗ, или бромсодержащих соединений. Быстрое и достоверное выявление таких ПБДЭ в изделиях представляет собой основную сложность, являясь при том необходимым условием при сепарации продукции, содержащей данные загрязнители, в процессе переработки. Методики скрининга и выявления вкратце описаны в приложении 5, а также в «Руководстве по скринингу и анализу содержания стойких органических загрязнителей в продуктах и изделиях». Применимость этих методов и потенциал использования также рассматриваются в разделах, описывающих наилучшие доступные технологии и наилучшие виды природоохранной деятельности для обработки и переработки продукции (см. разделы 4-6). Кроме того, в следующих разделах наилучшие доступные технологии и наилучшие виды природоохранной деятельности для скрининга (и сепарации) ПБДЭ, относящихся к СОЗ, оцениваются с точки зрения их практической применимости, в том числе в развивающихся странах.

#### **4 Специализированные наилучшие доступные технологии и наилучшие виды природоохранной деятельности: пластиковые отходы ЭЭО, содержащие ПБДЭ, относящиеся к СОЗ, или бромированные антипирены**

Поскольку п-окта-БДЭ преимущественно применялся в производстве пластиковых корпусов ЭЭО (см. разделы 2.3.2 и 2.5), данный вид продукции содержит наибольшие запасы п-окта-БДЭ и представляет собой наиболее крупный поток переработки данного соединения. Таким образом, регулирование этого вида отходов представляет особую ценность с точки зрения внедрения наилучших доступных технологий и наилучших видов природоохранной деятельности.

##### **4.1 Повторное использование ЭЭО**

Согласно иерархии технологий обращения с отходами, ремонт и повторное использование ЭЭО является предпочтительным вариантом обращения с продукцией, срок эксплуатации которой исчерпан (см. рис. 3-1). Многократное использование и восстановительный ремонт ЭЭО продлевает период эксплуатации изделий, позволяя тем самым сэкономить энергию на производство нового оборудования и снизить воздействие на окружающую среду, обусловленное добычей сырья. В связи с тем, что применение п-окта-БДЭ в большинстве сфер было постепенно прекращено до 2000 г., ожидается, что лишь небольшое количество электронного и электротехнического оборудования все еще содержит полибромдифениловые эфиры, относящиеся к загрязнителям. Соответственно, доля ПБДЭ, относящихся к СОЗ, в секторе ЭЭО, используемого повторно, скорее всего, незначительна. Исключения составляют ЭЛТ-мониторы и телевизоры, объем которых на рынке подержанной продукции все еще велик, особенно в развивающихся странах. Особое внимание также следует уделить ЭЭО на рынке США, поскольку в этой стране п-окта-БДЭ производился до 2004 г. (UNEP, 2010b).

##### **4.2 Факторы, подлежащие учету при переработке пластмасс, содержащих относящиеся к СОЗ ПБДЭ**

Переработка пластика целесообразна с точки зрения охраны окружающей среды и расходования экономических ресурсов, поскольку практически весь объем пластика производится из продуктов нефтехимической переработки ископаемых углеводородов.<sup>17</sup> При производстве пластика также расходуется аналогичное количество ископаемых углеводородов в качестве сырья (Norwell et al., 2009). Несмотря на насыщенность пластика природным топливом и низкую эффективность большинства технологических процессов извлечения термальной энергии,<sup>18</sup> в некоторых странах большая часть пластиковых отходов сжигается (Norwell et al., 2009). При этом если бы 50% пластиковых отходов ЭЭО, циркулирующего на европейском рынке, подвергались переработке, выбросы углекислого газа можно было бы уменьшить приблизительно на 2 миллиона тонн, а в отношении энергии, требуемой для переработки нефтепродуктов в пластик, - сэкономить более 10 миллионов киловатт-часов (Slijkhuis, 2011). При таком объеме рециклинга объекты по переработке отходов ЭЭО станут более рентабельными, поскольку наиболее крупный вид отходов, являющийся единственным

---

<sup>17</sup> В работе (Norwell et al., 2009) высказывается предположение, что около 4% от объема ежегодно добываемого углеводородного сырья сразу перерабатывается в исходные нефтепродукты для производства полимеров.

<sup>18</sup> Для современного мусоросжигательного предприятия – 17-30% без комбинированной генерации тепловой и электрической энергии (European Commission, 2006).



объектом их деятельности, превратится в источник ресурсов. Внедрение рециклинга в таком объеме принесет значительную пользу окружающей среде и обществу в целом, при условии принятия необходимых мер по предотвращению вредного воздействия на рабочих и обеспечению надлежащего использования полученных в результате пластмасс для защиты потребителей. Кроме того, появятся дополнительные рабочие места, поскольку переработка пластика является более трудоемким процессом, чем производство первичных полимеров (Slijkhuis, 2011).

С точки зрения экономической эффективности комбинирование методов сепарации может стать началом экономически целесообразного процесса в случае пластиковых отходов ЭЭО (см. рис. 4-3; раздел 4.4). В Японии утвержден японский промышленный стандарт JIS, разработанный с целью оптимизации переработки пластмасс, содержащихся в электротехнических бытовых приборах, и регламентирующий требования к «маркировке пластиковых деталей электронного и электротехнического оборудования для их идентификации» (JIS-C9912<sup>19</sup>) (Aizawa et al., 2010). Этот стандарт требует снабжать пластиковые детали соответствующей маркировкой, например, маркируя наличие антипиренов, переработанного пластика и порядок демонтажа (разборки). Таким образом, информационный поток связан с материальным потоком. В частности, в системе маркировки учтены пластмассы, уже прошедшие переработке «замкнутого цикла» (переработка пластиковых деталей бытовых электроприборов в пластик для бытовых электроприборов). Также установлены плановые темпы переработки для различных категорий электронных и электротехнических устройств (Aizawa et al., 2010).

Регулирование пластмасс, содержащих ПБДЭ, относящиеся к СОЗ, следует рассматривать и оценивать в более широком формате, применительно к общим наилучшим доступным технологиям и наилучшим видам природоохранной деятельности для обработки и регулирования ЭЭО и отходов ЭЭО. Описание наилучших доступных технологий и наилучших видов природоохранной деятельности для переработки отходов ЭЭО выходит за рамки настоящего документа. В настоящее время, впрочем, наилучшие доступные технологии и наилучшие виды природоохранной деятельности для регулирования (отдельных) отходов ЭЭО утверждены в рамках реализации Базельской конвенции и на национальном уровне (например, в Германии действуют требования, изложенные в руководстве VDI 2343, 2007). Первые международные руководящие принципы, регулирующие данную область, разработаны для оборудования для информационных и телекоммуникационных технологий в соответствии с положениями Партнерства по принятию мер в отношении компьютерного оборудования (PACe) (Basel Convention and UNEP, 2011).

По вопросам регулирования ЭЭО и отходов ЭЭО целесообразно обратиться к следующим руководствам:

- *Передача экологически обоснованных инновационных технологий и технологических процессов – исследования промышленного сектора: переработка электронных отходов во вторичные сырьевые ресурсы* (UNEP and StEP, 2009).
- *Технический отчет о последствиях рециклинга промышленного пентабромдифенилового эфира и промышленного октабромдифенилового эфира, с приложениями* (UNEP 2010a, b).
- *Руководящие указания по экологически обоснованному извлечению ресурсов/ рециклингу компьютерного оборудования, снятого с эксплуатации* (Basel Convention and UNEP, 2011).

В указаниях, принятых на 5-ом совещании Конференции Сторон, переработка продукции, содержащей относящиеся к СОЗ ПБДЭ, настоятельно не рекомендуется, по причинам, подробно изложенным в отчетах KP-CO3 (UNEP 2010a, b); в отчетах по другим исследованиям также не рекомендуется рециклинг таких материалов (Wäger et al., 2010). Помимо этого, на страны

---

<sup>19</sup> JIS-C9912 (Japan Standard Association 2007)



Европы распространяется Директива Европейского Парламента и Совета об ограничении использования определенных опасных веществ при производстве электротехнического и электронного оборудования (Директива RoHS), которая определяет постэксплуатационный статус переработанных пластмасс, а также ограничивает содержание п-дека-БДЭ в ЭЭО.<sup>20</sup> Аналогичные нормативные требования были приняты в других странах.

Конкретные исключения, перечисленные в Конвенции, допускают переработку изделий, содержащих относящиеся к СОЗ ПБДЭ, в том случае, если та или иная страна зарегистрировала для себя возможность данного исключения. При переработке полимеров, содержащих ПБДЭ, относящиеся к СОЗ, целесообразно принять во внимание следующие наилучшие доступные технологии и наилучшие виды природоохранной деятельности:

- Маркировку пластиковой фракции отходов ЭЭО, в которой содержатся относящиеся к СОЗ ПБДЭ, в целях дальнейшей обработки и маркировки изделий, произведенных из такого переработанного пластика;
- Минимизацию вредного воздействия на персонал, занятый в обработке такой продукции (см. приложение 2; European Commission 2011a)
- Тип изделий, произведенных из пластиковых отходов ЭЭО.

#### 4.2.1 Маркировка пластиковой фракции и изделий, содержащих относящиеся к СОЗ ПБДЭ

Принципы применения наилучших видов природоохранной деятельности допускают маркировку отходов ЭЭО или нанесение на них каких-либо иных помет, чтобы информация о происхождении переработанных полимеров всегда была доступна при их импорте/ экспорте или при использовании в промышленности для изготовления новых изделий. С учетом возможности дальнейшей переработки такие отходы должны быть особым образом классифицированы или помечены, для гарантии того, что полимеры, содержащие относящиеся к СОЗ ПБДЭ, и другие пластиковые фракции переработанных отходов ЭЭО<sup>21</sup> не подвергаются переработке в изделия, предназначенные для особо уязвимых категорий потребителей, в том числе, в следующие изделия:

- Игрушки и другие пластиковые изделия, которые могут подвергнуть риску вредному воздействию детей, в том числе новорожденных;
- Упаковку для пищевых продуктов, контейнеры для пищевых продуктов;
- Силосные сооружения, сооружения для хранения пищевых продуктов и животных кормов, трубопроводы для подачи корма;
- Кухонное оборудование;
- Внутреннюю отделку холодильников и морозильных камер;<sup>22</sup>
- Резервуары для воды и водопроводные трубы, в особенности водонапорные баки для питьевого водопровода;
- Пластиковые детали, с которыми человек имеет непосредственный контакт, например, мебель, рукоятки инструментов и дверные ручки.

---

<sup>20</sup> Материалы, содержащие п-дека-БДЭ, по-прежнему могут быть переработаны в другие изделия, помимо ЭЭО.

<sup>21</sup> Данные полимеры могут содержать другие опасные вещества, такие как тяжелые металлы (в том числе сурьму, кадмий), другие бромированные антипирены, фосфорные антипирены или пластификаторы.

<sup>22</sup> Поощряется переработка полимерных отходов ЭЭО, не содержащих опасные вещества, по принципу т.н. регенеративного дизайна, обеспечивающего безотходное производство: т.е. полимерные детали холодильников/ морозильных камер перерабатываются в полимеры для холодильников/ морозильных камер.

Пластиковые фракции, содержащие относящиеся к СОЗ ПБДЭ, могут быть переработаны в более низкосортные материалы, не имеющие такого стратегического назначения, например, в древесно-полимерный композит или грузовые поддоны, хотя в указаниях, принятых на 5-ом совещании Конференции Сторон, применять такой способ обработки загрязненных полимеров не рекомендуется. Продукция, полученная в результате переработки изделий, содержащих относящиеся к СОЗ ПБДЭ, подлежит маркировке (см. «Аспекты маркировки стойких органических загрязнителей»), которая обеспечит надлежащее обращение с такими изделиями по окончании срока их эксплуатации в соответствии с требованиями Стокгольмской конвенции (см. текст Стокгольмской конвенции, приложение А, часть IV и V). В таких случаях необходимо будет обеспечить соблюдение принципов экологической безопасности при проведении работ по переработке и окончательному удалению данных материалов (см. разделы 7 и 8).

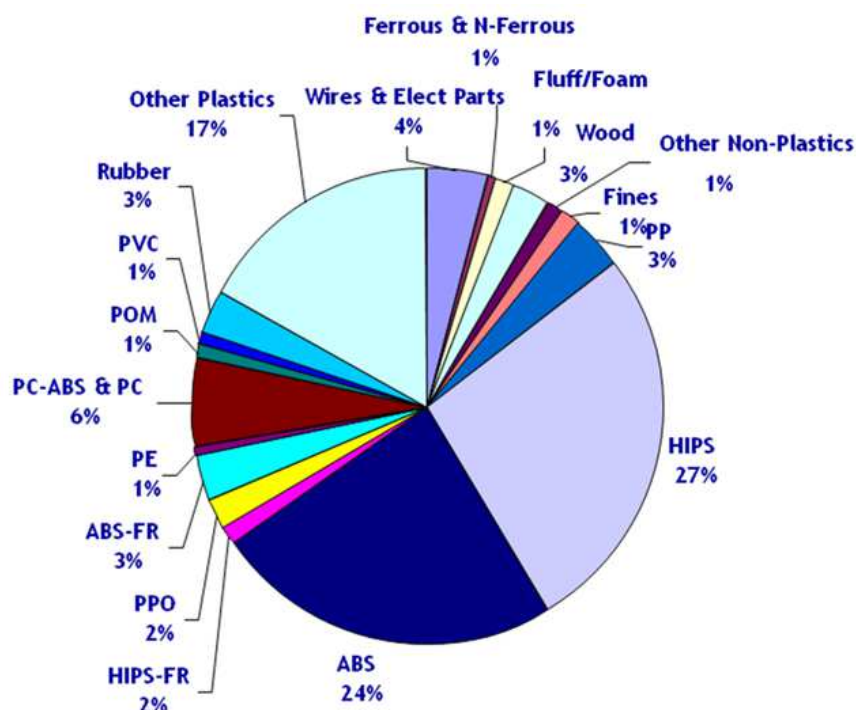
#### 4.2.2 Технологии обработки пластика, позволяющие свести к минимуму вредное воздействие

Технологии обработки применяются для придания полимерам и переработанным пластмассам требуемой формы готового продукта. Сама по себе стадия обработки представляет собой, главным образом, этап изменения физического облика изделия посредством различных технологических процессов, зачастую в условиях повышенных температур. Факторами риска для состояния окружающей среды и здоровья человека, связанными с формованием пластика литьем или экструдированием переработанного пластика, являются выбросы летучих и труднолетучих органических соединений, в том числе ПБДЭ, относящихся к СОЗ. Предварительные соображения по внедрению наилучших доступных технологий и наилучших видов природоохранной деятельности для указанных технологических процессов приведены в приложении 2, а также затронуты в «Справочном документе Европейской комиссии по наилучшим доступным технологиям» (European Commission, 2011a).

Сточные воды, отводимые некоторыми предприятиями, в потенциале могут содержать большое количество органических соединений, использованных растворителей и не подлежащих переработке отходов, которые могут содержать относящиеся к СОЗ ПБДЭ. Общие принципы наилучших доступных технологий и наилучших видов природоохранной деятельности для таких выбросов описаны в приложении 1. Специфические соображения по применению наилучших доступных технологий и наилучших видов природоохранной деятельности для извлечения энергии или ресурсов из изделий, содержащих относящиеся к СОЗ ПБДЭ, описаны в разделе 7, а для окончательного удаления отходов, содержащих данные загрязнители, - в разделе 8 и приложении 3.

#### 4.2.3 Типы и состав пластмасс, содержащих ПБДЭ, относящиеся к СОЗ

Переработка отходов ЭЭО и сопутствующие технологические процессы, как правило, не оптимизированы для сепарации пластмасс, содержащих ПБДЭ (UNEP 2010a, b). В случае большинства предприятий шредирование отходов ЭЭО приводит к получению смешанной пластиковой фракции, так как на предприятиях рециклинга перерабатываются различные категории отходов (телевизоры/ мониторы компьютеров, персональные компьютеры, предметы домашнего обихода (холодильники, плиты и т.д.), мелкие электронные изделия, лампы и т.д.). Типичный состав получившейся фракции с высоким содержанием полимеров из отходов ЭЭО представлен на рис. 4-1 и 4-2.



(Slijkhuis/MBA polymers, 2011)

**Рисунок 4-1.** Состав смеси с большим содержанием полимеров после извлечения металлов из шредированных отходов ЭЭО

HIPS-FR – ударопрочный полистирол, смешанный с антипиреном; PPO – полифениленоксид; ABS-FR – смесь акрилонитрилбутадиен-стирола с антипиреном; PE – полиэтилен; PC-ABS & PC – смесь АБС-пластика и поликарбоната и поликарбонат; POM – полиоксиметилен; PVC – поливинилхлорид; Rubber – каучук; Other plastics – прочие пластики; Wires & Elect parts – провода и электронные детали; Ferrous & Non-Ferrous – черные и цветные металлы; Fluff/ Foam - пеноматериалы; Wood – лесоматериалы; Other Non-Plastics – прочие вещества, не относящиеся к пластикам; Fines – мелкая фракция; HIPS – ударопрочный полистирол; ABS – АБС-пластик.

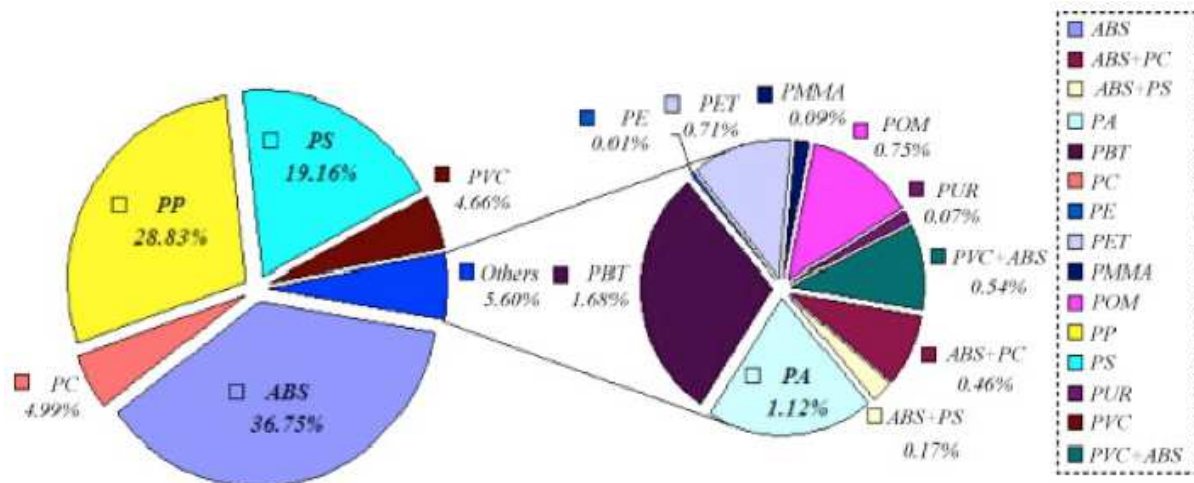
Значительная доля пластиковых отходов ЭЭО реализуется на экспорт в качестве смешанных полимеров, в основном, в Китай или Индию (UNEP, 2010b). Во многих странах мира, впрочем, полимерные фракции и, в особенности, шредерный остаток отправляются на полигоны для захоронения или свалки (см. разделы 6 и 8) или сжигаются (см. раздел 7), зачастую без применения наилучших доступных технологий и наилучших видов природоохранной деятельности.

Четыре основные причины для ограничения рециклинга смешанной пластиковой фракции отходов ЭЭО состоят в следующем (UNEP 2010b):

- Отрасль промышленности, в которой используются вторичные пластиковые материалы, предъявляет строгие технические требования к качеству пластика, к его химическому составу (соблюдая требования Директивы RoHS), а также в отношении свойств материалов.
- Пластиковая фракция отходов ЭЭО зачастую содержит не менее 15 различных типов пластика, и некоторое вторичное загрязнение на практике неминуемо (см. рис. 4-2; Dimitrakakis et al., 2009). Хотя от 70% до 85% от общей массы приходится на долю всего трех полимеров (АБС, полистирола, полипропилена<sup>23</sup>), эффективная сортировка смесей представляет значительные технические трудности.

<sup>23</sup> Как правило, ПБДЭ, относящиеся к СОЗ, и гексабромдифенил отсутствуют или присутствуют в незначительном количестве.

- Пластиковые отходы ЭЭО могут содержать ПБДЭ, отнесенные к СОЗ Стокгольмской конвенцией, а также п-дека-БДЭ, отнесенный к категории опасных веществ Директивой RoHS<sup>24</sup>. Потенциальные потребители, таким образом, могут подвергнуться риску вредного воздействия в результате использования загрязненных изделий, изготовленных из переработанных пластиковых отходов ЭЭО.
- Многие крупные производители нуждаются в увеличении объема продукции с одинаковыми свойствами и эксплуатационными качествами – добиться этого при использовании неоднородного пластика из переработанных отходов ЭЭО затруднительно.



(Dimitrakakis et al., 2009)

**Рисунок 4-2.** Типы полимеров, выявленные в небольших образцах полимерных отходов ЭЭО (массовая доля, %).

PC – поликарбонат; PP – полипропилен; PS – полистирол; PVC – поливинилхлорид; Others – прочие; ABS – АБС-пластик; PBT – полибутилентерефталат; PE – полиэтилен; PET – полиэтилентерефталат; PMMA – полиметилметакрилат; POM – полиоксиметилен; PUR – пенополиуретан; PVC+ABS – смесь поливинилхлорида и АБС; ABS+PC – смесь поликарбоната и АБС; ABS+PS – смесь полистирола и АБС; PA – полиамид.

Некоторые виды пластика, используемые в производстве электронного и электротехнического оборудования, представляют собой высококачественные термополимеры, которые могут подвергаться неоднократному пластифицированию путем нагревания и отверждению при остывании. В случае извлечения таких термопластиков из отходов в состоянии, пригодном для эксплуатации, данные материалы могут быть выгодно реализованы.

Телевизоры и компьютерные мониторы являются двумя из самых крупных источников пластика: содержание пластика в продуктах этих двух групп варьирует от 10% до 40% от общего веса. Основная пластмассовая часть монитора – задняя панель корпуса; эта деталь снимается с устройств для переработки и для получения доступа к электронно-лучевой трубке. Снятие пластиковой панели на предприятиях по переработке обычно осуществляется вручную; получающаяся в результате полимерная фракция состоит исключительно из пластика, преимущественно АБС или УПС, который может быть переработан. Для повышения стоимости перепродажи полимеры затем необходимо отсортировать по типу полимера (например, УПС, АБС-термопластик) и цвету.

После очистки пластика от примесей и сортировки по отдельным типам полимер необходимо будет спрессовать для хранения и транспортировки (приложение 1) или дальнейшей обработки

<sup>24</sup> При этом, как правило, такие отходы не содержат гексабромдифенил, который также включен в список загрязнителей Стокгольмской конвенцией и Директивой RoHS.

(приложение 2). Прессование и уплотнение может быть выполнено вручную, такими инструментами как ножницы, механические ножницы и т.п. или же (что предпочтительней) посредством брикетирования, измельчения и сортировки по размеру. Некоторые возможные механизированные операции сочетают нагревание, быстрое охлаждение и дробление. Получившиеся мелкие частички затем, как правило, нагревают и экструдуют (продавливают) через формующие полости для получения волокон и гранул, которые в конечном итоге реализуются в качестве сырья. Реализационная цена данной полимерной фракции обычно не позволяет провести обработку полимеров в полном объеме, заставляя ограничиться несколькими этапами, особенно при необходимости покрыть расходы на сжигание остаточного пластика, содержащего относящиеся к СОЗ ПБДЭ. Соответственно, затраты на окончательное удаление остаточных загрязненных полимеров должны компенсироваться доходом от переработки отходов ЭО (например, благородных металлов) или при помощи законодательного введения расширенной ответственности производителя (например, при помощи нормативно-правовых актов, регулирующих обработку отходов ЭО в Европе или Китае).

Первоначальный сбор и обработка целых (т.е. без повреждений) пластиковых деталей и корпусов, скорее всего, не подвергнет персонал, занятый в переработке, серьезному вредному воздействию опасных веществ, однако все последующие операции по переработке влекут за собой увеличение риска вредного воздействия. Возможное высвобождение мелких частиц пластика, примесей и бромированных антипиренов может нанести вред здоровью рабочих (UNEP 2010a, b). При измельчении и дроблении также может выделяться тепловая энергия, что при отсутствии должного контроля может привести к пожару и задымлению. После дробления пластик подвергается прессованию при повышенной температуре и давлении, что влечет за собой риск воздействия вредных веществ, содержащихся в пластике, а также новых, образовавшихся веществ, таких как галогенизированные диоксины и фураны (Ota et al., 2009).

### 4.3 Технологии сепарации полимеров, содержащих относящиеся к СОЗ ПБДЭ

Технологии сепарации разработаны для извлечения не содержащего загрязняющие ПБДЭ пластика из полимерных отходов ЭО с целью получения ценных и пригодных для сбыта продуктов, доход от продажи которых составляет значительную часть от общего дохода от переработки. Таким образом, развитие, применение и комбинирование этих технологий в основном регулируется экономикой всей технологической цепи. Это означает, что сепарация ПБДЭ, относящихся к СОЗ, представляет собой лишь часть общей стратегии по получению дорогостоящих продуктов, отличающихся умеренно высокой доходностью и качеством, приемлемым для производителей новой продукции (см. рис. 4-3).

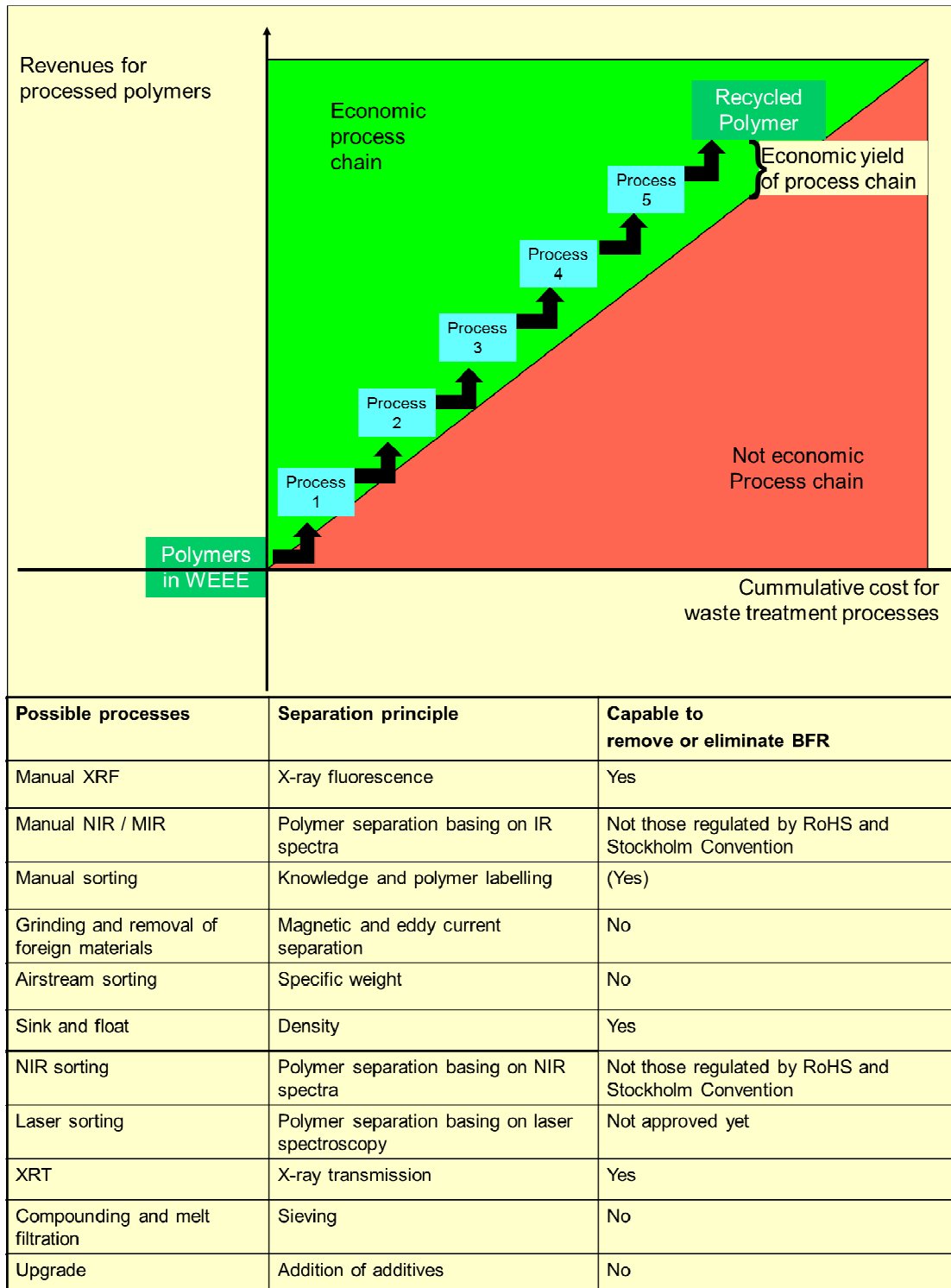
Пластиковые отходы ЭО могут быть трансформированы в имеющий денежную стоимость и подлежащий переработке пластик при помощи последовательности оптимизированных технологических процессов, которые в некоторых случаях могут выполняться несколькими компаниями. Такая технология является экономически целесообразной только в том случае, если совокупная стоимость обработки ниже уровня дохода от реализации переработанных продуктов (см. рис. 4-3). Таким образом, сепарация пластика, содержащего относящиеся к СОЗ ПБДЭ, должна эффективно учитывать основные движущие факторы предприятия по переработке: технологии, используемые для измельчения отходов ЭО и сепарации полимеров для отдельной переработки полимеров и металлов.

Следующие методики могут быть использованы на предприятии по переработке пластиковых отходов ЭО в качестве наилучших доступных технологий и наилучших видов природоохранной деятельности:

- Способы ручной разборки или методы измельчения.

- Методы сортировки для отделения доли отходов, возможно загрязненных ПБДЭ, и доли измельченного пластика (см. рис. 4-3).
- Сочетание нескольких методик для оптимизации процесса сепарации (см. раздел 4.3.3 и таблицу 4-1).
- Введение в эксплуатацию полномасштабных установок для сепарации отходов ЭЭО и пластика, содержащего относящиеся к СОЗ ПБДЭ (см. раздел 4.3.5)





**Рисунок 4-3.** Поэтапная сепарация полимеров из отходов электронного и электротехнического оборудования и их трансформация в пластик, имеющий рыночную стоимость и подлежащий рециклингу.<sup>25</sup>

(Порядковые номера этапов процесса обработки/ сепарации приведены в качестве образца и могут меняться в зависимости от комбинации используемых технологических процессов (примеры см. ниже в

<sup>25</sup> Строгого правила для выбора того или иного процесса не существует; тем не менее, для целей настоящего руководства следует применить по меньшей мере один принцип окончательного удаления ПБДЭ, относящихся к СОЗ. Кроме того, данные процессы могут выполняться несколькими компаниями.

разделе 4.3.3 и таблице 4-1). Приведенный выше список включает в себя возможные технологии и методы сепарации.)

Revenues for processed polymers – доход от обработанных полимеров; Economic process chain – последовательность экономических процессов; Recycled polymer – полимер, прошедший переработку; Economic yield of process chain – экономическая эффективность последовательности процессов; Process – процесс; Not economic process chain – последовательность неэкономических процессов; Polymers in WEEE – полимерные отходы ЭЭО; Cumulative cost for waste treatment processes – совокупные затраты на процесс обработки; Possible process – возможный технологический процесс; Manual XRF – рентгенофлуоресцентный анализ при помощи портативного оборудования; Manual NIR/MIR – спектроскопия ближнего/ среднего ИК-диапазона при помощи портативных спектрометров; Manual sorting – сортировка вручную; Grinding and removal of foreign materials – дробление и отделение инородных включений; Airstream sorting – сепарирование воздушным потоком (аэросепарация); Sink and float – разделение в жидких средах; NIR sorting – сепарация при помощи спектроскопии ближнего ИК диапазона; Laser sorting – сепарация посредством лазерной спектроскопии комбинационного рассеяния (рамановской спектроскопии); XRT – просвечивание рентгеновскими лучами; Compounding and melt filtration – приготовление смеси и фильтрация расплава полимера; Upgrade – улучшение характеристик; Separation principle – метод сепарации; X-ray fluorescence – рентгеновская флуоресценция; Polymer separation basing on IR spectra – сепарация полимеров на основе различия ИК спектров; Knowledge and polymer labeling – наличие данных о полимерах и маркировка полимеров; Magnetic and eddy current separation – сепарация на основе магнитных полей и вихревых токов; Specific weight – сепарация по удельному весу; Density – сепарация по плотности; Polymer separation basing on NIR spectra – сепарация полимеров на основе различия ближних ИК спектров; X-ray transmission – просвечивание рентгеновскими лучами; Sieving – сепарация через фильтр; Addition of additives – введение различных добавок; Capable to remove or eliminate BFR – возможность отделения или удаления бромированных антипиренов; Yes – да; Not those regulated by RoHS and Stockholm Convention – нет в отношении антипиренов, подпадающих под действие Директивы RoHS и Стокгольмской конвенции; No – нет; Not approved yet – пока не одобрен.

#### 4.3.1 Способы ручного демонтажа

Компании по переработке, принимающие на обработку корпуса ЭЛТ-мониторов, зачастую обрабатывают этот тип пластика отдельно, основываясь на имеющемся опыте определения отдельных типов полимеров и типов антипиренов, что создает возможности для «очистки» этих видов отходов. Эффективность и производительность технологий сепарации, применяемых после процесса ручной сортировки, могут зависеть от цвета пластика; соответственно, представляется важным сортировать пластик по цвету, учитывая, в частности, трудности с разделением черных/ темных полимеров.

#### *Подход к применению наилучших видов природоохранной деятельности, принятый в Швеции*

В работе (Retegan et al., 2010) описывается главенствующая методика, принятая в настоящее время в шведской перерабатывающей промышленности для сепарации пластиковых частей телевизоров и компьютерных мониторов, содержащих ПБДЭ, относящиеся к СОЗ. Данный метод применяется только в отношении телевизоров и мониторов; тем не менее, остается неясным, какое количество немаркированного пластика в действительности содержит загрязняющие ПБДЭ. Указанные детали вручную удаляются из общего потока отходов. Для эффективной сортировки полимеров и удаления данных компонентов требуется подготовка и опыт ручной сортировки пластиковых отходов ЭЭО и деталей, содержащих ПБДЭ, относящиеся к СОЗ. Тем не менее, даже квалифицированные работники, имеющие опыт такой ручной сортировки, не могут определить, какие виды загрязняющих ПБДЭ добавлены в полимеры. В связи с этим в отчете предлагается сопровождать ручную сортировку полимеров выборочными контрольными измерениями при помощи рентгенофлуоресцентного анализа. Несмотря на то, что в отчете не приводится данных об эффективности такого подхода, авторы заявляют, что в случае бывших в употреблении телевизоров и компьютерных мониторов точность этих методов сортировка достаточна для соблюдения требований директив/ законодательства ЕС.

Соблюдение законодательства не является неожиданностью, поскольку к настоящему времени остаточное количество продуктов, все еще содержащих относящиеся к СОЗ ПБДЭ, в Европе снизилось до крайне низкого уровня (Wäger et al., 2010).

### *Пригодность ручной сепарации для других регионов*

Для других стран или регионов, в которых содержание загрязняющих ПБДЭ в различных видах пластиковых отходов ЭЭО, скорее всего, будет различаться, требуется оценить эффективность ручной сепарации отходов, прежде чем давать рекомендации относительно внедрения наилучших видов природоохранной деятельности.

В некоторых регионах, в частности, там, где применение и производство ПБДЭ, относящихся к СОЗ, было прекращено в 1990-ых гг. (например, Японии или Европе), возможно увеличение объема сепарации оборудования, потенциально загрязненного ПБДЭ. В этих странах могут быть выделены, в основном, старые электронные приборы, произведенные в 1990-ых гг. или ранее.

В странах, где использование п-окта-БДЭ (а также п-пента-БДЭ) продолжалось до 2004 г., и в особенности в США, где объемы производства такой продукции были крайне высоки, даже сравнительно новое оборудование может содержать относящиеся к СОЗ ПБДЭ, вследствие чего ручная сепарация оборудования, загрязненного ПБДЭ, представляется менее эффективной.

### *Ручная сепарация пластика, содержащего относящиеся к СОЗ ПБДЭ, в развивающихся странах*

Ручная сепарация изделий, содержащих данные загрязнители, без инструментальной поддержки, может рассматриваться в качестве приемлемого, до некоторой степени, варианта в том случае, если поток отходов преимущественно относится к периоду, когда п-окта-БДЭ в данном регионе уже не применялся, и требуется только отсортировать небольшое количество предметов более старого оборудования. Развивающиеся страны часто располагают большими запасами отходов электронного и электротехнического оборудования, произведенного в 1990-ых гг. и начале 2000-ых гг., значительную долю которого составляют корпуса телевизоров и компьютерных мониторов, содержащие загрязняющие ПБДЭ (Sindik et al., 2011). Таким образом, проведение предварительной сортировки исключительно вручную, без скринингового теста на содержание брома, в настоящее время представляется непригодным в качестве способа удаления ПБДЭ, относящихся к СОЗ, в развивающихся странах (или, по меньшей мере, в странах Африки). Проведение исследований, впрочем, не практикуется.

Ручная сепарация также представляет трудности в связи с многокомпонентностью и сложностью различных электронных приборов (различных типов, различных производителей, различных модификаций и серий приборов одного типа, произведенных одним производителем), а также отсутствием сведений о том, какие производители применяли какой-либо тип ПБДЭ, относящихся к СОЗ. Несмотря на очевидную привлекательность данного метода, обусловленную его простотой, прежде чем отнести этот способ к наилучшим доступным технологиям и наилучшим видам природоохранной деятельности, необходимо провести более подробный анализ корреляции между результатами визуальной оценки и данными скрининга методом рентгенофлуоресцентного анализа.

#### **4.3.2 Отдельные методы скрининга для сепарации основной массы отходов и измельченного пластика, возможно содержащих ПБДЭ, относящиеся к СОЗ**

Методы скрининга для выявления пластика, содержащего относящиеся к загрязнителям ПБДЭ или бромированные антипирены, должны быть просты в применении, надежны и экономически выгодны для развивающихся стран. Имеющиеся методы рентгенофлуоресцентного анализа и масс-спектрометрии скользящего разряда сравнительно просты и позволяют получить достоверные результаты (WRAP, 2006a), следовательно,

представляются оптимальными для использования в развивающихся странах на предприятиях по переработке отходов ЭЭО и подобных объектах (UNEP, 2010a, b). Оба метода отличаются трудоемкостью, что является недостатком в случае развитых стран, в связи с сопутствующими расходами на оплату труда, однако для развивающихся стран или стран с переходной экономикой, уровень заработной платы в которых ниже, такая особенность не должна стать препятствием.

Стоимость оборудования для масс-спектрометрии скользящего разряда для выявления галогенов (Seidel et al., 1993; IoSys, 2010; Seidel, 2012) составляет около 6000 долларов США. Немецкий производитель оборудования для масс-спектрометрии скользящего разряда подтверждает, что такое оборудование поставлялось в Китай и ЮАР (Seidel, 2010), что свидетельствует о том, что данный метод анализа уже применяется в развивающихся странах/странах с переходной экономикой.<sup>26</sup> Портативные спектрометры для масс-спектрометрии скользящего разряда могут быть снабжены дополнительными датчиками (ближнего ИК диапазона) для определения типа полимера (в этом случае цена составляет приблизительно 33000 долларов США) и могут применяться для выделения беспримесной фракции полимеров, имеющей более высокую рыночную стоимость. Применение портативного оборудования для определения типа полимера с целью очистки пластиковой фракции от примесей может стать привлекательным вариантом получения высококачественных полимеров в развивающихся странах и странах с переходной экономикой; в сочетании с другими методами такое оборудование также может использоваться для сепарации пластика, содержащего ПБДЭ, относящиеся к СОЗ, или бромированные антипирены.

Целесообразность применения данных методов подлежит дальнейшей оценке.<sup>27</sup> В качестве альтернативы, соответствующее оборудование может быть применено для подтверждения результатов применения других технологических процессов (например, разделения в жидких средах или ручной сепарации, основанной на опыте) (UNEP 2010a, b).

### *Масс-спектрометрия скользящего разряда*

Нижняя граница предела обнаружения брома для данного метода составляет 0,1%. По практическим соображениям для выявления пластика, содержащего ПБДЭ или бромированные антипирены, специалисты по переработке обычно устанавливают предел обнаружения брома на уровне 1%, так как массовая доля ПБДЭ/ бромированных антипиренов от общего объема загрязненного пластика, как правило составляет от 3% до 20% (Seidel 2010).

Масс-спектрометрия скользящего разряда при помощи портативного оборудования применяется на предприятиях по демонтажу и разборке отходов ЭЭО, а также в других областях для выявления наличия в пластике галогенов. Данная технология позволяет операторам оборудования распознавать компоненты, содержащие бромированные антипирены (галоген-содержащие), и компоненты, почти не содержащие такие антипирены (безгалогеновые). Анализаторы отличаются высокой скоростью сканирования, и детектирование занимает всего несколько секунд. Также для сканирования необходим непосредственный контакт анализатора с поверхностью материала, поэтому требуется особая предварительная обработка изделий, имеющих какое-либо покрытие, путем нанесения царапин на покрытие.

Оборудование, выполняющее двойную функцию (снабженное датчиком для спектрометрии ближнего ИК диапазона), способно также выявлять различные типы полимеров. Применение подобных многофункциональных анализаторов, таким образом, перспективно не только для отделения пластика, содержащего ПБДЭ или бромированные антипирены, от незагрязненного

---

<sup>26</sup> Задачи, для выполнения которых данное оборудование поставлялось в ЮАР и Китай, не указаны в документе.

<sup>27</sup> Международные проекты по переработке отходов ЭЭО в развивающихся странах и странах с переходной экономикой могут определить, используется ли уже подобное оборудование для различения типов полимеров и получен ли какой-либо практический опыт выявления содержания брома.

пластика, но также и для сепарации пластика по разным типам полимеров на этапе разборки электронного и электротехнического оборудования на предприятиях по обработке и переработке электронных отходов. Как уже отмечалось, ИК спектроскопия ближнего диапазона не всегда позволяет с точностью распознавать черный пластик.

### *Метод рентгенофлуоресцентного анализа*

В отходах ЭЭО могут содержаться вторичные полимеры, представляющие собой результат предшествующей переработки полимеров, содержащих ПБДЭ, относящиеся к СОЗ. Такие полимеры могут представлять собой смеси различных бромированных антипиренов, в том числе п-окта-БДЭ, однако содержание брома в них может составлять 100 – 1000 миллионных долей (Bantelmann et al., 2010; Chen et al., 2009, 2010; Sindiku et al., 2011). Только метод рентгенофлуоресцентного анализа обладает достаточно высокой чувствительностью для обнаружения подобных малых концентраций брома.

Технология рентгенофлуоресцентного анализа описана в разделе 2.6. данный метод может применяться для выявления и сепарации пластика, содержащего ПБДЭ, относящиеся к СОЗ; при этом предел обнаружения брома составляет 10-100 миллионных долей. Время, требуемое на проведение измерения при помощи портативного анализатора, составляет меньше минуты. Стоимость оборудования, находящаяся на уровне приблизительно 30000 – 50000 долларов США, может накладывать определенные ограничения на применение данного метода малыми предприятиями. Поскольку для анализа методом рентгеновской флуоресценции необходим непосредственный контакт портативного анализатора с поверхностью материала, данный метод неприменим к автоматизированным системам сортировки, однако может использоваться на этапе разборки оборудования. Требуется особая предварительная обработка изделий, имеющих какое-либо покрытие, путем нанесения царапин на покрытие.

### *Метод просвечивания рентгеновскими лучами*

Просвечивание рентгеновскими лучами описано в приложении 5. Метод разработан для сепарации материалов, имеющих разную оптическую плотность. В отличие рентгеновской флуоресценции и спектрометрии скользящего разряда, которые предполагают использование портативных анализаторов, обычно применяемых на предприятиях, занимающихся разборкой оборудования, данный метод предназначен для автоматической сортировки лома. Скорость сортировки на производственных установках составляет до 1 тонны лома в час. Данная технология используется в Швейцарии для сепарации пластика, содержащего ПБДЭ или бромированные антипирены, от безгалогеновых полимеров. Таким образом, данный метод может иметь некоторое значение при переработке пластиковых отходов ЭЭО, в особенности при применении в сочетании с ИК спектроскопией ближнего диапазона.

Одна компания утверждает, что применяемая ею система способна проводить очистку и сепарацию фракции алюминия, фракции стекла, содержащегося в ЭЛТ (легированного или не легированного свинцом), и энергетической фракции (фракции твердого топлива из отходов) из отходов металлов, стекла и ПВХ, а также способна удалять галоген-содержащие материалы (Schlummer 2011). Сведения об успешной сепарации смешанных отходов ЭЭО, содержащих пластик и металлы (вида отходов, на долю которого приходится наибольшее количество пластиковых отходов ЭЭО), впрочем, ограничены.

Метод просвечивания рентгеновскими лучами не является автономным, поскольку после извлечения брома пластиковые фракции требуют дальнейшей обработки для получения пригодных для продажи переработанных полимеров. Сортировочное оборудование, работа которого основана на просвечивании рентгеновскими лучами, применяется в промышленных масштабах (например, одна из имеющихся систем сортировки стоит приблизительно 400000 евро).

## *Рамановская спектроскопия*

Оборудование для рамановской спектроскопии, применяемое совместно с сепарацией полимеров, содержащих ПБДЭ, разрабатывается в Японии (Tsuchida et al., 2009; Kawazumi et al., 2011). Скорость сортировки, достигаемая при помощи опытного образца оборудования, может составлять 400 кг измельченного пластика в час. Рекомендации относительно применения данной методики не могут быть предоставлены, поскольку оборудование нуждается в дальнейшей проверке практических эксплуатационных показателей.

## *Сепарация полимеров путем разделения в жидких средах*

Разные типы полимеров обладают разным удельным весом, в связи с чем применение жидких сред соответствующей плотности позволит провести сепарацию различных термопластических материалов по плотности. Степень солёности и, как следствие, плотность жидкой среды может быть изменена путем добавления различных солей. В случае использования воды, например, плотность среды можно увеличить на 15% путем введения магния сульфата. Бромированные огнезащитные добавки, при введении в обычном количестве (> 3%), существенно увеличивают плотность АБС-пластика и ударопрочного полистирола. При помещении в соответствующую жидкую среду частицы полистирола, не содержащие бром, будут держаться на поверхности жидкости, а частицы полистирола, содержащие бром, опустятся на дно, что позволит отделить галоген-содержащий пластик от прочих полимеров (Schlummer and Maeurer, 2006).

Некоторое время назад в рамках немецкого совместного проекта был успешно протестирован простой, двухэтапный метод сепарации (SpectroDense; InnoNet, 2009). Вначале полимерная смесь помещается в жидкую среду плотностью около 1100 кг/м<sup>3</sup>. Легкая фракция, удерживаемая на поверхности жидкости, будет в основном состоять из полипропилена, полиэтилена и полистирола, не содержащего бромированные антипирены, а также АБС; при этом на дно среды осадут стиролы, содержащие бромированные антипирены, но также и смесь полифенилоксида с полистиролом, смесь поликарбоната с АБС (обе смеси изготавливаются с добавлением антипиренов на основе фосфора), а также высоконаполненные смеси на основе полипропилена. Легкая фракция затем помещается в воду (плотность – 1000 кг/м<sup>3</sup>) для отделения УПС и АБС от полипропилена и полиэтилена.<sup>28</sup> Ценные полимеры, такие как смесь полифенилоксида с полистиролом и смесь поликарбоната с АБС (обе смеси, как правило, не содержат ПБДЭ, относящихся к СОЗ), могут быть извлечены из тяжелой фракции путем последующей ИК спектроскопии ближнего диапазона, поскольку данные полимеры в большинстве случаев – серого цвета.

В случае отдельных исходных фракций полимеров разделение в жидких средах позволяет эффективно отделить полимеры, содержащие бромированные антипирены, и получить продукты высокого качества с минимальным содержанием примесей. Корпуса телевизоров в основном изготовлены из ударопрочного полистирола. Поскольку около 30%<sup>29</sup> находящихся в Европе корпусов содержат бромированные антипирены, технология разделения в жидких средах позволит добиться хороших результатов при их сепарации, а большой объем выработки материалов, не содержащих бромированные антипирены, позволяет предположить, что данный технологический процесс является экономически выгодным (Schlummer, 2011). В странах Африки удельная доля загрязненных полимеров представляется еще более высокой (Sindik et al., 2009).

---

<sup>28</sup> Обе эти двухкомпонентные смеси затем могут быть разделены посредством ИК спектроскопии ближнего диапазона или электростатической сепарации.

<sup>29</sup> Содержание бромированных антипиренов в процентном выражении зависит от региона и действующих стандартов огнестойкости: в США/ Канаде большинство корпусов изготавливается с применением огнезащитных добавок.



В отношении бромированных антипиренов и в особенности ПБДЭ, относящихся к СОЗ, имеются данные об эффективности применения технология разделения в жидких средах для сепарации полимеров, содержащих бромированные антипирены, от негалогенизированных типов АБС и (или) УПС (Schlummer and Maeurer, 2006). По имеющимся сведениям, технология разделения в жидких средах применяется в Швеции для сепарации полимерных фракций отходов корпусов телевизоров и компьютерных мониторов, содержащих большое количество бромированных антипиренов, от ненасыщенной бромированными антипиренами фракции, предназначенной для переработки (Retegan et al., 2010). Единственная проблема, связанная с применением технологии разделения в жидких средах, состоит в наличии фракций смеси УПС с полифенилоксидом (плотность 1150 кг/м<sup>3</sup>) и смеси поликарбоната с АБС (плотность 1180 кг/м<sup>3</sup>), - смесей, содержащих антипирены на основе фосфора, что необходимо учесть при выборе общей стратегии сепарации (см. ниже).

В том, что касается пластиковых частей мелких электронных приборов и смешанных пластиковых отходов ЭЭО, являющихся результатом переработки смешанных отходов ЭЭО, технология разделения в жидких средах позволяет получать практически не содержащие брома пластиковые фракции, состоящие в основном из АБС, полистирола (в том числе ударопрочного полистирола) и полиолефинов. В связи с тем, что большое количество черного пластика в полученных полимерных фракциях с низким содержанием брома препятствует их дальнейшей обработке путем ИК спектроскопии ближнего диапазона, основная сложность заключается в производстве высококачественных полимеров, имеющих высокую рыночную стоимость, в качестве полезного результата для компенсации затрат на переработку. В настоящее время объем выработки пластика, достигаемый при применении данных методик, обычно не позволяет извлекать экономическую выгоду из переработки полимеров. Соответственно, за исключением случаев, когда фракция пластика, не содержащего бром, может быть преобразована в дорогостоящие полимеры, подлежащие переработке, едва ли можно ожидать широкого распространения технологии разделения в жидких средах. Операторы оборудования (по понятным причинам) неохотно идут на внедрение метода сепарации, в результате которого, в сущности, могут образоваться два новых вида отходов, при том, что ценность полученной продукции не увеличится (Schlummer, 2011).

#### 4.3.3 Комбинирование методов для получения продукции, пригодной для реализации

Ни один из описанных выше методов по отдельности не может обеспечить сепарацию смешанных полимеров из отходов ЭЭО – т.е. обеспечить сепарацию пластика в полимерные фракции, обладающие рыночной стоимостью, и в то же время гарантировать сепарацию пластика, содержащего относящиеся к СОЗ ПБДЭ или бромированные антипирены. Соответственно, на практике требуется применять сочетание нескольких методик.

Помимо этого, следует отметить, что ни одна технология не позволяет добиться 100%-ной сепарации, т.е. в получившейся после очистки от брома пластиковой фракции выявляется остаточный уровень загрязняющих ПБДЭ. В случае ручной сортировки это обусловлено ошибками персонала. В автоматизированных системах эффективность сепарации ограничена, и чистота полученного пластика, как правило, составляет менее 95%.

В данном разделе описываются последовательности технологических процессов, состоящие (теоретически) из этапов сепарации полимеров, содержащих относящиеся к СОЗ ПБДЭ или бромированные антипирены, с последующим применением соответствующих технологий сепарации полимеров и улучшения качественных характеристик выделенных фракций (ср. раздел 4.3.5, в котором перечисляются существующие промышленные установки). Сочетания процессов основаны исключительно на соображениях технического характера и не принимают в расчет экономическую приемлемость таких сочетаний, которая может существенно различаться для разных стран. Соответственно, требуется рассчитать местные затраты и выручку для различных комбинаций технологий.

*Разборка → ИК спектроскопия ближнего диапазона → разделение в жидких средах (→ электростатическая сепарация)*

При разборке оборудования с электронно-лучевых трубок компьютерных мониторов обычно снимается стекло. В связи с наличием довольно крупных пластиковых корпусов у такого оборудования, в большинстве случаев изготовленных из полистирола, АБС или смесей данных полимеров с поликарбонатом (поликарбонат + АБС) или полифенилоксидом (полифенилоксид + полистирол) персонал, задействованный при разборке и демонтаже оборудования, может с легкостью извлечь полимерную фракцию из данных изделий после переработки стекла в соответствии с принятым технологическим методом.

После предварительного механического измельчения пластиковые отходы могут быть подвергнуты сепарации на следующие полимерные фракции посредством ИК спектроскопии ближнего диапазона в режиме реального времени: легкую фракцию полистирола, легкую фракцию АБС, легкую фракцию смеси поликарбоната с АБС, легкую фракцию полипропилена, легкую фракцию смеси полифенилоксида с полистиролом, а также на пластики темных цветов, которые невозможно идентифицировать при помощи ИК спектроскопии.

Легкая фракция полистирола и легкая фракция АБС, а также темные полимеры, по всей вероятности, содержат большое количество бромированных антипиренов, которые могут быть отделены путем двухэтапного разделения в жидких средах: в жидкой среде плотностью  $1000 \text{ кг/м}^3$  и жидкости плотностью около  $1100 \text{ кг/м}^3$ . В основу методики разделения в жидких средах положен тот факт, что насыщенные бромированными антипиренами АБС и полистирол имеют значительно бóльшую плотность, чем их аналоги, не обработанные такими огнезащитными добавками.

Поскольку предполагается, что фракция темных полимеров плотностью  $1000\text{-}1100 \text{ кг/м}^3$  содержит как АБС, так и полистирол, целесообразно провести дальнейшую сепарацию этих двух полимеров; для этого можно применить электростатическую сепарацию. Данная методика доступна в промышленном масштабе и наиболее эффективна в отношении двухкомпонентных и высушенных полимерных смесей. При проведении данного технологического процесса смесь полимеров через вибрационный транспортер подается в т.н. трибоэлектрический зарядный агрегат. Здесь различные пластики избирательно получают электрический заряд, положительный или отрицательный, что обусловлено типом полимера. После индуцирования заряда пластиковая смесь вводится в поле высокого напряжения, в котором происходит электростатическая сепарация компонентов смеси на чистые фракции в соответствии с их зарядом: положительно заряженные частицы осаждаются на электроде с отрицательным зарядом, отрицательно заряженные – на электроде с положительным зарядом.

*Разборка -> разделение в жидких средах (→ электростатическая сепарация)*

При разборке оборудования с электронно-лучевых трубок телевизоров обычно снимается стекло. В связи с наличием довольно крупных пластиковых корпусов у такого оборудования, в подавляющем большинстве случаев изготовленных из полистирола, и крайне редко – из АБС или полипропилена, персонал, задействованный при разборке и демонтаже оборудования, может с легкостью извлечь полимерную фракцию из данных изделий после переработки стекла в соответствии с принятым технологическим методом. Недавние исследования показали, что при соответствующей подготовке персонала возможно уменьшить количество АБС-пластика, не содержащего бромированные антипирены, в данной фракции до минимума. Данный факт имеет большое значение, поскольку в телевизорах используются темные пластики, непригодные для сортировки путем ИК спектроскопии ближнего диапазона. После дробления полистирольная фракция проходит разделение в жидкой среде на фракцию полимеров, содержащих бромированные антипирены, и фракцию полимеров, практически не содержащих

такие добавки. Поскольку фракция темных полимеров плотностью 1000-1100 кг/м<sup>3</sup> содержит как АБС, так и полистирол, целесообразно провести дальнейшую сепарацию этих двух полимеров; для этого можно применить электростатическую сепарацию. Данная методика доступна в промышленном масштабе и наиболее эффективна в отношении двухкомпонентных и высушенных полимерных смесей (Hamos, 2012; Wersag, 2012; see table 4-1).

#### *Разборка -> сортировка вручную ( → разделение в жидких средах)*

Ручная сортировка, по возможности, с одновременным применением портативного датчика для ИК спектроскопии ближнего диапазона и для идентификации брома (масс-спектрометрии скользящего разряда или рентгенофлуоресцентного анализа), представляет собой наиболее разработанный метод. Помимо применения данного оборудования, персонал, занимающийся сортировкой, должен проверять корпуса изделий на наличие клейма или торгового знака изготовителя, указывающего на тип материала. Используя данные методы, обученный персонал может получить большое количество (почти) не содержащих бромированные антипирены полимеров от пластиковых отходов. В качестве следующего шага целесообразно провести ИК спектроскопию ближнего диапазона, которая позволит выделить фракции полимеров, относящихся к определенным типам, для их дальнейшей обработки. Недостатком такого подхода может послужить тот факт, что крупные предметы, такие как корпуса принтеров, мониторов и телевизоров, содержащие высокую концентрацию бромированных антипиренов, являются побочным продуктом, требующим приемлемой обработки. Пластиковые же части оборудования, изготовленного без применения бромированных антипиренов или содержащие их в малом количестве, напротив, обычно меньшего размера, зачастую не подвергаются разборке и обрабатываются методами измельчения.

#### *Измельчение → разделение в жидких средах → электростатическая сепарация*

Измельченные пластмассы из смешанных отходов ЭО (особенно мелкой бытовой техники) должны предварительно пройти сепарацию от черных и цветных металлов и пыли, и только потом они могут подвергнуться сепарации путем двухэтапного разделения в жидких средах плотностью приблизительно 1100 кг/м<sup>3</sup> и 1000 кг/м<sup>3</sup>. Легкая фракция, отличающаяся плотностью менее 1000 кг/м<sup>3</sup>, предположительно будет состоять преимущественно из полипропилена и небольших количеств полиэтилена. В состав фракции средней плотности будут входить не содержащие бромированные антипирены АБС-пластик и полистирол, а также высоконаполненные разновидности полипропилена. Эти три типа полимеров затем могут быть разделены путем электростатической сепарации (Hamos, 2012; Wersag, 2012; see table 4-1).

#### *Измельчение → просвечивание рентгеновскими лучами → спектроскопия*

На современных предприятиях по обработке отходов ЭО извлечение пластиковой фракции из смешанных отходов ЭО осуществляется посредством совокупного применения технологических процессов дробления, доизмельчения и механической сепарации. Поскольку обычный размер частицы пластика в данной фракции составляет менее 20 мм, для дальнейшего улучшения характеристик данного пластика с целью извлечения реализуемых полимеров требуется проведение автоматизированной сепарации в режиме реального времени, нежели ручная сортировка.

Удаление брома и хлора возможно путем просвечивания рентгеновскими лучами в режиме реального времени, в результате которого будет выделена фракция смешанных пластиков с низким содержанием брома; число типов полимеров в составе этой смешанной фракции может достигать шестнадцати. Основные типы полимеров (полистирол, АБС и полипропилен) затем могут быть извлечены путем ИК спектроскопии ближнего диапазона в режиме реального

времени; данный метод, впрочем, применим только к фракциям светлых полимеров, что, к сожалению, не самый частый случай среди пластиковых отходов ЭЭО.

В рамках проводящегося в настоящее время предварительного исследования научно-исследовательский институт организации производственного процесса и монтажа Фраунхофера (Fraunhofer IVV; Фрайзинг, Германия) и компания «Унисенсор» (Unisensor; Карлсруэ, Германия) испытывают и оптимизируют новый автоматизированный метод сортировки, основанный на лазерной спектроскопии. Полученные к настоящему моменту результаты ясно указывают на то, что при помощи данной технологии можно автоматически разделять несколько видов полимеров, смешанных в составе входящего потока измельченных пластиковых отходов, с большой производительностью (около 1 тонны в час). Оборудование для лазерной спектроскопии (в отличие от ИК спектроскопии ближнего диапазона) может распознавать черные и темные пластики; таким образом, данная технология может стать ключевой для преобразования не содержащего бромированные антипирены измельченного пластика из отходов ЭЭО в пригодные для реализации полимеры, отсортированные по типу. Дальнейшие исследования направлены на выявление бромированных антипиренов при помощи лазерной спектроскопии при сравнимом по высоте уровне производительности (Schlummer, 2011; Unisensor, 2012).

#### 4.3.4 Сравнение технологических методов сепарации полимеров

В таблице 4-1 перечислены отдельные реализуемые на практике сочетания методов сепарации полимеров из разных потоков отходов. Также указаны типы полимеров, которые могут быть получены в результате сепарации, статус введения технологического процесса в эксплуатацию, а также рентабельность метода или доступные экономические системы.

**Таблица 4-1.** Сочетание методов сепарации, вводимые ресурсы, продукты, получаемые в результате, статус метода, а также комментарии относительно экономической выгоды метода

Сочетание	Подходящие вводимые ресурсы	Продукты сепарации, не содержащие бромированные антипирены	Текущее состояние	Прибыльность	Источник
Разборка → ИК спектроскопия ближнего диапазона → разделение в жидких средах (→ электростатическая сепарация)	Пластиковые части отходов разобранного ЭЭО	АБС, полистирол	Сочетание методов одобрено	Прибыльность зависит от объема выработки полимеров, не содержащих бромированные антипирены	Schlummer (2011)
Разборка → разделение в жидких средах (→ электростатическая сепарация)	Корпуса телевизоров	Ударопрочный полистирол	Сочетание методов одобрено	Одобрена	Schlummer (2011)
Разборка → ручная сортировка (→ разделение в жидких средах)	Пластиковые части отходов разобранного ЭЭО	АБС, поликарбонат, смесь поликарбоната с АБС	Сочетание методов одобрено	Не одобрена в промышленно развитых странах	

Измельчение → разделение в жидких средах (→ электростатическая сепарация)	Смешанные отходы ЭЭО (мелкая бытовая техника)	АБС, полистирол, полипропилен	Сочетание методов одобрено	Технология успешно применяется на предприятии «Версаг АГ» (Wersag AG) (Гросширма, Германия)	Hamos (2012) Wersag GmbH (2012)
Измельчение → просвечивание рентгеновскими лучами → спектроскопия	Смешанные отходы ЭЭО	Смесь полимеров, не содержащая бромированные антипирены и поливинилхлорид	Сочетание методов одобрено	Информация отсутствует	Schlummer (2011) Unisensor (2012)

#### 4.3.5 Полномасштабные предприятия по сепарации отходов ЭЭО и полимеров, содержащих относящиеся к СОЗ ПБДЭ

В таблице 4-2 перечислены некоторые действующие предприятия по обработке отходов ЭЭО и возможности данных предприятий по сепарации пластика, содержащего ПБДЭ, относящиеся к СОЗ.

**Таблица 4-2.** Полномасштабные предприятия по обработке отходов ЭЭО и пластиковых отходов ЭЭО и их возможности по сепарации пластика, содержащего относящиеся к СОЗ ПБДЭ

Отходы ЭЭО, подвергаемые обработке	Методы сепарации	Полимеры – продукты сепарации	Качестве выделенных полимеров	Элиминация ПБДЭ/ бромированных антипиренов (соблюдение Директивы RoHS)	Стадия разработки*	Источник
Смешанные пластмассы из отходов ЭЭО (Австрия, Китай)	Не сообщаются	А) Типы АБС, УПС и полипропилен, содержащие малое количество бромированных антипиренов	А) хорошее (оговорено в технических требованиях заказчика в)	Да Сжигание фракции пластика, содержащего большое количество бромированных антипиренов	В промышленном масштабе	MVA Polymers (2012)
Мелкая бытовая техника, крупные бытовые приборы (Швейцария)	Используется просвечивание рентгеновскими лучами	Полимеры, не содержащие бромированные антипирены и поливинилхлорид	Хорошее	Да	В промышленном масштабе	RUAG Technology (2012)

Пластиковые отходы ЭЭО (Великобритания)	Не сообщаются	Типы АБС и УПС, содержащие малое количество бромированных антипиренов	Хорошее	Да	В промышленном масштабе	Morton (2007)
Пластиковые отходы ЭЭО (Германия)	Не сообщаются (используется разделение в жидких средах и электростатическая сепарация)	Типы полипропилена, АБС и УПС, содержащие малое количество бромированных антипиренов	Хорошее	Да	В промышленном масштабе	Wersag GmbH (2012)
Корпуса телевизоров и компьютеров (Швеция)	Ручные; не сообщаются	Типы АБС и УПС, содержащие малое количество бромированных антипиренов	Хорошее	Да	В промышленном масштабе	Retegan et al. (2010)
Смешанные пластиковые отходы ЭЭО (Германия)	Дробление и просвечивание рентгеновскими лучами, выполняющиеся последовательно	Полимеры, не содержащие бромированные антипирены и ПВХ	Не подтверждено	Да	В промышленном масштабе	Adamec Recycling (2012)

(UNEP 2010a с уточнениями)

#### 4.4 Извлечение энергии из пластиковых отходов, содержащих относящиеся к СОЗ ПБДЭ, и обращение с пластиковыми отходами

Применение мусоросжигательных установок, соответствующих принципам наилучших доступных технологий и наилучших видов природоохранной деятельности, для извлечения энергии или, возможно, других теплоэнергетических установок, действующих согласно наилучшим доступным технологиям и наилучшим видам природоохранной деятельности, позволяет извлечь энергию/ ресурсы<sup>30</sup> из пластиковых фракций, содержащих относящиеся к СОЗ ПБДЭ. Методы обработки и требования к технологии описаны в разделе 7.

Соображения, касающиеся применения наилучших доступных технологий и наилучших видов природоохранной деятельности при захоронении материалов, содержащих относящиеся к СОЗ ПБДЭ, приведены в разделе 8 и приложении 3. Как уже отмечалось в разделе 3.3, данный вариант обращения с отходами является наименее предпочтительным при учете жизненного цикла данных соединений, поскольку стойкие органические загрязнители не уничтожаются, но остаются для будущих поколений.

<sup>30</sup> Извлечение ресурсов предполагает извлечение металлов из отходов ЭЭО, в том числе совместную переработку доли полимерной фракции.



## 5 Специализированные наилучшие доступные технологии и наилучшие виды природоохранной деятельности: отходы, содержащие ПБДЭ, относящиеся к СОЗ, или бромированные антипирены, в транспортном секторе

Транспортный сектор (легковые автомобили, автобусы, грузовые автомобили, железнодорожный транспорт, водный транспорт<sup>31</sup> и воздушный транспорт) представляет собой один из наиболее крупных мировых потоков ресурсов и отходов. Производство пенополиуретана для транспортного сектора было одной из основных сфер применения п-пента-БДЭ. П-пента-БДЭ применялся при производстве обивки сидений, подголовников и потолков салона транспортных средств, а также при производстве оснований текстильных изделий. Для производства пластиковых деталей (например, приборных досок, рулевых колес) в ограниченных количествах также использовался п-окта-БДЭ. Представляется, что транспортный сектор содержит большие запасы ПБДЭ, относящихся к СОЗ, в том числе в потоках повторного использования и переработки, что обусловлено сравнительно продолжительным сроком эксплуатации транспортных средств (особенно в развивающихся странах), а также большим объемом повторного использования и экспорта.

Стойкие органические загрязнители в составе транспортных средств с выработанным ресурсом также могли включать в себя полихлорированные дифенилы (ПХД)<sup>32</sup> и ПХДД/ ПХДФ («Руководство по применению наилучших доступных технологий и наилучших видов природоохранной деятельности в рамках реализации Стокгольмской конвенции» (*Stockholm Convention 2007*); Vermeulen et al., 2011). Также в транспортных средствах с выработанным ресурсом выявляются другие опасные вещества, а именно тяжелые металлы, такие как медь, кадмий, свинец, никель и цинк, что необходимо учитывать при надлежащей оценке способов окончательного удаления автомобильного шредерного остатка. По причине выявления данных загрязнителей некоторые страны причислили автомобильный шредерный остаток к опасным отходам и разработали меры законодательного контроля. Общее содержание (тяжелых) металлов в автомобильном шредерном остатке, по сообщениям, достигает 22% (Lanoir et al., 1997; Vermeulen et al., 2011). В автомобильном шредерном остатке также содержится значительная концентрация хлора – как правило, от 1 масс. % до 4 масс. % - что в основном обусловлено наличием поливинилхлорида или галобутилового каучука (Boughton, 2007; Vermeulen et al., 2011). В транспортных средствах с выработанным ресурсом также обнаруживается отработанное смазочное масло и вещества, разрушающие озоновый слой, например холодильные агенты на основе хлорфторуглеродов и активные в отношении изменения климата холодильные агенты на основе гидрофторуглеродов, которые должны пройти особую предварительную обработку перед шредированием.

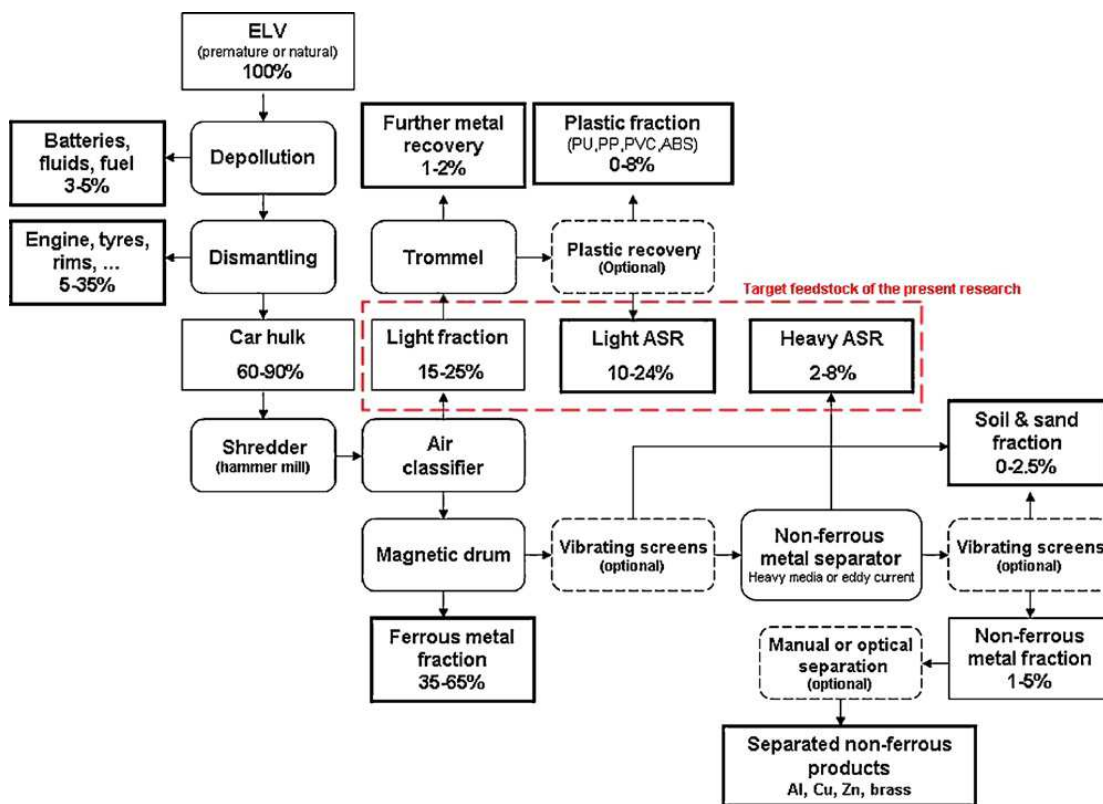
В развивающихся странах некоторое время назад вводили меры по регулированию транспортных средств и транспортных средств с отработанным ресурсом в соответствии с принципами наилучших доступных технологий и наилучших видов природоохранной

---

<sup>31</sup> Демонтаж водного транспорта регулируется Базельской конвенцией (<http://www.basel.int/ships/index.html>)

<sup>32</sup> Имеющиеся данные указывают на то, что полихлорированные дифенилы, выделяющиеся в окружающую среду предприятиями по измельчению отходов, являются результатом промышленного (преднамеренного) производства ПХД и были добавлены в горюче-смазочные материалы, диэлектрические жидкости и т.п. для транспортных средств или, что еще более вероятно, в товары широкого потребления, подвергшиеся шредированию, в частности, в крупную бытовую технику («Руководство по применению наилучших доступных технологий и наилучших видов природоохранной деятельности в рамках реализации Стокгольмской конвенции»).

деятельности. Один из подходов в области регулирования природоохранной деятельности заключается в идее выделения целых деревьев под безвредные для окружающей среды автомобильные ремонтные мастерские, направленные на обработку транспортных отходов (Nwachukwu et al., 2011).



(Vermeulen et al., 2011)

**Рисунок 5-1.** Схематическое изображение процесса обработки транспортного средства с выработанным ресурсом

ELV (premature or natural) 100% – транспортное средство с выработанным ресурсом (преждевременно сданное в утиль или по причине износа) 100%; Batteries, fluids, fuel 3-5% - аккумуляторы, технические жидкости, топливо 3-5%; Depollution – очистка от материалов, представляющих опасность загрязнения окружающей среды; Further metal recovery 1-2% - дальнейшее извлечение металлов 1-2%; Plastic fraction (PU, PP, PVC, ABS) 0-8% - пластиковая фракция (полиуретан, полипропилен, поливинилхлорид, АБС) 0-8%; Engine, tires, rims 5-35% - двигатель, покрышки, обода колес 5-35%; Dismantling – разборка; Trommel – грохочение в сортировочном барабане; Plastic recovery (optional) – извлечение пластиковой фракции (опционально); Car hulk 60-90% - корпус автомобиля; Light fraction 15-25% - легкая фракция 15-25%; Light ASR 10-24% - легкий автомобильный шредерный остаток 10-24%; Heavy ASR 2-8% - тяжелый автомобильный шредерный остаток 2-8%; Target feedstock of the present research – сырьевой ресурс, представляющий собой объект настоящего исследования; Shredder (hammer mill) – шредирование (измельчение на молотковой дробилке); Air classifier – воздушная сепарация; Soil & sand fraction 0-2,2% - фракция грунта и песка 0-2%; Magnetic drum – сепарация на магнитном барабанном сепараторе; Vibrating screens (optional) – грохочение на сотрясательном грохоте; Non-ferrous metal separator (heavy media or eddy current) – сепарация цветных металлов (в тяжелых средах или вихревыми токами); Ferrous metal fraction 35-65% - фракция черных металлов 35-65%; Manual or optical separation (optional) – ручная или оптическая сепарация (опционально); Non-ferrous metal fraction 1-5% - фракция цветных металлов 1-5%; Separated non-ferrous products (Al, Cu, Zn, brass) – отдельные фракции цветных металлов после сепарации (алюминия, меди, цинка, латуни).

## 5.1 Повторное использование транспортных средств, содержащих относящиеся к СОЗ ПБДЭ

Согласно иерархии технологий обращения с отходами, ремонт и повторное использование представляют собой предпочтительный способ утилизации транспортных средств после выработки ресурса. Повторное использование позволяет сократить затраты энергии на изготовление новых транспортных средств, а также избежать вредного воздействия на состояние окружающей среды в связи с производством новых сырьевых ресурсов, что особенно актуально в случае таких ресурсоемких материальных потоков.

Поскольку в большинстве регионов использование ПБДЭ, относящихся к СОЗ, было прекращено до 2000 г. (например, в Европе, Азии<sup>33</sup>), значительная доля автомобилей, произведенных с использованием данных загрязнителей, в промышленных странах уже не эксплуатируется, но достигла окончания срока эксплуатации или была экспортирована в развивающиеся страны или страны с переходной экономикой. Следовательно, сектор подержанных транспортных средств в промышленно развитых странах, относящихся к данным регионам, не находится под существенным влиянием факторов, связанных с наличием ПБДЭ, относящихся к СОЗ (Morf et al., 2003). Необходимы особые меры контроля в отношении транспортных средств, эксплуатирующихся в Северной Америке или экспортированных из нее, поскольку в данном регионе п-пента-БДЭ и п-окта-БДЭ применялись до 2004 г. и по преимуществу именно в транспортном секторе (см. раздел 2).

В развивающихся странах, где срок эксплуатации транспортных средств достигает несколько десятилетий, население все еще использует большое количество автомобилей, произведенных в 1970-ых гг., 1980-ых гг. и 1990-ых гг. (см. «Руководство по инвентаризации ПБДЭ, относящихся к СОЗ»). В этих регионах содержание ПБДЭ, относящихся к СОЗ, в транспортном секторе может иметь особую значимость. Судя по результатам исследований вредного воздействия на человека, полученным в США (Imm et al., 2009; Stapleton et al., 2008, Betts, 2003), значимым также может оказаться воздействие ПБДЭ, относящихся к СОЗ, на человека, в частности, на водителей такси или других профессиональных водителей, управляющих транспортными средствами, содержащими данные загрязнители, что особенно актуально в отношении старых автомобилей, изготовленных с применением первичного пенополиуретана. Соответственно, повторное использование транспортных средств, содержащих ПБДЭ, относящиеся к СОЗ, не рекомендуется.

## 5.2 Обработка и рециклинг транспортных средств с выработанным ресурсом

Транспортные средства с выработанным ресурсом содержат ценные источники сырья (в частности, металлы), что обуславливает неизменно высокие показатели рециклинга таких транспортных средств (около 70%). При этом не следует упускать из виду воздействие, которое оказывает на состояние окружающей среды переработанная фракция транспортного средства с выработанным ресурсом: данное воздействие зачастую представляет опасность для экологии в связи с наличием отработанных масел и смазочных материалов, тяжелых металлов, а также стойких органических загрязнителей (Vermeulen, 2011). В настоящее время многие снимаемые с эксплуатации транспортные средства снабжены кондиционерами воздуха, которые содержат вещества, разрушающие озоновый слой и (или) парниковые газы. Таким образом, для экологически обоснованного регулирования транспортных средств с выработанным ресурсом

---

<sup>33</sup> Информация о производстве п-пента-БДЭ в Китае и сроках его прекращения требует уточнения.

решающее значение имеет этап разборки (демонтажа) и очистки от материалов, представляющих опасность загрязнения окружающей среды.

Обычно в результате обработки транспортных средств с выработанным ресурсом материалы, содержащие относящиеся к СОЗ ПБДЭ, оказываются в автомобильном шредерном остатке (см. рис. 5-1). Автомобильный шредерный остаток затем, как правило, подвергается дальнейшей сепарации на «легкую» и «тяжелую» фракцию, при этом от 4% до 20% от общего объема легкой фракции составляет пенополиуретан (см. рис. 5-2).

В промышленно развитых странах легкий шредерный остаток, образовавшийся в результате обработки транспортных средств с выработанным ресурсом, как правило, не перерабатывается, однако подлежит тепловому разрушению или термическому процессу с целью извлечения энергии (см. раздел 8 и приложение 3).

В отдельных промышленно развитых странах приняты законодательные акты, предусматривающие введение квоты на объем рециклинга транспортных средств с выработанным ресурсом (и других материалов), так, например, правительство Японии в 2002 г. приняло закон о рециклинге транспортных средств с выработанным ресурсом, который обязывает производителей удалять из снятых с эксплуатации транспортных средств хлорфторуглероды, воздушные подушки безопасности и автомобильный шредерный остаток, а оставшиеся материалы надлежащим образом перерабатывать. В Европе принята Директива, регулирующая обращение с транспортными средствами с выработанным ресурсом и предусматривающая введение с 2015 г. квоты на рециклинг на уровне 95% (European Commission, 2010).

В последнее время некоторые предприятия перерабатывают полимерные фракции описанными ниже способами.

### 5.2.1 Демонтаж транспортного средства и очистка от материалов, представляющих опасность для окружающей среды

Перед демонтажем с транспортного средства необходимо удалить все потенциально опасные и токсичные материалы. Как правило, перед шредированием из транспортных средств и других механизмов следует удалить технические жидкости, например, тормозную жидкость, бензин, гидравлическую жидкость, моторное масло, охлаждающие жидкости (вещества, разрушающие озоновый слой, и парниковые газы), а также трансмиссионная жидкость. Соблюдение данного правила особенно актуально в отношении полихлордифенилов (ПХД), которые необходимо выявлять и удалять со всех устройств и механизмов, подлежащих шредированию. Особое внимание следует уделить трансформаторам и конденсаторам. Более подробно меры контроля рассмотрены в руководстве по применению наилучших доступных технологий и наилучших видов природоохранной деятельности в отношении химических соединений, включенных в список приложения С Стокгольмской конвенции (Stockholm Convention, 2007).

Этап очистки от материалов, представляющих опасность для окружающей среды, предоставляет возможность удаления материалов, содержащих загрязняющие ПБДЭ, для дальнейшей обработки. Сепарация материалов может быть проведена при помощи методов выявления содержания брома (см. раздел 3.6), особенно в тех случаях, когда планируется дальнейшая обработка незагрязненных полимеров с целью получения вторичного сырья.

На этапе демонтажа с транспортного средства компоненты, которые могут быть использованы повторно или переработаны; особое внимание при этом уделяется деталям, имеющим достаточную рыночную стоимость или содержащим дорогостоящие материалы (например, каталитическим нейтрализаторам). В таблице 5-1 перечислены те детали транспортных средств, которые могут быть легко переработаны, а также указаны возможные конечные продукты переработки.

В целом, для повторного использования или переработки может быть выделено 5–35% от общей массы транспортного средства с выработанным ресурсом; данная величина зависит от

возраста транспортного средства, рыночной стоимости удаленных деталей, а также затрат на оплату труда по удалению данных деталей (Vermeulen et al., 2011). Существует, к примеру, огромная разница между европейскими странами, где во время демонтажа удаляется только 5-10% от всей массы транспортного средства, и Южной Кореей, где на данном этапе снимается до 35% от всей массы комплектующих транспортного средства (Ferrão et al., 2006; Joung et al., 2007; Forton et al., 2006). Приведенный факт указывает на большой потенциал этапа демонтажа в качестве меры обеспечения наилучших видов природоохранной деятельности.

Необходимо применять соответствующие процедуры для минимизации вредного воздействия загрязнителей (в том числе CO<sub>2</sub>) (например, снижение уровня пылеобразования), а также использовать соответствующее защитное оборудование и снаряжение.

**Таблица 5-1.** Детали транспортных средств с выработанным ресурсом, которые могут быть переработаны

Часть автомобиля	Материал	Продукт переработки
Окно	Стекло	Облицовочная плитка
Сиденье	Пеноматериалы и стекловолокно	Звукоизоляционные материалы для транспортных средств
Кузов, багажник, капот, дверь	Сталь	Детали легковых автомобилей и неспециализированные сталепродукты
Кабельная система	Медь	Медные продукты и двигатели (сплав с алюминием)
Бампер	Смола	Бамперы, детали салона, панели инструментов
Радиаторы	Медь и алюминий	Латунные чушки и продукты алюминия
Хладагенты, моторные и трансмиссионные масла	Нефтепродукты	Альтернативный вид топлива для котельных установок и мусоросжигательных печей
Блок двигатель-трансмиссия, подвесное устройство, колесо	Сталь и алюминий	Неспециализированные сталепродукты и продукты алюминия
Каталитический нейтрализатор	Драгметаллы	Продукты переработки каталитических нейтрализаторов или драгметаллов (например, платины)
Покрышка	Каучук	Вторичное сырье и извлечение энергии (например, в печах для обжига цемента)

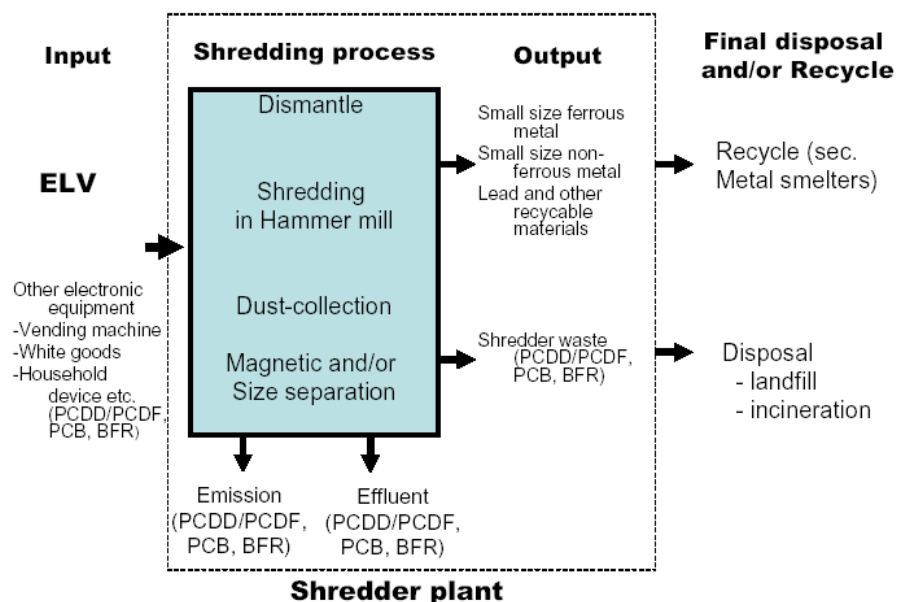
(Zameri and Saman; 2006; Vermeulen et al., 2011)

### 5.2.2 Промышленные установки для измельчения отходов транспортных средств (шредерные установки)

Промышленные установки для переработки отслуживших свой срок автомобилей включены в список приложения С Стокгольмской конвенции в качестве одного из источников возможного образования и выбросов непреднамеренно произведенных CO<sub>2</sub>; по этой причине информация о них включена в руководство по применению наилучших доступных технологий и наилучших видов природоохранной деятельности в рамках реализации Стокгольмской конвенции (Стокгольмская конвенция, редакция 2007 г., часть III, Категории источников, пункт (k)). Общая схема процесса представлена на рисунке 5-2.



## Shredder plant for the treatment End of life vehicles



(Stockholm Convention, 2007)

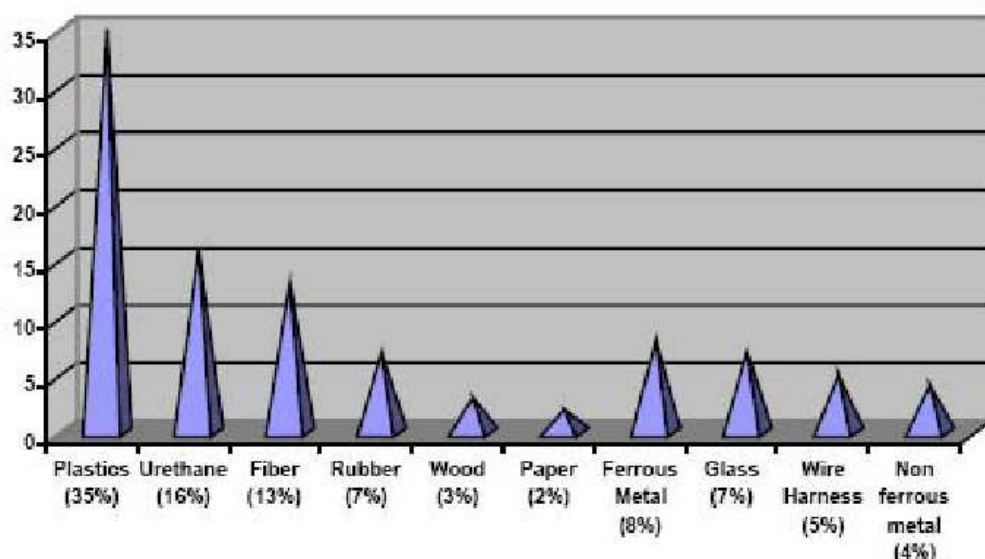
**Рисунок 5-2.** Общая схема процесса измельчения при помощи шредерных установок

Shredder plant for the treatment End-of-life vehicles – Промышленный измельчитель (шредерная установка) для переработки транспортных средств с выработанным ресурсом; Input – вводимые в процесс ресурсы; Shredding process – процесс измельчения; Output – конечные продукты; Final disposal and/or recycle – окончательное удаление и (или) переработка; ELV – транспортное средство с выработанным ресурсом; Other electronic equipment – прочее электронное оборудование; Vending machine – торговые автоматы; White goods – крупная бытовая техника; Household device etc. (PCDD/PCDF, PCB, BFR) – бытовые приборы и т.п. (ПХДД/ПХДФ, ПХД, бромированные антипирены); Dismantle - демонтаж; Shredding in hammer mill – измельчение в молотковой дробилке; Dust-collection – пылеулавливание; Magnetic and/or size separation – сепарация в магнитном поле и (или) по размеру; Emission (PCDD/PCDF, PCB, BFR) – выбросы (ПХДД/ПХДФ, ПХД, бромированные антипирены); Effluent (PCDD/PCDF, PCB, BFR) – сточные воды (ПХДД/ПХДФ, ПХД, бромированные антипирены); Small size ferrous metal – мелкие черные металлы; Small size non-ferrous metal – мелкие цветные металлы; Lead and other recyclable materials – свинец и другие материалы, которые могут быть переработаны; Shredder waste (PCDD/PCDF, PCB, BFR) – отходы измельчения (ПХДД/ПХДФ, ПХД, бромированные антипирены); Recycle (sec. metal smelters) – переработка (с последующей выплавкой металлов); Disposal – окончательное удаление; landfill – захоронение; incineration – сжигание; Shredder plant – промышленная установка для измельчения отходов (шредер).

Многие детали транспортных средств изготовлены из цветных металлов, таких как медь, алюминий и цинк. В процессе измельчения для отделения ферромагнитной фракции от других материалов применяется метод магнитной сепарации. Цветные металлы, например, медь и алюминий, как правило, отделяются на последующих этапах ручной или оптической сортировкой. Остальное – автомобильный шредерный остаток, объем которого, по оценкам, составляет от 15% до 30% общей массы транспортного средства (Stockholm Convention, 2007; Vermeulen et al., 2011). Автомобильный шредерный остаток состоит из стекла, стекловолна, каучука, автомобильных жидкостей, пластика, пенополиуретана и грязи (см. рис. 5-3) и в обычных условиях затем подвергается дальнейшей сепарации на «легкую фракцию» (в состав которой входят пенополиуретан, большая часть текстиля и пластика) и «тяжелую фракцию» (см. рис. 5-1).

Поскольку работа промышленных шредерных установок может приводить к образованию пыли и выбросам (в том числе выбросам упомянутых выше загрязнителей), обслуживающему персоналу необходимо использовать соответствующие средства защиты.





(Stockholm Convention, 2007)

**Рисунок 5-3.** Состав отходов измельчения

Plastics – пластик; Urethane – уретан; Fiber – стекловолокно; Rubber – каучук; Wood – лесоматериалы; Paper – бумага; Ferrous metal – черные металлы; Glass – стекло; Wire harness – кабельная система; Non-ferrous metal – цветные металлы.

### 5.2.3 Переработка методом улучшенной очистки от материалов, способных нанести вред окружающей среде, и технологии пост-шредерной обработки

Как уже упоминалось в разделе 5.2.1, значительная доля материалов может быть подвергнута переработке. Материалы, которые могут содержать относящиеся к СОЗ ПБДЭ (пенополиуретан и пластиковые/ текстильные детали обшивки салона), как правило, не причисляются к числу подлежащего переработке сырья (см. таблицу 5-1). В связи с увеличением нагрузки на рециклинг материалов, впрочем, в будущем может возникнуть необходимость в переработке большего числа полимеров. Согласно данным, изложенным в работе (Ferraõ et al., 2006), увеличение объема переработки полимеров из автомобильного шредерного остатка представляет собой принципиальную цель, как, например, в случае Европы, где поставлена задача выйти на уровень 95% в повторном использовании и переработке транспортных отходов к 2015 г. Поскольку применение полимеров находит все большее распространение при производстве легковых автомобилей, в будущем значимость этой фракции повысится еще больше. В связи с этим в Европе были учреждены несколько предприятий по переработке автомобильного шредерного остатка в соответствии с принципами наилучших доступных технологий и наилучших видов природоохранной деятельности (см. таблицу 5-2).

Содержание пенополиуретана (в котором, по оценкам, содержится основная фракция ПБДЭ, относящихся к СОЗ)<sup>34</sup> в автомобильном шредерном остатке составляет приблизительно от 5% до 15% (в среднем приблизительно 16 кг пенополиуретана на автомобиль); тем не менее, данный пеноматериал занимает более 30% объема шредерного остатка (Hoffman, 2008). По сообщениям промышленных предприятий США, рентабельность пеноматериала, извлеченного

<sup>34</sup> В США основные изделия из пенополиуретана, предназначенные для использования в транспортных средствах (сиденья, подголовники и подлокотники), обрабатывались п-пента-БДЭ в концентрации приблизительно 1% в целях соблюдения стандарта огнестойкости (MVSS 302) (Luedeka, 2011; см. главу 6).

из автомобильного шредерного остатка, для рынка ковровых покрытий на основе переработанного ППУ зависит от двух ключевых факторов: (i) разработки экономически выгодного процесса извлечения пеноматериала из шредерного остатка, а также (ii) подтверждения того, что извлеченный пеноматериал соответствует требованиям, предъявляемых к качеству (Hoffman, 2008). Содержание ПБДЭ, относящихся к СОЗ, может стать одним из таких требований.

Аргоннская национальная лаборатория разработала систему сепарации полимеров, основанную на методе флотации с применением пенообразующих агентов (Hoffman, 2008). Используется комплект из шести резервуаров, каждый из которых имеет свою особую функцию, зависящую от типа извлекаемого полимера. Химические составы, содержащиеся в каждом из резервуаров, выбираются специально для каждого конкретного применения. Данная система использовалась для восстановления отдельных полимеров из автомобильного шредерного остатка, демонтированных деталей автомобилей, промышленных пластмассовых отходов и электронных товаров широкого потребления (Selke, 2006). Сотрудники лаборатории продемонстрировали, что пеноматериал наивысшего качества удается получить в результате демонтажа и последующего вымывания пеноматериала из автомобильных сидений. Однако при этом утверждается, что ручная сепарация пеноматериалов в промышленно развитых странах не является прибыльной технологией (Hoffman, 2008; UNEP, 2010b).

В 2004 г. компания «Н.в. Салип» (NV Salyp) (Ипр, Бельгия) поручила компании «Салип И Эл Ви Сентр» (Salyp ELV Centre), использующей технологию Аргоннской лаборатории по лицензии, извлечение пенополиуретана и других полимеров из шредерного остатка. По сообщениям, производственная мощность составила 6 тонн автомобильного шредерного остатка в час. На предприятии также применялась запатентованная немецкой компанией «Кутек» технология сепарации различных типов термопластика из возвратных отходов производственного процесса по технологии Аргоннской лаборатории. Технология, разработанная Аргоннской лабораторией, позволяет разделять измельченный пластик на три потока: пылеобразную фракцию, пеноматериал и термопластик. Извлеченный пеноматериал очищается и реализуется в качестве переработанного пеноматериала для нижнего основания ковровых покрытий и обшивки салонов автомобилей (Selke, 2006; UNEP 2010b).

Другие предприятия получают полимерные фракции в процессе шредирования транспортных средств. Непременным условием в этом случае является этап предварительной обработки для получения полимерной фракции, в которой содержание полимеров составляет от 70 до 80%, что обеспечит рентабельность транспортировки данного вида отходов на предприятие по переработке пластика (Slijkhuis, 2011).

**Таблица 5-2.** Общий обзор технологий постшредерной обработки<sup>35</sup>

	Аргоннская лаборатория	«Галлу» (Galloo)	«Эм Би Эй Полимерс» (MBA Polymers)	Технологический процесс компании «Салип» (Salyp)	«Стена» (Stena)	«Эр-Плюс» (R-Plus) (процесс сухой механической сепарации WESA-SLF)	Технология «Вольксфаген» - «Зикон» (Sicon)
<b>Методики сепарации</b>							
Воздушная сепарация	X	X	X	X	X	X	X
Магнитная сепарация	X	X	X	X	X	X	X
Сепарация вихревыми токами	X	X	X	X	X		X
Скрининг		X		X	X	X	X
Сепарация грохочением	X	X		X	X		
Оптическая				X			X

<sup>35</sup> Также извлечением полимеров из транспортных средств с выработанным ресурсом занимаются «Ти Би Эс» (TBS) в г. Энс, Австрия, и «Эс Эр Дубль-вэ» (SRW) (Эспенхайн, Германия).

сортировка								
Ручная сортировка					X			
Просушка						X		
Разделение в жидких средах		X		X	X			X
Флотация с применением пенообразующих агентов	X							
Термомеханическая сортировка				X				
Мокрое дробление			X					
Гидроциклонное отделение			X					
Применение статических, гидродинамических резервуаров-сепараторов		X						
Разделение в тяжелых средах					X			
<b>Статус разработки</b>	Действующие предприятия	Действующие предприятия	Действующие предприятия	Действующие предприятия	Действующие предприятия	Действующие предприятия	Действующие предприятия	Испытания технологии на 1 предприятии + 2 предприятия на стадии строительства 95%
<b>Общий объем извлечения материалов</b>	90% полимеров размером >6 мм 90% металлов размером >6 мм	90%	Не указывается	86%	80%	92%		

(Vermeulen et al., 2011)

## 5.3 Извлечение энергии и окончательное удаление автомобильного шредерного остатка и других отходов обработки транспортных средств с выработанным ресурсом

### 5.3.1 Извлечение энергии

Автомобильный шредерный остаток отличается высокой теплотворной способностью (14-30 МДж/кг), что является благоприятным условием для получения энергии. Тем не менее, высокое содержание хлора, наряду с наличием бромированных антипиренов и высокой концентрацией тяжелых металлов и золы накладывает ограничения на использование шредерного остатка в качестве топливозаменителя (Vermeulen et al., 2011).

Для надлежащей обработки автомобильного шредерного остатка, таким образом, требуются мусоросжигательные печи, соответствующие принципам наилучших доступных технологий. В Швейцарии весь автомобильный шредерный остаток подвергается совместному сжиганию при максимальном уровне не более 5%. Сжигание или обработка путем пиролиза, не соответствующие принципам наилучших доступных технологий, ведут к образованию ПХДД/ПХДФ, а также непреднамеренному производству других СОЗ (Sakai et al., 2007; Weber and Sakurai, 2002).

Передовые технологии извлечения топлива из твердых отходов направлены на разделение автомобильного шредерного остатка и выделение горючих материалов с низким содержанием золы, а также низкими концентрациями галогенов и загрязнителей. Фракции галогенов и тяжелых металлов требуют дальнейшей обработки и экологически обоснованного регулирования, что может быть сопряжено с определенными трудностями. Самая мелкодробленая фракция автомобильного шредерного остатка обычно содержит наибольшее количество золы и нефтяных масел в сочетании с наиболее низким значением теплотворной способности. Для удаления данного мелкодисперсного материала и, соответственно, улучшения характеристик топлива, извлеченного из автомобильного шредерного остатка, могут быть

применены грохоты, вибростенды, вращающиеся барабаны или методики разделения в жидких средах (Morselli et al., 2010; Boughton and Horvath, 2006; Hjelmar et al., 2009). Галогенизированные полимерные компоненты, например, материалы, содержащие ПБДЭ, относящиеся к СОЗ, или бромированные антипирены, поливинилхлорид или галобутиловый каучук, являются основными источниками высокой концентрации галогенов, часто выявляющейся в автомобильном шредерном остатке. Удаление поливинилхлорида из автомобильного шредерного остатка представляет собой простой способ снижения общей концентрации хлора. Результаты нескольких исследований указывают на то, что помещение в жидкую среду плотностью 1100-1200 кг/м<sup>3</sup> позволяет отделить от горючих компонентов автомобильного шредерного остатка большую часть (до 68%) хлорированного или содержащего ПБДЭ/ бромированные антипирены пластика (плотностью около 1400 кг/м<sup>3</sup> или более) (Hwang et al., 2008; Boughton, 2007). В некоторых случаях перед переработкой или извлечением энергии из автомобильного шредерного остатка необходимо удалить тяжелые металлы с целью соблюдения нормативных требований, предъявляемых к качеству готового продукта (Vermeulen et al., 2011).

Методы термической обработки для извлечения энергии или ресурсов описаны в разделе 7.

Еще один подход к «переработке» автомобильного шредерного остатка заключается в непосредственном смешивании мелкодробленой фракции шредерного остатка с другими материалами, например, композитными материалами, бетоном или асфальтовым битумом, что может рассматриваться как временное хранилище загрязняющих материалов.

### 5.3.2 Окончательное удаление автомобильного шредерного остатка

В автомобильном шредерном остатке концентрация некоторых тяжелых металлов, например, меди, кадмия, свинца, никеля и цинка, может превышать допустимые значения, установленные в законодательном порядке для мест захоронения отходов, и представлять угрозу окружающей среде в связи с возможным выщелачиванием данных металлов из захороненного автомобильного шредерного остатка (Gonzalez Fernandez et al., 2008). Аналогичное соображение может быть применено к ПБДЭ, относящимся к СОЗ, и ПХД. Окончательное удаление автомобильного шредерного остатка, таким образом, представляет собой проблему и подлежит регулированию; так, например, в странах Европейского союза автомобильный шредерный остаток причислен к опасным отходам, согласно списку опасных отходов (2000-532-ЕЕС)<sup>36</sup>. Несмотря на то, что данный вид отходов содержит большие запасы загрязняющих веществ, даже промышленно развитые страны, впрочем, в настоящее время преимущественно подвергают автомобильный шредерный остаток захоронению на полигонах или свалках. Принципы наилучших доступных технологий и наилучших видов природоохранной деятельности в отношении захоронения материалов, содержащих относящиеся к СОЗ ПБДЭ, описаны в разделе 8 и приложении 3.

## 5.4 Соображения, касающиеся развивающихся стран

Данные о переработке отходов компонентов транспортных средств с выработанным ресурсом, содержащих относящиеся к СОЗ ПБДЭ, в развивающихся странах ограничены. Первое предварительное исследование по оценке статуса новых стойких органических загрязнителей в Нигерии, не выявило специфической деятельности по переработке отходов транспортного сектора, содержащих загрязняющие ПБДЭ (пластика и пенополиуретана). В настоящее время в развивающихся странах практически отсутствуют производственные возможности для сжигания автомобильного шредерного остатка, содержащего относящиеся к СОЗ ПБДЭ, которые соответствовали бы принципам наилучших доступных технологий и наилучших видов

---

<sup>36</sup> Раздел 1910, приложение к Директиве ЕС по опасным отходам 91-689-ЕЕС.

природоохранной деятельности (см. раздел 7). Кроме того, большинство свалок в развивающихся странах даже вовсе не соответствуют стандартным требованиям, предъявляемым к организованному захоронению отходов, содержащих относящиеся к СОЗ ПБДЭ (см. раздел 8 и приложение 3). Таким образом, в развивающихся странах в настоящее время отсутствуют приемлемые варианты удаления полимеров, содержащих загрязняющие ПБДЭ, из отходов транспортных средств, и такие страны очевидным образом нуждаются в поддержке для обеспечения экологически безопасной и обоснованной обработки данного вида отходов.

## 6 Специализированные наилучшие доступные технологии и наилучшие виды природоохранной деятельности: пенополиуретан, содержащий ПБДЭ, относящиеся к СОЗ

Эластичный пенополиуретан представляет собой промышленное изделие, характеризующееся большим количеством способов применения (Luedeka, 2011; UNEP, 2010b). Продукты пенополиуретана в основном используются в производстве следующих изделий:

- Коммерческой и бытовой мягкой мебели (диванов, кресел);
- Матрасов и постельных принадлежностей, в том числе подушек и набивки для матрасов, для применения в быту и в различных учреждениях;
- Транспортных средств (легковых автомобилей, грузовых автомобилей, железнодорожного транспорта, водного транспорта, воздушного транспорта; см. также раздел 5) – в качестве наполнителя для сидений, облицовочных и звукопоглощающих панелей;
- В военно-промышленном и оборонном комплексе для защиты топливных систем средств наземного, водного и воздушного транспорта от возгорания.

В меньшем объеме пенополиуретан используется в следующих целях:

- Для производства защитной упаковки;
- Для производства медицинских изделий для фиксации, поддержки, уменьшения давления, впитывания жидкостей и ранолечения;
- Для фильтрации воздуха и жидкостей;
- В качестве впитывающей среды для лабораторного оборудования и контрольно-измерительных приборов;
- В качестве набивочного и изоляционного материала в текстильных изделиях;
- Для производства мягких подложек для бытовых ковровых покрытий, в особенности в США.

Хотя эластичный пенополиуретан может показаться типичным товаром широкого потребления, на самом деле он представляет собой техническое изделие с особыми эксплуатационными характеристиками, которые задаются благодаря запатентованным разработкам и производственным процессам. Многие производители эластичного пенополиуретана вырабатывают более 150 различных видов продукции из эластичного пенополиуретана, каждый из которых обладает специфическими свойствами, обусловленными конкретной сферой применения данного вида (Luedeka, 2011).

При изготовлении эластичного пенополиуретана используются два основных метода производства: заливку в блоки и литье в готовые пресс-формы. Каждый метод требует особого состава компонентов продукта, и сырьевые материалы, помимо прочего, могут включать полиол, диизоцианат, поверхностно-активные вещества, активаторы химических реакций, дополнительные вспениватели, а также многочисленные необязательные специализированные добавки, в том числе, в некоторых случаях, огнезащитные соединения. (Luedeka, 2011). До начала или во время процесса изготовления блочного и формованного полиуретана может потребоваться корректировка рецептуры в зависимости от внешних производственных условий, к числу которых относятся влажность, температура и атмосферное давление. Такая корректировка может заключаться в вариациях количественного содержания и (или) изменениях в выборе различных сырьевых материалов, в том числе добавок, например, факультативных антипиренов (Luedeka, 2011).

Региональные различия в характере применения ПБДЭ, относящихся к СОЗ (см. раздел 2), особенно значимы при принятии решения о способах переработки пенополиуретана в регионах,



которые могли подвергнуться большому или меньшему загрязнению такими веществами в результате импорта/ экспорта транспортных средств или мебели.

## **6.1 Повторное использование мебели и матрасов, возможно загрязненных относящимися к СОЗ ПБДЭ**

С точки зрения иерархии технологий обращения с отходами, повторное использование мебели, изготовленной с добавлением эластичного пенополиуретана (например, диванов, стульев или кресел), матрасов или текстильных изделий является предпочтительным вариантом обращения с продукцией, срок эксплуатации которой исчерпан. Многократное использование позволяет сэкономить энергию на производство новой продукции и избежать нанесения вреда окружающей среде в связи с добычей нового сырья.

США и Великобритания являются рынками сбыта мебели, изготовленной с соблюдением стандартов огнестойкости в то время, когда производился п-пента-БДЭ (до 2005 г.). Для обработки матрасов, предназначенных для частных потребителей, п-пента-БДЭ применялся в незначительном количестве, однако матрасы, поставлявшиеся в государственные или общественные учреждения, например, в тюрьмы, казармы и больницы, в основном обрабатывались данным антипиреном (Luedeka, 2011).

В большинстве других стран для производства мебели не было утверждено каких-либо особых стандартов огнестойкости. Можно считать, что в этих странах или регионах, таким образом, пенополиуретан, загрязненный п-пента-БДЭ, отсутствует или присутствует в незначительном количестве, в зависимости от объема импорта соответствующих изделий из стран, в которых действуют стандарты, регулирующие огнезащитные свойства данных изделий (например, США и Великобритании). Таким образом, сектор повторного использования мебели и матрасов в большинстве стран, скорее всего, не подвергся (значительному) влиянию относящихся к СОЗ ПБДЭ. При этом если в диване, подушке или транспортном средстве содержится п-пента-БДЭ, воздействие загрязняющих ПБДЭ на человека может оказаться существенным (Betts, 2003; Imm et al., 2009; Stapleton et al., 2008; UNEP, 2010b), и в этом случае повторное использование изделия не рекомендуется.

Предположение о том, что большинство регионов подверглись меньшему влиянию данных загрязнителей в связи с нерелевантностью рассматриваемой сферы применения относящихся к СОЗ ПБДЭ для данного региона, в определенной степени нуждается в подтверждении, прежде чем неконтролируемое повторное использование мебели и матрасов сможет быть причислено к наилучшим видам природоохранной деятельности. От сторон, которые выявят значимое содержание п-пента-БДЭ в таких изделиях (эксплуатируемых в настоящее время или подержанных), может потребоваться оценка необходимости в том, чтобы предпринять дальнейшие шаги с целью защиты здоровья человека.

## **6.2 Обработка и переработка пенополиуретана**

Переработка изделий, содержащих пенополиуретан, например, мебели, транспортных средств, матрасов и строительных материалов, требует учета таких факторов регулирования, как страна происхождения и год выпуска изделия. Само использование антипиренов, а также тип антипирена сильно зависят от региона и от страны. Принято считать, что более 90% п-пента-БДЭ в пенополиуретане, а также большая часть гексабромдифенила была произведена/ использовалась в США, а в настоящее время либо захоронена на полигонах/ свалках, либо

находится в эксплуатации, или переработана в подложку для ковровых покрытий (UNEP, 2010a, 2010b). Таким образом, можно также допустить, что в большинстве других стран и регионов (за пределами США/ Северной Америки) применяющийся в настоящее время пенополиуретан содержит малое количество п-пента-БДЭ и гексабромдифенила.

Проводившийся некоторое время назад в США мониторинг содержания относящихся к СОЗ ПБДЭ в детских товарах, тем не менее, показал, что в данной продукции тоже могут содержаться загрязнители (Stapleton et al., 2011). На всех предприятиях, занимающихся переработкой или обработкой вышедшего из употребления пенополиуретана, необходимо принимать во внимание общие принципы наилучших доступных технологий и наилучших видов природоохранной деятельности (приложение 1). Учитывая, что у работников завода по переработке пенополиуретана в США был выявлен высокий уровень п-пента-БДЭ в крови (Stapleton et al., 2008), на предприятиях, занимающихся обработкой пенополиуретана, содержащего п-пента-БДЭ, целесообразно предусмотреть определенные правила техники безопасности, например, уничтожение загрязненного пенополиуретана перед обработкой пеноматериалов и использование подходящих средств индивидуальной защиты и защитного снаряжения.

Эластичный пенополиуретан, который на какую-либо часть состоит из загрязненного ПБДЭ пеноматериала, может быть подвергнут скринингу на наличие брома (см. раздел 2.6) для отделения загрязненных компонентов. Подобная сепарация может быть проведена либо при сборе отходов, либо в пункте переработки пенополиуретана.

Несмотря на то, что сепарация полимеров, содержащих относящиеся к СОЗ ПБДЭ или бромированные антипирены, путем отделения загрязненных бромом пластиковых фракций для пластиковых отходов ЭЭО разработана в полном объеме (см. раздел 4), информация о возможности такой сепарации для бромсодержащих материалов, в том числе пенополиуретана, отсутствует. В случае крупных изделий из пенополиуретана, например, матрасов или мебели, могут быть применены те же методы скрининга, что и для пластиковых отходов ЭЭО, а именно рентгенофлуоресцентный анализ или масс-спектрометрия скользящего разряда при помощи портативного оборудования. Скрининговое исследование, которое, возможно, будет проведено при поддержке правительства, поможет выявить необходимость и целесообразность применения такого подхода в данной стране.

Если в стране отсутствуют условия для извлечения энергии или материалов термическими методами, материал, содержащий относящиеся к СОЗ ПБДЭ, может быть помещен на хранение (приложение 1) до того времени, когда появятся подходящие технологии переработки, или удален на организованный полигон для захоронения отходов, что является наименее предпочтительным вариантом (см. раздел 8 и приложение 3).

Решение об окончательном способе обработки незагрязненного пенополиуретана должно приниматься с учетом результатов оценки жизненного цикла. В зависимости от местных обстоятельств (доступного рынка, логистических факторов, производительности установок термической обработки), предпочтительным вариантом может стать рециклинг или обработка с целью извлечения энергии.

### 6.2.1 Склеивание измельченных пенополимеров: переработка пенополиуретана, содержащего снятый с производства п-пента-БДЭ

Склеивание измельченных пенополимеров представляет собой процесс, в ходе которого бывший в употреблении пенополиуретан измельчается на мелкие кусочки, которые затем склеиваются с помощью связующего агента – пенополиуретана полиола – для получения монолитного конечного продукта (USEPA, 1996). Основная сфера применения данного продукта

– производство мягкой подложки для ковровых покрытий (Eaves, 2004). Значительная часть полученной продукции находит применение в англо-говорящих странах, главным образом, в США, Великобритании и Австралии. В остальных странах мира мягкие подложки для ковровых покрытий пока еще практически не распространены (Luedeka, 2011). Измельченный и склеенный повторно пеноматериал также применяется для набивки сидений школьных автобусов (USEPA, 1996) и гимнастических матов в спортивных залах (Zia et al., 2007). Среди других способов рециклингового применения пеноматериалов, не подлежащих измельчению и повторному использованию для обновления матрасов или для изготовления мягкой подложки ковровых покрытий, - использование в качестве подстилок для домашних животных, набивки чучел животных и изоляционного материала (UNEP, 2010b). Результаты первого же исследования, проведенного в США (Stapleton et al., 2008), свидетельствовали о значимом воздействии ПБДЭ, относящихся к СОЗ, на работников, занятых в переработке пенополиуретана и специалистов по настилу ковровых покрытий; кроме того, существует очевидный риск дальнейшего воздействия данных СОЗ на потребителей.

### 6.2.2 Переработка матрасов для получения ресурсов

Как уже упоминалось в разделе 6.1, обработке огнезащитными составами, даже в тех странах, где действуют особые стандарты огнестойкости, подвергаются преимущественно матрасы, предназначенные для специализированных учреждений. Для получения общего представления о ПБДЭ, относящихся к СОЗ, и бромированных антипиренов может быть проведен мониторинг наличия брома/ ПБДЭ в таких специализированных источниках. В случае выявления в изделиях ПБДЭ, относящихся к СОЗ, можно исключить данные изделия из потока переработки или же провести их скрининг (например, методом рентгенофлуоресцентного анализа) и отделить фракцию загрязняющих веществ.

В отчете о регулировании рециклинга матрасов, подготовленном Международной ассоциацией производителей товаров для сна, обобщены ключевые вопросы, связанные с извлечением ресурсов при переработке матрасов (International Sleep Products Association, 2004):

- Показатели рентабельности рециклинга являются хорошо сбалансированными, и одна только стоимость ресурсов, извлеченных из материала для матрасов, не может покрыть издержки процесса удаления матраса. Нахождение устойчивого источника доходов для привлечения дополнительных средств в доход от переработки отходов пенополиуретана является ключом к успешному функционированию системы (денежные сборы с потребителей, розничных распространителей, производителей или органов муниципального управления, в размере «тарифа на утилизацию отходов», который бы взимался руководством мусорного полигона в том случае, если бы матрас вместо переработки был отправлен на полигон для отходов).
- Большое значение имеют расположение и безопасность пункта переработки, поскольку важно минимизировать затраты на транспортировку отходов в пункт, а также при продаже ресурсов, извлеченных из отходов, потенциальным заказчикам.
- Приведение утильсырья в коммерческий вид может быть сопряжено с трудностями, особенно в случае стального лома, безусловно являющегося наиболее ценным и легче всего извлекаемым ресурсом в том, что касается переработки матрасов.
- Для обеспечения рентабельной деятельности по демонтажу и разборке необходим постоянный объем продукции.
- Низкотехнологичная ручная разборка представляется более продуктивной, чем альтернативные способы демонтажа, предполагающие применение автоматизированных систем. Несмотря на то, что разрабатываются новые технологии, ручная разборка с привлечением низкоквалифицированной рабочей силы и использованием канцелярских ножей в качестве основного оборудования является в настоящее время предпочтительным методом. При этом, впрочем, остается потребность в капитальных вложениях в измельчение изделий, которые невозможно быстро разобрать вручную. Необходимое оборудование включает в себя магнитные

сепараторы, поршневые насосы, грузозахватные приспособления для манипулирования готовыми изделиями и ломом и т.д.

### 6.2.3 Повторное измельчение

В работе (Eaves, 2004) отмечается, что снижение объемов использования вторичных пеноматериалов для мягкой подложки ковровых покрытий в Северной Америке послужило толчком к внедрению инновационного технологического процесса, который позволяет производителям в некриогенных условиях измельчать обрезки пеноматериалов, являющихся отходами производства, в ультрадисперсный порошок, которым можно заменить приблизительно 10% первичных полимеров при производстве новых пеноматериалов. Рабочим необходимо принимать особые меры предосторожности для соблюдения техники безопасности при работе с полученным мелкодисперсным порошком (использовать респираторы против пыли). Утверждается, что в результате незначительной корректировки состава свойства получившегося пеноматериала не отличаются от характеристик первоначального пеноматериала. Прибыльность, в основном, обусловлена разницей между стоимостью продукта переработки и ценой на исходное химическое сырье (Eaves, 2004). Повторное измельчение, однако, к настоящему времени не нашло значительного применения в производстве пенополиуретана (Luedeka, 2011).

### 6.2.4 Химическая регенерация (гликолиз)

Химическая переработка пенополиуретана все еще находится на ранних стадиях разработки. Некоторые компании совершенствуют технологии вторичной обработки полиуретана: например, в Германии применяется термический гликолиз пенополиуретана (<http://www.rampf-ecosystems.de/en/home/>).

## 6.3 Маркировка изделий, произведенных из переработанного пенополиуретана

В случае переработки пенополиуретана, содержащего относящиеся к СОЗ ПБДЭ, необходимо предоставить гарантии того, что технологический процесс не окажет вредного воздействия на здоровье человека, как, например, в случае персонала, занятого в переработке пенополиуретана, и специалистов по настилу ковровых покрытий, работающих с покрытиями на основе переработанного путем измельчения и склеивания пенополиуретана (Stapleton et al., 2008). Кроме того, необходимо гарантировать отсутствие вредного воздействия на потребителей или незначительность такого воздействия. Наконец, необходимо обеспечить экологически обоснованное регулирование таких изделий по окончании срока их эксплуатации. Маркировка изделий, произведенных из загрязненных материалов, может стать предпосылкой для дальнейшего экологически обоснованного регулирования жизненного цикла продукции (см. «Руководство по маркировке продуктов или изделий, содержащих новые стойкие органические загрязнители или произведенные с использованием новых стойких органических загрязнителей: предварительные соображения»).

## 6.4 Прочие материалы, в которых могут обнаруживаться ПБДЭ, относящиеся к СОЗ

В прошлом ПБДЭ, относящиеся к СОЗ, в незначительном объеме также применялись в производстве следующих типов продукции:

- Текстильных изделий (например, нижнего слоя текстильных материалов, использовавшихся в салонах транспортных средств);

- Резинотехнических изделий (например, конвейерных лент);
- Защитных покрытий и лакокрасочных материалов.

Несмотря на то, что в отношении данных сфер применения загрязнителей не было разработано отдельных принципов наилучших доступных технологий и наилучших видов природоохранной деятельности, можно применить тот же базовый подход, которые описан для пенополиуретана:

- Проведение национального/ регионального исследования наличия ПБДЭ, относящихся к СОЗ, в данных секторах;
- Оценка деятельности по рециклингу данных материалов;
- Исключение отдельных загрязненных видов отходов из общего потока отходов, подлежащих переработке;
- Скрининг и сепарация (при помощи оборудования для выявления содержания брома) при переработке материалов;
- Переработка материальных потоков, не содержащих относящиеся к СОЗ ПБДЭ;
- Получение энергии из материалов, содержащих ПБДЭ, относящиеся к СОЗ (см. раздел 7).

Если перечисленные выше варианты в данной стране невыполнимы, загрязненный материал может быть помещен на хранение (см. приложение 1) до того времени, когда появятся подходящие технологии переработки, или удален на организованный полигон для захоронения отходов, что является наименее предпочтительным вариантом (см. раздел 8 и приложение 3).

## 7 Извлечение энергии или ресурсов из материалов, содержащих относящиеся к СОЗ ПБДЭ

В рамках представленных в этом документе руководящих указаний по применению наилучших доступных технологий и наилучших видов природоохранной деятельности невозможно описать каждую наилучшую доступную технологию и наилучший вид природоохранной деятельности для каждого отдельного технологического процесса термической обработки, поскольку на осмысленное описание принципов наилучших технологий для каждого процесса уйдет несколько сотен страниц. Подобные описания, впрочем, собраны в справочных документах по наилучшим доступным технологиям (BREF), разработанных для соответствующих производственных процессов (<http://eippcb.jrc.es/reference/>), и описаны в некотором объеме в руководстве по применению наилучших доступных технологий и наилучших видов природоохранной деятельности в рамках реализации Стокгольмской конвенции, особое внимание в котором уделяется снижению количества непреднамеренно произведенных СОЗ (Stockholm Convention, 2007). Также см. раздел 4.4 и раздел 5.3.1.

### 7.1 Общие замечания о термической обработке материалов, содержащих относящиеся к СОЗ ПБДЭ

#### 7.1.1 Удельная теплота сгорания материалов, содержащих относящиеся к СОЗ ПБДЭ, и содержание в них галогенов

ПБДЭ, относящиеся к СОЗ, по преимуществу используются в материалах, отличающихся высокой теплотворной способностью (пластиках, пенополиуретане, пенополистироле, текстильных изделиях). Главный способ извлечения ресурсов из таких материалов – использование тепловой энергии, содержащейся в материалах, и извлечение металлов, образующих комплексы с полимерами, содержащими загрязняющие ПБДЭ. Потенциальная энергетическая ценность полимеров – почти 40 МДж/кг, что соответствует 80 евро за килограмм (при 2 евро за гигаджоуль) (Tange and Drohmann, 2005).

В «Технических руководящих указаниях по идентификации и экологически обоснованному регулированию отходов пластика и их окончательному удалению» (Basel Convention, 2002) рекомендуется переработка полимеров, содержащих относящиеся к СОЗ ПБДЭ, с целью получения сырья и извлечение из них тепловой энергии. В руководстве утверждается следующее: «Пластиковые отходы, содержащие полибромдифениловые эфиры (ПБДЭ), следует удалить из потока отходов, подлежащих рециклингу с целью получения материалов, в связи с вероятностью выброса диоксинов и фуранов. Вместо этого такие пластиковые отходы следует обрабатывать в пунктах переработки для получения исходного сырья или в сжигать в контролируемых мусоросжигательных печах для извлечения энергии».

Термическая обработка отходов, содержащих относящиеся к СОЗ ПБДЭ (автомобильного шредерного остатка или пластика, получившегося в результате переработки отходов ЭЭО), представляет трудности для теплотехнических установок в связи с высоким содержанием галогенов. Для утилизации отходов с содержанием галогенов больше 1% в некоторых странах может потребоваться применение печей для сжигания опасных отходов.<sup>37</sup> При эксплуатации других установок для извлечения энергии или обработки отходов необходимо соблюдать особые меры предосторожности для предотвращения выброса непреднамеренно произведенных СОЗ.

---

<sup>37</sup> Сжигание смеси хлора, брома и металлов, обладающих каталитической активностью, например, меди, в установках другого типа сопряжено с риском выделения высоких уровней ПХДД/ ПХДФ, ПБДД/ПБДФ и смешанных полигалогенизированных дибензодиоксинов и дибензофуранов).



### 7.1.2 Мониторинг высвобождения ПБДД/ ПБДФ и полигалогенизированных дибензодиоксинов и дибензофуранов

Поскольку материалы, содержащие относящиеся к СОЗ ПБДЭ, обработаны огнезащитными веществами, их горючесть понижена. Пониженная воспламеняемость может привести к повышенному образованию продуктов неполного сгорания в установках, не снабженных оптимально эффективными камерами сгорания, в соответствии с принципами наилучших доступных технологий и наилучших видов природоохранной деятельности (Weber and Kuch, 2003). Материала, содержащие ПБДЭ, являются непосредственными предшественниками ПБДФ; в связи с этим образование более токсичного соединения, ПБДФ, также является определяющим фактором, подлежащим учету и оценке при проведении процессов получения тепловой энергии и уничтожения (Sakai et al., 2001; Weber and Kuch, 2003; WHO, 1998; Vehlow et al., 2002; UNEP, 2010b). В связи с тем, что в содержащих ПБДЭ материалах (например, пластиковых отходах ЭЭО, автомобильном шредерном остатке, пенополиуретане) выявляется значимый уровень хлора, наибольшую долю в образовании диоксиноподобных соединений могут составлять смешанные полибромированные и полихлорированные (полигалогенизированные) дибензо-*p*-диоксины и дибензофураны (Hunsinger et al., 2002, Zennegg et al., 2009). Таким образом, измерения содержания только ПХДД/ ПХДФ при проведении таких технологических процессов недостаточно, а результаты такого измерения не вполне достоверны.<sup>38</sup> Инструментальный анализ более 5000 родственных соединений (конгенеров) полигалогенизированных ДД и ДФ, а также нескольких сотен 2,3,7,8-замещенных конгенеров, впрочем, сложен и в настоящее время не может использоваться для измерения в токсических эквивалентах. Для решения дилеммы, связанной с инструментальным анализом содержания смешанных полигалогенизированных дибензодиоксинов и дибензофуранов, рекомендуется подтверждать результаты предлагаемого мониторинга при помощи общепринятых биоаналитических методов определения общей диоксиноподобной токсичности, например, CALUX, DR CALUX или EROD (Stockholm Convention, 2007). Возможность оценки сложных диоксиноподобных соединений при помощи данных методов была продемонстрирована в ходе нескольких практических исследований, например, при оценке предприятий по переработке электронных отходов (Yu et al., 2008).

### 7.1.3 Соображения по поводу коррозии, вызываемой бромом или бромоводородом (HBr)

Бром/ бромоводород (HBr) обладает высокой коррозионной способностью, в особенности в отношении металлов. Соответственно, при термической обработке большого количества бромсодержащих отходов следует учитывать коррозионное воздействие. Необходимо провести тщательное изучение хода технологического процесса и оценить экономическую выгоду и недостатки, в том числе затраты на техническое обслуживание и ремонт оборудования. Особое внимание с точки зрения экономической эффективности следует обратить на котельную секцию. Поскольку все галогены вызывают сильную коррозию, операторы установок, снабженных котлами, крайне неохотно соглашались сжигать большие количества отходов, содержащих бром (Rademakers et al., 2002).

### 7.1.4 Факторы, подлежащие учету при очистке дымовых газов от бромоводорода и брома

Независимо от технологии термической обработки, необходимо учитывать характер поведения брома в процессе обработки и характер отвода дымовых газов. В связи со сходством окислительно-восстановительного потенциала у брома и кислорода (см. таблицу 7-1), бром присутствует в дымовых газах частично в виде бромоводорода, а частично – в виде элементарного брома. Конкретное соотношение зависит, например, от уровня серы.

---

<sup>38</sup> Добавление брома может приводить к снижению уровня ПХДД/ ПХДФ, частично в результате бромирования хлорированных ароматических соединений.

Бромоводород (вместе с хлороводородом и другими кислыми газами) может быть удален при помощи стандартных методов очистки (сухого/ полусухого скруббирования щелочными сорбентами, скруббирования раствором NaOH и т.д.). Для удаления из дымового газа элементарного брома (и иода) применяется этап мокрого скруббирования с добавлением сульфида или гидросульфида.

**Таблица 7-1.** Окислительно-восстановительный потенциал галогенов, а также температура кипения/ плавления<sup>39</sup> галогенидов натрия и калия

	Фтор	Хлор	Бром	Иод
Температура кипения галогенидов калия, °C	1505	1500	1380	1330
Температура кипения галогенидов натрия, °C	1704	1465	1393	1304
Температура плавления галогенидов калия, °C	858	790	732	686
Температура плавления галогенидов натрия, °C	995	801	755	662
Окислительно-восстановительный потенциал (стандартный потенциал O <sub>2</sub> +1,23)	+2,87	+1.36	+1,09	+0,54

## 7.2 Получение энергии посредством сжигания материалов, содержащих относящиеся к СОЗ ПБДЭ, в установках для сжигания отходов

Основные наилучшие доступные технологии и наилучшие виды природоохранной деятельности для сжигания отходов описаны в Разделе V для категории источников (а) «Руководящих указаний и принципов наилучших доступных технологий и наилучших видов природоохранной деятельности в рамках реализации Стокгольмской конвенции» (Stockholm Convention, 2007). Более подробная информация приведена в справочном документе ЕС по наилучшим доступным технологиям для сжигания отходов (BREF) (European Commission, 2006)<sup>40</sup>.

В целом, измельченные отходы транспортного или электронного и электротехнического секторов не подходят для моносжигания (Moakly et al., 2010). Совместное сжигание таких тонкоизмельченных отходов может выполняться в разных типах установок для сжигания отходов, например, установках с движущейся колосниковой решеткой, установках с кипящим (псевдоожиженным) слоем и вращающихся печах.<sup>41</sup> Материалы с содержанием галогенов более 1% следует рассмотреть особо. Такие отходы подлежат удалению в установках для сжигания опасных отходов.<sup>42</sup> Для обработки данных отходов могут быть использованы соответствующие принципам наилучших доступных технологий и наилучших видов природоохранной деятельности установки для сжигания твердых бытовых отходов (ТБО) или печи для обжига цемента (см. ниже). Результаты предварительных исследований показали отсутствие

<sup>39</sup> База данных по опасным веществам GESTIS (Германия).

<sup>40</sup> [ftp://ftp.jrc.es/pub/eippcb/doc/wi\\_bref\\_0806.pdf](ftp://ftp.jrc.es/pub/eippcb/doc/wi_bref_0806.pdf)

<sup>41</sup> В работе (Mark, 1998) по результатам сравнения различных альтернатив (совместного сжигания с ТБО, совместного сжигания в печах для обжига цемента и совместного сжигания с опасными отходами) был сделан вывод о том, что совместное сжигание автомобильного шредерного остатка и ТБО является наиболее приемлемым способом.

<sup>42</sup> В Директиве ЕС о сжигании опасных отходов, например, постулируется требование повышать температуру в печи с 850°C до 1100°C в том случае, если совместному сжиганию подвергаются опасные отходы, содержащие более 1% галогенизированных органических веществ, в пересчете на содержание хлора (European Commission, 2000).

увеличения каких-либо из показателей выбросов в этом случае в сравнении со стандартными параметрами эксплуатации.

Малогабаритные и портативные установки для сжигания отходов, как правило, не могут использоваться для уничтожения отходов, содержащих СОЗ, что, в частности, обусловлено ограничениями, накладываемыми на стабильность функционирования оборудования, качество сгорания во вторичной камере и технологии очистки дымовых газов. Для обеспечения соответствия приведенным критериям и долгосрочного удержания выбросов непреднамеренно произведенных СОЗ на низком уровне в течение по меньшей мере нескольких месяцев целесообразно проводить непрерывный мониторинг содержания диоксинов/непреднамеренно произведенных СОЗ и соответствующих загрязнителей (Reinmann et al., 2010; Weber, 2007).

Как уже упоминалось выше, при сжигании отходов, содержащих ПБДЭ, относящиеся к СОЗ, или бромированные антипирены, необходимо принимать во внимание коррозию котельных секций (и других частей установок). Если содержание брома в совокупности отходов, подлежащих сжиганию, значительно ниже содержания хлора, то коррозия преимущественно вызывается хлором (Rademakers et al., 2002).

### 7.2.1 Совместное сжигание пластиковых отходов ЭЭО

Установки для сжигания отходов, применяющие наилучшие доступные технологии и функционирующие в соответствии с наилучшими видами природоохранной деятельности, могут быть использованы для совместного сжигания отходов, содержащих относящиеся к СОЗ ПБДЭ, без значительных выбросов ПБДЭ, относящихся к СОЗ, или непреднамеренно произведенных бромированных или хлорированных диоксинов (Sakai et al., 2001; Vehlow et al., 2002; Weber and Kuch, 2003). Необходимо особо подчеркнуть, впрочем, что при сгорании твердого топлива из отходов ЭЭО и смеси ТБО (Hunsinger et al., 2002) могут выделяться ПХДД/ ПХДФ в чрезвычайно большом количестве. Образование смешанных полигалогенизированных дибензофуранов и дибензодиоксинов в связи с выделением ПХДД/ ПХДФ в значительной мере зависит от соотношения содержания хлора и брома в смеси отходов<sup>43</sup> (Hunsinger, 2010). Смешанные полигалогенизированные дибензодиоксины и дибензофураны и ПХДД/ ПХДФ успешно уничтожались в ходе контролируемого сгорания дымовых газов во вторичной камере сгорания, в результате чего наблюдалось умеренное содержание ПХДД/ ПХДФ и их полигалогенизированных аналогов в сыром, неочищенном газе и низкий уровень данных веществ в очищенном газе (Nordic Council of Ministers, 2005; Tange and Drohmann, 2005; Vehlow et al., 2002). Проведенные испытания показали, что сжигание отходов с применением наилучших доступных технологий может снизить потенциально вредные последствия от сжигания полимеров, содержащих относящиеся к СОЗ ПБДЭ, и что выделяющиеся при сжигании большие количества непреднамеренно произведенных бромированных, хлорированных и смешанных диоксинов могут быть уничтожены в камере вторичного сгорания, эксплуатируемой в соответствии с принципами наилучших доступных технологий (при обеспечении достаточной продолжительности обработки (не менее 2 секунд), поддержании температуры на уровне выше >850°C и обеспечении турбулентности (Stockholm Convention, 2007; European Commission, 2006).

---

<sup>43</sup> В ходе другой серии экспериментов, проводившихся с использованием данной установки для сжигания отходов, добавление 0,06% брома к подводимому топливу (содержавшему приблизительно 0,6% хлора) привело к выявлению высокого уровня полигалогенизированных диоксинов и фуранов (преимущественно моно- и дибромо-полихлорированных диоксинов и фуранов) в первичной камере сгорания – более высокого, чем уровень ПХДД/ ПХДФ. Полученный результат свидетельствует о том, что несмотря на высокое соотношение Cl/Br (>10) во вводимом топливе, при сгорании могут выделяться значительные количества смешанных полигалогенизированных загрязнителей (Hunsinger et al., 2001).

## 7.2.2 Совместное сжигание автомобильного шредерного остатка в установках для сжигания твердых бытовых отходов

Масштабные испытания совместного сжигания данного вида отходов в установках для сжигания ТБО проводились с целью оценки технической возможности подобного процесса и его воздействия на окружающую среду. В ходе исследования, проводившегося в Швейцарии, совместному сжиганию подверглось до 10% шредерного остатка (Jody et al., 2006; Keller, 1999; Disler and Keller, 1997), а в рамках исследования в Швеции – до 20% (Aae Redin et al., 2001). По результатам исследования был сделан вывод о соответствии данного способа совместного сжигания установленным нормам уровня воздействия на окружающую среду. В настоящее время весь автомобильный шредерный остаток в Швейцарии (55000 тонн/год) обрабатывается в установках для сжигания ТБО (при стоимости 150 евро за тонну). Полученные данные указывают на то, что уровень выбросов дымовых газов не подвергся существенным изменениям по сравнению с показателями сгорания ТБО.

В ходе другого исследования, предусматривавшего совместное сжигание автомобильного шредерного остатка (31%), содержание цинка, свинца, олова, сурьмы, меди и кобальта в летучей золе и котельном шлаке существенно повысилось: содержание свинца и цинка стало, соответственно, почти в 18 и 16 раз выше среднего исходного уровня (Mark et al., 1998). В Швейцарии на некоторых мусоросжигательных заводах золу подвергают выщелачиванию промыванием в кислой среде для удаления тяжелых металлов.

Хотя совместное сжигание автомобильного шредерного остатка и ТБО в рамках описанного выше исследования выполнялось в установках с движущейся колосниковой решеткой, автомобильный шредерный остаток также может быть подвергнут совместному сжиганию в других видах мусоросжигательных печей, например, установках с кипящим слоем (Vandecasteele, 2011).

Во многих странах зольный остаток из установок для сжигания ТБО используется в качестве вторичного сырья в строительстве (Arickx et al., 2007; Vandecasteele et al., 2007). В связи с этим представляется важным контролировать наличие токсических компонентов (тяжелых металлов, СО<sub>3</sub>) в зольном остатке в ходе совместного сжигания автомобильного шредерного остатка (Vermeulen et al., 2011) и принимать меры по предотвращению загрязнения окружающей среды при дальнейшем использовании и депонировании зольного остатка. Необходимо законодательное ограничение допустимых пределов содержания токсических компонентов в зольном остатке в целях ограничения количества автомобильного шредерного остатка, который действительно может быть подвергнут совместному сжиганию (Moakly et al., 2010).

## 7.2.3 Извлечение металлов

Даже после измельчения фракции автомобильного шредерного остатка и отходов ЭЭО содержат значительное количество тяжелых металлов. Принципы наилучших доступных технологий и наилучших видов природоохранной деятельности применяются для извлечения металлов из тяжелой фракции автомобильного шредерного остатка в плавильных установках для металлов (см. ниже), а легкая фракция автомобильного шредерного остатка подлежит сжиганию или, в случае отсутствия приемлемых технологий термической обработки, складированию на специализированных полигонах (см. раздел 8 и приложение 3). Практически на всех установках для сжигания отходов тяжелые металлы, за исключением некоторых крупных металлических частей, не могут быть извлечены из зольного остатка. В настоящее время в Швейцарии проводятся перспективные контрольные испытания по извлечению металлов из зольного остатка в полном объеме (ZAR, 2011).

## 7.2.4 Соображения, касающиеся развивающихся стран

Учитывая высокую способность пластиковых отходов ЭЭО и автомобильного шредерного остатка к непреднамеренному образованию стойких органических загрязнителей, при сжигании

материалов, содержащих относящиеся к СОЗ ПБДЭ, следует использовать только те установки для сжигания отходов, в которых применяются наилучшие доступные технологии; однако в развивающихся странах такие мусоросжигательные установки практически отсутствуют. Вероятность постройки таких установок в развивающихся странах или странах с переходной экономикой крайне мала, если учесть высокую конечную стоимость обработки отходов (обычно больше 100 долларов за тонну) (Brunner and Fellner, 2007; World Bank, 2005). Соответственно, сжигание отходов в специальных установках едва ли является осуществимым вариантом (по крайней мере, сейчас) обработки отходов, содержащих относящиеся к СОЗ ПБДЭ, в развивающихся странах.

### 7.3 Печи для обжига цемента

Некоторые ключевые соображения касательно применения принципов наилучших доступных технологий и наилучших видов природоохранной деятельности при использовании цементных печей описаны в Разделе V для категории источников (2b) «Руководящих указаний и принципов наилучших доступных технологий и наилучших видов природоохранной деятельности в рамках реализации Стокгольмской конвенции» (Stockholm Convention, 2007). Более подробная информация приведена в справочном документе ЕС по наилучшим доступным технологиям для сжигания отходов (BREF) (European Commission, 2010)<sup>44</sup>. В данном разделе приводятся конкретные соображения, касающиеся обработки материалов, содержащих ПБДЭ, относящиеся к СОЗ.

Популярность цементных печей для регулирования отходов увеличивается, как в промышленно развитых, так и в развивающихся странах (Holcim and GTZ, 2006; Reijnders, 2007). В них также частично обрабатываются основные материалы, содержащие относящиеся к СОЗ ПБДЭ, такие как пластиковые отходы ЭЭО, автомобильный шредерный остаток, а также другие материалы, содержащие бромированные загрязнители/ бромированные антипирены.

В руководстве по применению наилучших доступных технологий и наилучших видов природоохранной деятельности в рамках реализации Стокгольмской конвенции (Stockholm Convention, 2007) «электронные отходы» включены в список «отходов, не рекомендуемых к обработке на цементных заводах». Далее этот тезис раскрывается более подробно:

Электронные отходы состоят из компьютеров и комплектующих, электронных товаров для развлечения, электронных средств связи, игрушек, а также крупной бытовой техники, например, устройств для кухни, или медицинской аппаратуры. Оценка среднего состава показывает, что электронные отходы, с одной стороны, содержат вещества, представляющие потенциальную опасность для здоровья человека и окружающей среды, например, хлор, бром, фосфор, кадмий, никель, ртуть, ПХД и бромированные антипирены в определенных концентрациях, которые часто превышают пороговые допустимые значения. С другой стороны, крайне высокое содержание редко встречающихся драгоценных металлов в электронных отходах обуславливает необходимость предпринять все возможные усилия для переработки таких отходов. Перспективным вариантом может стать совместная обработка пластиковых компонентов электронных отходов, однако данный способ требует предварительного демонтажа оборудования и разделения на фракции (цитируется по Holcim and GTZ 2006).

(Stockholm Convention, 2007)

Приведенный текст дает представление о заинтересованности производства в использовании цементных печей в качестве возможного источника энергии, извлеченной из полимерных отходов ЭЭО, содержащих ПБДЭ, относящиеся к СОЗ (Tange and Drohmann, 2005).

---

<sup>44</sup> [ftp://ftp.jrc.es/pub/eippcb/doc/clm\\_bref\\_0510.pdf](ftp://ftp.jrc.es/pub/eippcb/doc/clm_bref_0510.pdf)

Автомобильный шредерный остаток (и другие отходы, содержащие ПБДЭ) также представляет собой возможный источник альтернативного топлива минерального сырья для производства цемента, поскольку около 50% от общей массы автомобильного шредерного остатка составляют горючие материалы, например, пластик или каучук, а еще 40% приходится на силикаты, кальций, алюминий и железо (Boughton, 2007; Vermeulen, 2011). Если топливо для цементной печи наполовину состоит из автомобильного шредерного остатка (т.е. не представляет собой обычную смесь природного топлива), отмечается серьезное ухудшение качества клинкера (Gendebien et al., 2003). В таких случаях концентрация хлора, свинца, кадмия, меди и цинка в клинкере увеличивалась в 10 раз или больше (Gendebien et al., 2003); а содержание в клинкере хлора, кадмия, меди, свинца и цинка не соответствовало принятым в Швейцарии техническим требованиям. Другие проблемы, связанные с добавлением автомобильного шредерного остатка в топливо для цементных печей, включают в себя увеличение образования золы, засорение инжектора, ртутные испарения, а также повышение содержания опасных веществ в пыли цементных печей (Reijnders, 2007; Fink, 1999). В целом, прежде чем использовать автомобильный шредерный остаток в больших количествах в качестве топливозаменителя для цементных печей, необходимы улучшение качества и очистка данного вида отходов (Vermeulen, 2011).

К сожалению, в опубликованных источниках отсутствуют данные о мониторинге выбросов ПБДЭ, относящихся к СО<sub>3</sub>, и ПБДД/ ПБДФ при совместном сжигании материалов, содержащих данные загрязнители. В связи с этим невозможно с уверенностью судить о продуктивности сжигания содержащих ПБДЭ отходов в цементных печах, в частности, потому, что точка подачи топлива расположена на входном конце печи, где температура ниже. Эффективность разрушения ПБДЭ, относящихся к СО<sub>3</sub>, в отходах в значительной степени будет зависеть от системы подачи топлива в печь. Стабильные молекулы (а также предшественники диоксинов), например, ПХД или относящиеся к СО<sub>3</sub> пестициды, должны подаваться в «горячий конец» печи, температура пламени в котором достигает 2000° С, при этом продолжительность обработки материала при температурах выше 1100° С должна составлять более 2 секунд, чтобы обеспечить высокую эффективность уничтожения загрязнителей. Такая обработка также позволяет уничтожить ПБДЭ, относящиеся к СО<sub>3</sub>, во вторичном топливе и уменьшить образование ПБДД/ ПБДФ в данной точке подачи топлива. Отходы, содержащие ПБДЭ (например, пластиковые детали ЭО, автомобильный/ транспортный шредерный остаток, пенополиуретан из мебели, изоляционных материалов или матрасов), впрочем, представляют собой твердые фракции, подавать которые в «горячий конец» печи затруднительно. Такого рода твердые отходы обычно подаются в более «холодный» конец печи, температура пламени в котором находится на уровне 700°С – 1000°С, а продолжительность обработки существенно зависит от конфигурации данной цементной печи (Waltisberg, 2010).

Таким образом, ситуация, сложившаяся с приемом и обработкой содержащих ПБДЭ или бромированные антипирены отходов в цементных печах, требует тщательной оценки, ориентированной на имеющиеся в каждом отдельном случае условия и включающей в себя анализ систем подачи топлива, температуры, времени обработки, показателей эффективности уничтожения ПБДЭ, относящихся к СО<sub>3</sub> (в частности, если топливо подается на входе устройства), а также выбросов, связанных с обработкой загрязнителей. Перед освоением практики удаления в цементной печи каких-либо отходов, содержащих СО<sub>3</sub>, необходимо провести надлежащим образом сконфигурированное пробное сжигание, а также установить эффективность уничтожения загрязнителей, что предполагает также анализ всех выбросов технологического процесса, как непосредственно от сгорания опасных отходов, так и выбросы байпасных трубопроводов.

Еще одно важное соображение, касающееся обработки в цементных печах отходов, содержащих ПБДЭ, относящиеся к СО<sub>3</sub>, или бромированные антипирены, заключается в реактивности с галогенами, содержащимися в поступающих материалах, особенно в отношении соответствующих принципам наилучших доступных технологий цементных печей с системой предварительного подогрева. Для печей с системой предварительного подогрева (снабженных или не снабженных устройством предварительной кальцинации) – основного типа печей, рассматриваемого в руководящих указаниях Стокгольмской конвенции в качестве



допустимого варианта обработки отходов (Stockholm Convention, 2007) – общее содержание хлора в совокупности поступающих материалов (сырье, топливе и других материалах, в том числе в отходах) в среднем должно оставаться ниже 0,03% (от общей массы поступающих материалов в пересчете на массу клинкера), иначе может произойти засорение печи (Waltisberg, 2010). Хлориды, поступающие в цементные печи, накапливаются внутри камеры (рядом с зоной впуска), что приводит к повышению содержания хлора в горячей сырьевой муке (сырьевой муке, поступающей в печь) внутри зоны впуска до 2%. Вещество циркулирует внутри системы и может иметь негативное воздействие на функционирование печи путем засорения низкотемпературных участков в зоне впуска и циклонах более низких ступеней (Waltisberg, 2010).

Поскольку уровень выбросов ПХДД/ ПХДФ в цементных печах с системой предварительного подогрева обычно значительно ниже 0,1 нг ТЕQ/нм<sup>3</sup> (Karstensen et al., 2006), однако уровень содержания хлора при этом высок, уровень выбросов в (длинных) печах сухого и мокрого процесса может существенно превышать 1 нг ТЕQ/нм<sup>3</sup>. Имеются сведения, что уровень выбросов может достигать 136 нг ТЕQ/нм<sup>3</sup> (Stockholm Convention, 2007; Karstensen, 2008).

Характер поведения брома в цементных печах и, соответственно, выбросы непреднамеренно произведенных СОЗ/ побочных продуктов или элементарного брома к настоящему времени не изучены и не описывались (UNEP, 2010b). Поскольку бром и хлор обладают сходными физико-химическими свойствами (например, температура кипения калиевой соли (см. Таблицу 7-1) сходна для КВг и КСl), определяющими абсорбцию/ десорбцию и, соответственно, характер аккумуляции галогена в цементной печи, ожидается, что характеристики брома в цементной печи не будут отличаться от характеристик хлора.

При увеличении количества брома, поступающего в печи в составе фракций отходов, содержащих ПБДЭ, относящиеся к СОЗ, и другие бромированные антипирены, необходимо учесть и оценить риск увеличения степени засорения цементных печей, снабженных системой предварительного подогрева, и риск возможного образования бромированных и смешанных полигалогенизированных дибензодиоксинов и дибензофуранов и других бромсодержащих органических соединений в печах всех типов (в особенности в длинных печах сухого процесса и печах мокрого процесса).

Варианты и ограничения процесса уничтожения отходов, содержащих относящиеся к СОЗ ПБДЭ (например, отходов ЭЭО, автомобильного/ транспортного остатка, пенополиуретана из мебели, изоляционного материала или матрасов), в цементных печах требуют обстоятельного анализа каждой конкретной печи, по результатам которого можно будет определить варианты и ограничения, существующие в отношении извлечения энергии из материалов, содержащих бромированные загрязнители, в печах такого типа. Данный анализ должен включать всесторонний мониторинг высвобождения ПБДЭ и других непреднамеренно произведенных бромированных и смешанных полигалогенизированных токсических веществ, в том числе ПБДД/ ПБДФ и полигалогенизированных дибензодиоксинов и дибензофуранов. С учетом того, что аккумуляция хлора в цементной печи может происходить в течение нескольких недель, оценку преобразований бромсодержащих материалов в соответствующие выбросы СОЗ оптимальнее всего проводить в рамках долгосрочного мониторинга (Reinmann et al., 2010).

### 7.3.1 Соображения, касающиеся развивающихся стран

Цементные печи приобретают все большую распространенность в развивающихся странах и странах с переходной экономикой в качестве способа утилизации отходов для получения ресурсов и энергии (Holcim and GTZ, 2006).<sup>45</sup> Продолжается эксплуатация установок для уничтожения нефтепродуктов, загрязненных ПХД. В рамках некоторых контрольных испытаний они также применялись для уничтожения запасов пестицидов (Karstensen et al., 2006).

---

<sup>45</sup> <http://www.coprochem.com/>

Поскольку результаты исследований целесообразности уничтожения отходов, содержащих ПБДЭ или бромированные антипирены, в цементных печах до сих пор не опубликованы (уничтожения ПБДЭ, относящихся к СОЗ, и ПБДД/ ПБДФ), окончательные рекомендации в настоящее время не могут быть предоставлены, даже в отношении соответствующих принципу наилучших доступных технологий цементных печей сухого процесса.

Для длинных печей сухого процесса, снабженных системой предварительного подогрева и системой предварительной кальцинации, а также для печей мокрого процесса известен потенциал образования и высвобождения ПХДД/ ПХДФ, особенно для тех случаев, когда в цементные печи подается (альтернативное) топливо/ сырье с высоким содержанием хлора. Соответственно, эти два типа печей не соответствуют принципам наилучших доступных технологий и не рекомендуются для уничтожения материалов, содержащих загрязняющие ПБДЭ, или извлечения из них энергии.

Обработку такого типа отходов следует осуществлять только в соответствующих принципам наилучших доступных технологий и наилучших видов природоохранной деятельности цементных печах, снабженных системой многоэтапного предварительного нагревания и предварительной кальцинации, которые уже функционируют с соблюдением утвержденных параметров/ на основании лицензий (Holcim and GTZ, 2006).

Перед освоением практики удаления в цементной печи каких-либо отходов, содержащих относящиеся к СОЗ ПБДЭ, необходимо всегда проводить надлежащим образом сконфигурированное пробное сжигание, а также устанавливать эффективность уничтожения загрязнителей в печи, что предполагает также анализ всех выбросов технологического процесса (а также забор проб на определение содержания ПБДЭ и полигалогенизированных ДД и ДФ), как непосредственно от сгорания опасных отходов, так и выбросы байпасных трубопроводов, а также измерение концентрации загрязнителей в клинкере и пылевидных отходах цементных печей. Контроль стандартной практики уничтожения материалов, содержащих относящиеся к СОЗ ПБДЭ, может осуществляться путем долгосрочного мониторинга содержания непреднамеренно произведенных СОЗ или ПБДД/ ПБДФ в выбросах дымовых газов (Reinmann et al., 2010).

## **7.4 Плавильные системы**

Результаты проводившегося в Японии исследования системы прямой плавки (технологии газификации в печи шахтного типа и плавки) свидетельствуют о пригодности данной технологии для переработки автомобильного шредерного остатка, поскольку указывают на эффективное разложение бромированных антипиренов и полибромированных диоксинов (Sakai et al., 2001). Для того чтобы данная технология могла быть признана соответствующей принципам наилучших доступных технологий и наилучших видов природоохранной деятельности для извлечения энергии из содержащих ПБДЭ материалов, впрочем, необходимы документально оформленные результаты долгосрочной эксплуатации оборудования по этой технологии.

## **7.5 Пиролиз и газификация материалов, содержащих ПБДЭ, относящиеся к СОЗ**

Согласно наиболее упрощенному определению, пиролизом называется деструкция полимеров под действием умеренных – высоких температур при отсутствии кислорода для получения пригодных для реализации продуктов (например, топлива, нефтепродуктов или активированного угля). Благодаря пиролизу, методом термического и каталитического крекинга отходы пластика могут быть обращены в топливо, мономеры и другие ценные материалы (Tange and Drohmann, 2005; Scheirs and Kaminsky, 2006). Данный метод может быть применен для преобразования как термопластичного, так и термореактивного пластика в топливо и химические соединения. Кроме того, метод позволяет обрабатывать смешанные, не подвергавшиеся промыванию пластиковые отходы (Scheirs and Kaminsky, 2006).

С учетом результатов лабораторного термолитиза, впрочем, можно ожидать повышенного содержания ПБДД/ ПБДФ в продуктах пиролиза в том случае, если перерабатываемые отходы содержат ПБДЭ, относящиеся к СОЗ (Ebert and Bahadir, 2003; Weber and Kuch, 2003). Таким образом, при переработке загрязненных отходов для получения исходного сырья путем пиролиза/ газификации проблему может представлять образование ПБДД/ ПБДФ. Также необходимо учитывать возможность образования смешанных полигалогенизированных ДД и ДФ (Weber and Kuch, 2003; Weber and Sakurai, 2001).

Кроме того, поскольку пиролиз и газификация представляют собой термические процессы, происходящие в восстановительных газовых средах, могут иметь место процессы дебромирования и дехлорирования. Это может привести, например, к выбросам большого количества ПХДД/ ПХДФ в результате пиролиза автомобильных шредерных отходов с высоким содержанием хлора (Weber and Sakurai, 2001). В ходе пиролиза/ газификации происходит значительное дебромирование дека-БДЭ до ПБДЭ, отличающихся более низкой степенью бромирования (в том числе ПБДЭ, относящихся к СОЗ) (Hall and Williams, 2008). Соответственно, при проведении любого процесса пиролиза и газификации необходимо учитывать возможное дебромирование дека-БДЭ до ПБДЭ, относящихся к СОЗ, и оценивать данные преобразования в перспективе возможной переработки материалов, содержащих ПБДЭ (п-пента-БДЭ, п-окта-БДЭ и п-дека-БДЭ), для получения исходного сырья. Также необходимо принимать во внимание и оценивать образование ПБДФ, имеющее место при термической деструкции материалов, содержащих п-пента-БДЭ, п-окта-БДЭ и п-дека-БДЭ, в ходе их переработки для получения исходного сырья.

Еще одна проблема, которую необходимо учитывать, - содержание галогенов в конечных нефтепродуктах. Пиролизное масло может быть использовано в качестве топлива с допустимой коррозионной активностью только в том случае, если содержание хлора или брома в нем составляет менее 50 миллионных долей.

В настоящее время пиролиз и газификация не могут считаться наилучшими доступными технологиями или наилучшими видами природоохранной деятельности для обработки материалов, содержащих относящиеся к СОЗ ПБДЭ, во всяком случае, до тех пор, пока не получено результатов длительного полномасштабного применения данных технологий, свидетельствующих о получении продуктов и потоков продуктов, которые могут считаться экологически чистыми.

Возможный вариант применения пиролиза заключается в обработке материалов, содержащих относящиеся к СОЗ ПБДЭ/ бромированные антипирены, для получения брома (см. приложение 4).

### 7.5.1 Соображения, касающиеся развивающихся стран

В настоящее время технологии пиролиза или газификации не могут быть рекомендованы для обработки материалов, содержащих ПБДЭ, относящиеся к СОЗ, в развивающихся странах или странах с переходной экономикой в связи с отсутствием данных даже из промышленно развитых стран о долгосрочном применении данных технологий для переработки отходов в полном объеме. Поскольку большинство проектов пиролизных установок в промышленно развитых странах были признаны неуспешными или свернуты по причинам технического или финансового характера (Gleis, 2011), (в настоящее время) развивающимся странам может быть рекомендовано преследовать цель введения в эксплуатацию полномасштабных установок для пиролиза отходов.

## 7.6 Металлообрабатывающие предприятия

Некоторые материалы, содержащие ПБДЭ, относящиеся к СОЗ, в конце концов попадают на металлообрабатывающие или медеплавильные предприятия полного цикла и другие

металлургические заводы или обрабатываются там специально. На этих предприятиях осуществляется рекуперация металлов из печатных плат, кабелей и других полимерных материалов, представляющих собой отходы ЭЭО, в которых пластиковые детали плотно соединены с металлами, подлежащими извлечению. В большинстве случаев такие материалы смешаны с другими первичными (рудным концентратом, анодным шламом и т.п.) или вторичными материалами (например, катализаторами, промышленными отходами). Имеются сообщения о выбросах ПБДЭ, относящихся к СОЗ, из дуговых плавильных печей, агломерационных установок и предприятий по выплавке алюминия, что свидетельствует о том, что на данных предприятиях обрабатываются материалы, содержащие относящиеся к СОЗ ПБДЭ (UNEP, 2010b). Основным источником данных выбросов, своре всего, является процесс рекуперации материалов из транспортных средств с отработанным ресурсом или отходов электронного оборудования (UNEP, 2010b).

В отношении материалов, содержащих ПХД, следует оценить эффективность различных вариантов термической обработки для уничтожения материалов, содержащих относящиеся к СОЗ ПБДЭ. Также необходимо учесть возможность образования и высвобождения хлорированных, бромированных и смешанных полигалогенизированных диоксинов и фуранов (Weber and Kuch, 2003; Weber, 2007; UNEP, 2010b).

Результаты недавних исследований показали, что выбросы ПБДЭ, относящихся к СОЗ,<sup>46</sup> полибромированных диоксинов и фуранов (ПБДД/ ПБДФ) и бромированных-хлорированных (смешанных полигалогенизированных) диоксинов и фуранов с металлообрабатывающих предприятий также свидетельствуют об использовании данными предприятиями материалов, содержащих относящиеся к СОЗ ПБДЭ (Du et al., 2010a, 2010b; Odabasi et al., 2009; Wang et al., 2010). Несмотря на отсутствие документального подтверждения использования таких материалов в качестве сырья,<sup>47</sup> выявленные выбросы недвусмысленно указывают на факт переработки отходов, содержащих ПБДЭ, на металлообрабатывающем оборудовании, что и привело к таким выбросам.

На данный момент возможность заключить об эффективности и экологическом воздействии описанных процессов получения энергии и ресурсов из изделий, содержащих относящиеся к СОЗ ПБДЭ, представляется ограниченной. До окончательных выводов о наилучших доступных технологиях и наилучших видах природоохранной деятельности при обработке материалов, содержащих относящиеся к СОЗ ПБДЭ, на металлообрабатывающих предприятиях необходима дополнительная оценка указанных технологических процессов.

### 7.6.1 Печи для выплавки меди и медеплавильные предприятия полного цикла

В Разделе V (Категория источников (D)), «Термические процессы в металлургической промышленности», «Указаний и руководящих принципов по категориям источников» Стокгольмской конвенции (Stockholm Convention, 2007) описаны некоторые ключевые вопросы, связанные с применением наилучших доступных технологий и наилучших принципов природоохранной деятельности при производстве вторичной меди. В частности, в том документе рассматриваются наилучшие доступные технологии и наилучшие виды природоохранной деятельности для уменьшения выбросов непреднамеренно произведенных СОЗ. Технические подробности наилучших доступных технологий и наилучших видов природоохранной деятельности описаны в справочном документе о наилучших доступных

---

<sup>46</sup> Поскольку термические процессы могут приводить к дебромированию дека-БДЭ до ПБДЭ, отличающихся более низкой степенью бромирования, параметры выбросов ПБДЭ, выявленные в данных исследованиях, не позволяют точно оценить действительное количество п-пента-БДЭ и п-окта-БДЭ, использованное в качестве сырья для технологического процесса. Эффективность разрушения ПБДЭ и приемлемость такого способа обработки загрязненных материалов также не поддаются оценке при отсутствии точных данных о содержании бромированных соединений в исходном сырье (UNEP, 2010b).

<sup>47</sup> Некоторые сведения о сырьевом материале приводятся в качестве дополнительной информации в исследовании (Du et al., 2010).

технологиях для предприятий по обработке цветных металлов (BREF) (European Commission, 2001)<sup>48</sup>, а также в его исправленной черновой редакции (European Commission, 2009).<sup>49</sup>

В плавильных печах обрабатывается широкий спектр смешанных отходов, например, шредерные остатки, которые могут содержать большое количество ПБДЭ, другие бромированные антипирены, ПВХ и металлы, обладающие каталитической активностью, например, медь (Hwang et al., 2008). Другие материалы, обработанные огнезащитными составами, в частности, печатные платы, зачастую обрабатываются на предприятиях для выплавки вторичной меди с целью рекуперации меди и других благородных металлов, также их пластиковых отходов ЭЭО. В состав печатных плат в среднем входит 15-20% меди, 200-250 миллионных долей золота, 1000 миллионных долей серебра и 80-100 миллионных долей палладия (Hagelüken, 2006). По составу данные изделия сопоставимы с золотосодержащей рудой, разработка которой является рентабельной уже при выходе золота всего в 0,5 миллионных долей.<sup>50</sup> Привлекательность переработки благородных металлов, в том числе золота из печатных плат, для повторного использования, таким образом, очевидна.

В печатных платах также содержится множество других цветных и особых металлов, многие из которых поддаются рекуперации в современных промышленных установках полного цикла для выплавки и рафинации (никель, свинец, олово, висмут, сурьма и т.д.). В научной литературе имеются подробные описания данных процессов (Hagelüken, 2006). Объем переработки печатных плат с целью получения исходного минерального сырья составляет десятки тысяч тонн в год (см. таблицу 7-2); переработка с целью получения сырья является рекомендованным методом обработки содержащих бромированные антипирены полимеров из электронных отходов (Mark and Lehner, 2000; Hagelüken, 2006; Brusselaers et al., 2006). Соответственно, в зависимости от эффективности соответствующего оборудования в отношении разрушения органических загрязнителей, количество выбросов ПБДЭ, ПБДД/ ПБДФ и смешанных полигалогенизированных диоксинов и фуранов может быть значительным. Кроме того, в черновой редакции разработанного для ЕС «Справочного документа по наилучшим доступным технологиям в сфере цветной металлургии» постулируется следующее: «Использование в качестве исходного сырья больших количеств электронного лома, содержащего бромированные антипирены, может привести к образованию смешанных полигалогенизированных диоксинов» (European Commission, 2009).

Полимеры/ смолы выполняют двойную функцию, выступая в процессе переплавки в качестве восстановительного реагента и источника энергии. Затем на плавильном участке полного цикла можно осуществить рекуперацию сурьмы. Хотя температура в ванне с расплавом достаточно высока (выше 1100°C) и вполне приемлема для разрушения ПБДЭ, относящихся к СОЗ, перепад температур на всем протяжении от заправочного штуцера до поверхности ванны варьирует от температуры окружающей среды до температуры ванны. Выплавка в плавильной печи может быть описана как термический процесс, сопровождающийся неполным сгоранием загружаемого сырья. Кокс в ванне плавления преимущественно окисляется, а более горючие смолы печатных плат и пластиковых отходов ЭЭО при загрузке в печь воспламеняются и горят/ подвергаются пиролизу до определенной степени в процессе переплавки. Опыт эксплуатации установок для сжигания отходов показывает, что концентрация ПХДД/ ПХДФ и смешанных полигалогенизированных ДД и ДФ в отработанных газах, улетучивающихся из первой зоны горения, повышается (до 1000 нг ТЕQ/нм<sup>3</sup>) в том случае, если высока доля отходов ЭЭО среди загружаемого в печь сырья. Данные загрязнители уничтожались во второй зоне горения (Hunsinger et al., 2002; Hunsinger, 2010). Эти данные, вместе с основной концепцией образования диоксинов, позволяют заключить, что при обработке в плавильных печах полимеров, содержащих относящиеся к СОЗ ПБДЭ и другие бромированные антипирены, могут образовываться и выделяться высокие уровни бромированных ПБДД/ ПХДФ и смешанных

---

<sup>48</sup> [ftp://ftp.jrc.es/pub/eippcb/doc/nfm\\_bref\\_1201.pdf](ftp://ftp.jrc.es/pub/eippcb/doc/nfm_bref_1201.pdf)

<sup>49</sup> [ftp://ftp.jrc.es/pub/eippcb/doc/nfm\\_2d\\_07-2009\\_public.pdf](ftp://ftp.jrc.es/pub/eippcb/doc/nfm_2d_07-2009_public.pdf)

<sup>50</sup> <http://en.wikipedia.org/wiki/Gold>



полигалогенизированных ДД/ ПХДФ. Таким образом, в качестве наилучшей доступной технологии/ наилучшего вида природоохранной деятельности необходимо использовать эффективные дожигатели. Кроме того, имеющаяся по отрасли информации указывает на целесообразность применения дожигателей для обработки отработанных газов, выделившихся при переплавке печатных плат (Kegels, 2010).

Установка в плавильной печи дожигателя, соответствующего принципам наилучших доступных технологий (850°C; продолжительность обработки – 2 секунды; достаточная турбулентность), вероятно, сможет заменить вторую камеру сгорания. В обновленной черновой редакции справочного документа ЕС по наилучшим доступным технологиям (BREF) (European Commission, 2009) отмечается, что выбросы ПХДД/ ПХДФ в концентрации до 5 нг/м<sup>3</sup> происходят даже при применении дожигателей. В Европе опубликованы результаты двух масштабных контрольных исследований по извлечению материалов из отходов пластмасс ЭЭО, содержащих бромированные антипирены, на предприятиях с полным металлургическим циклом: материалы, обработанные бромированными огнезащитными составами, загружались в плавильные печи вместо кокса/ топлива в качестве восстановительных агентов (Mark and Lehner, 2000; Hagelüken, 2006; Brusselaers et al., 2006). Одно из исследований проводилось на металлургическом предприятии полного цикла в Швеции,<sup>51</sup> другое – на металлургическом предприятии полного цикла в Антверпене, Бельгия<sup>52</sup>. Хотя в отчетах обоих исследований упоминались конкретные значения уровня ПХДД/ ПХДФ, эти данные не представляют большой ценности и могут недостоверно отражать количество ПБДЭ/ бромированных антипиренов в загружаемом сырье для обработки.<sup>53</sup> Уровни ПБДЭ, относящихся к СОЗ, и смешанных полигалогенизированных ДД и ДФ, которые послужили бы более надежным источником информации, в рамках данных исследований не замерялись или, по меньшей мере, не сообщались вместе с результатами данных исследований.

Данных о результатах оценки высвобождения относящихся к СОЗ ПБДЭ, а также оценки образования и высвобождения ПБДД/ ПБДФ и смешанных полигалогенизированных ДД и ДФ при переработке материалов, содержащих загрязняющие ПБДЭ и бромированные антипирены, в плавильных печах с целью извлечения исходного сырья, не опубликовано. Это большое упущение, поскольку посредством данного метода перерабатываются десятки тысяч печатных плат в год; кроме того, данный метод рекомендован для обработки полимеров из электронных отходов, содержащих ПБДЭ или бромированные антипирены (Mark and Lehner, 2000; Hagelüken, 2006; Brusselaers et al., 2006).

Для каждого отдельного плавильного предприятия, на котором собираются обрабатывать печатные платы и не исключают возможность использования в качестве восстановительных агентов полимеров, содержащих относящиеся к СОЗ ПБДЭ/ бромированные антипирены, перед принятием решения о соответствии данного предприятия установленным требованиям или об эффективности дожигателей и методов обработки отходящих дымовых газов требуется тщательно замерить уровни высвобождения ПБДЭ, относящихся к СОЗ, и уровни галогенизированных диоксинов и фуранов (ПХДД/ ПХДФ, ПБДД/ ПБДФ, а также смешанных полигалогенизированных ДД и ДФ).

Современные металлургические комбинаты полного цикла требуют финансовых вложений, существенно превышающих 1 миллиард долларов США. В настоящее время эксплуатационными показателями, достаточными для выполнения описанных выше операций, обладают всего

---

<sup>51</sup> <http://www.boliden.com/>

<sup>52</sup> <http://www.unicore.com/en/>

<sup>53</sup> Значение, полученное при переработке компьютерного лома на фьюминговом заводе в рамках исследования в Швеции, составило 0,08-0,12 нг ТЕQ/м<sup>3</sup> (на уровне порогового значения для выбросов из дымовых труб установок для сжигания отходов) (Mark and Lehner, 2000), что уже превышает даже допустимое значение концентрации вредных веществ в воздухе рабочей зоны, принятое в Германии – 0,05 нг ТЕQ/м<sup>3</sup> (стандарт TRGS 557 2000), не говоря уже о концентрации и воздействии ПБДД/ ПБДФ или смешанных полигалогенизированных ДД или ДФ. В рамках контрольного исследования на металлообрабатывающем предприятии в Бельгии также замерялась только концентрация ПХДД/ ПХДФ и только в дымовых трубах после обработки дымовых газов (Hagelüken, 2006; Brusselaers et al., 2006).



5-10 предприятий. В их число входят заводы под управлением «Юмикор» (Umicore; Бельгия), «Аурубис АГ» (Aurubis AG; бывшая компания «Норддойче Аффинери АГ» [Norddeutsche Affinerie AG]) (Германия), «Болиден» (Boliden; Швеция/ Финляндия), «Джонсон Норанда» (Johnson Noranda; Канада) и «Дова» (DOWA; Япония). Ввод в эксплуатацию соответствующих принципам наилучших доступных технологий и наилучших видов природоохранной деятельности металлообрабатывающих предприятий выгоден не только с точки зрения хороших показателей воздействия на окружающую среду. Основное преимущество таких предприятий заключается в том, что они позволяют извлекать гораздо более широкий спектр металлов в большем количестве и с меньшими энергетическими затратами, по сравнению с более упрощенными промышленными установками (Hagelüken, 2006; Hagelüken and Meskers, 2008). Потоки конечных отходов производства, как правило, невелики, поскольку обедненный, химически неактивный шлак, образующийся в результате процесса плавки, может быть использован в качестве строительного материала (после оценки способности к выщелачиванию) или в качестве добавки при производстве цемента.

**Таблица 7-2.** Производительность металлообрабатывающих предприятий в Европе

Действующие предприятия	Производительность переработки (в год)
«Болиден» (Boliden), Швеция	35000 тонн электронного и электротехнического лома (содержание полимеров – 25%)
«Юмикор» (Umicore), Бельгия	Может обрабатывать >10000 тонн в год (в основном, печатные платы)
«Норддойче Аффинери АГ» (Norddeutsche Affinerie AG), Германия (нынешнее название – «Аурубис АГ» [Aurubis AG])	Обрабатывает 10000 тонн печатных плат, а также >15000 тонн отходов пластмасс ЭЭО

(BSEF, 2000)<sup>54</sup>

Ниже изложены отдельные соображения по применению наилучших доступных технологий и наилучших видов природоохранной деятельности для снижения или прекращения высвобождения ПБДЭ, относящихся к СОЗ, и смешанных полигалогенизированных ДД и ДФ в результате технологических процессов на медеплавильных предприятиях:

- **Применение соответствующих принципам наилучших доступных технологий дожигателей, устанавливаемых после камеры сгорания:** в руководящих указаниях по наилучшим доступным технологиям и наилучшим видам природоохранной деятельности в рамках реализации Стокгольмской конвенции дожигатели (устанавливаемые после камеры сгорания) причисляют к наилучшим доступным технологиям, позволяющим свести к минимуму выбросы ПХДД/ ПХДФ с промышленных установок выплавки вторичных металлов (Stockholm Convention, 2007). Необходима оценка эффективности дожигателя для определения его соответствия критериям безопасности при обработке материала, содержащего ПБДЭ, относящиеся к СОЗ/ бромированные антипирены.
- **Очистка отходящих дымовых газов:** в руководящих указаниях по наилучшим доступным технологиям и наилучшим видам природоохранной деятельности в качестве основной меры также рекомендуется надлежащая обработка отходящих газов и улучшение их состава соответствующим образом для предотвращения создания условий, ведущих к синтезу ПХДД/ ПХДФ *de novo*. Те же меры помогают ограничить образование смешанных полигалогенизированных ДД и ДФ, за исключением случаев, когда данные загрязнители выделяются из печи.

<sup>54</sup> BSEF, 2000. <http://www.bsef.com/science/brominated-flame-retardants-and-recycling/technical-recycling-and-wastesolutions/>

Ключевые дополнительные меры по снижению количества непреднамеренно произведенных СОЗ включают в себя следующие действия:

- Впрыскивание адсорбента (например, активированного угля);
- Высокоэффективное пылеудаление при помощи тканевых фильтров (обеспечивающие выходную запыленность менее 5 мг пыли/нм<sup>3</sup>).

Более подробная информация содержится в руководящих указаниях по применению наилучших доступных технологий и наилучших видов природоохранной деятельности в рамках реализации Стокгольмской конвенции (Stockholm Convention, 2007) и справочном документе для ЕС по наилучшим доступным технологиям (BREF) (European Commission, 2009).

### 7.6.2 Извлечение сырья и энергии в электродуговых печах

Некоторые основные меры по снижению выбросов непреднамеренно произведенных СОЗ из электродуговых печей в рамках применения наилучших доступных технологий и наилучших видов природоохранной деятельности описаны в Разделе VI (Категории источников в Части III Приложения С, категория источников (b)), «Термические процессы в металлургической промышленности, не упомянутые в Приложении С, Часть II», «Указаний и руководящих принципов по категориям источников» (Stockholm Convention, 2007). Подробная характеристика применяемых наилучших доступных технологий приведена в справочном документе для ЕС по наилучшим доступным технологиям для железообрабатывающей и сталелитейной промышленности (BREF) (European Commission, 2011b)<sup>55</sup>.

Электродуговые печи не рассматриваются в качестве промышленных установок, подходящих для извлечения сырья или энергии из отходов, содержащих ПБДЭ, относящиеся к СОЗ, или бромированные антипирены. На протяжении нескольких лет приводились свидетельства того, что обработка металлического лома в электродуговых печах может приводить к возникновению высокого уровня загрязнения ПХДД/ПХДФ твердых отходов и пыли от очистки отходящих газов (ENDS, 1997). В последнее время были получены сообщения о выбросах ПБДЭ и ПБДД/ ПБДФ с электродуговых предприятий, применяющих электродуговые технологии, в Китае, Тайване, и Турции (Du et al., 2010a, b; Odabasi et al., 2009; Wang et al., 2010). Уровень выбросов в результате металлургических процессов превышал количество выбросов из установок для сжигания отходов (Du et al., 2010a, b). Полученные данные указывают на то, что материал, загружаемый в электродуговые печи для переработки с целью получения исходного сырья, содержит ПБДЭ и подлежит регулированию в рамках реализации положений Стокгольмской конвенции. Поскольку применение электродуговых печей может упростить извлечение металлов, случаи переработки на данном оборудовании загрязненных отходов могут рассматриваться в контексте переработки материалов, содержащих относящиеся к СОЗ ПБДЭ, и извлечения из них ресурсов.

Ниже перечислены конкретные меры, соответствующие принципам наилучших доступных технологий и наилучших видов природоохранной деятельности, по уменьшению или предотвращению выбросов ПБДЭ, относящихся к СОЗ, и смешанных полигалогенизированных ДД и ДФ, из электродуговых печей:

- **Сепарация материалов, содержащих ПБДЭ, относящиеся к СОЗ, и отделение их от прочих отходов:** этап сепарации особенно важен в случае электродуговых печей, которые не соответствуют принципам наилучших доступных технологий. Поскольку ресурсы, извлеченные или переработанные посредством электродуговой печи, могут содержать ПБДЭ, относящиеся к СОЗ, следует обратить внимание на следующие типы отходов:
  - Автомобильный лом и детали других транспортных средств (автобусов, железнодорожного транспорта, воздушного транспорта), в материале обивки

---

<sup>55</sup> [ftp://ftp.jrc.es/pub/eippcb/doc/IS\\_11\\_17-06-2011.pdf](ftp://ftp.jrc.es/pub/eippcb/doc/IS_11_17-06-2011.pdf)

сидений, подголовников/ подлокотников и потолка салона которых (пенополиуретане) содержатся ПБДЭ, относящиеся к СОЗ; кроме того, пластиковые компоненты внутренней отделки салона или кабелей, в которых могут содержаться бромированные загрязнители.

- Крупная бытовая техника и другие отходы ЭЭО, в пластиковых компонентах которых содержатся ПБДЭ, относящиеся к СОЗ.
- **Дожигатели, соответствующие принципам наилучших доступных технологий:** в руководящих указаниях по наилучшим доступным технологиям и наилучшим видам природоохранной деятельности в рамках реализации Стокгольмской конвенции (Stockholm Convention, 2007) дожигатели, устанавливаемые после камеры сгорания, приводятся в качестве примера наилучшей доступной технологии для сведения к минимуму образования и выбросов ПХДД/ ПХДФ из электродуговых печей. Для получения представления о том, возможна ли безопасная обработка материалов, содержащих загрязняющие ПБДЭ или бромированные антипирены, в электродуговых печах, функционирующих в соответствии с наилучшими доступными технологиями (в том числе с установленными дожигателями), необходимо оценить эффективность работы дожигателей. Также в случае электродуговых печей, приведенных в соответствии с принципам наилучших доступных технологий и наилучших видов природоохранной деятельности, рекомендуется проводить дополнительный этап сепарации материала, содержащего относящиеся к СОЗ ПБДЭ, прежде чем загружать данные материалы в печь для выплавки металлов.
- **Очистка отходящих газов:** принципы наилучших доступных технологий и наилучших видов природоохранной деятельности также предусматривают надлежащую обработку отходящих газов и улучшение их состава соответствующим образом для предотвращения образования ПХДД/ ПХДФ *de novo*. Эти же меры могут предполагать использование дожигателей, после обработки в которых предусмотрено быстрое тушение отходящих газов.

Ключевые дополнительные меры по уменьшению непреднамеренного образования СОЗ включают следующие мероприятия:

- Впрыскивание адсорбента (например, активированного угля);
- Высокоэффективное пылеудаление при помощи тканевых фильтров (обеспечивающих выходную запыленность <5 мг пыли/нм<sup>3</sup>)

Более подробная информация содержится в руководящих указаниях по применению наилучших доступных технологий и наилучших видов природоохранной деятельности в рамках реализации Стокгольмской конвенции и соответствующих справочных документах для ЕС по наилучшим доступным технологиям (BREF).

### 7.6.3 Переработка полимеров, содержащих относящиеся к СОЗ ПБДЭ, с целью получения сырья для сталелитейной промышленности

В руководящих указаниях по наилучшим доступным технологиям и наилучшим видам природоохранной деятельности в рамках реализации Стокгольмской конвенции (Stockholm Convention, 2007) не приводятся принципы наилучших доступных технологий для шахтных печей, поскольку данный тип промышленных установок не включен в список значимых источников непреднамеренного производства СОЗ; тем не менее, шахтные печи рассматриваются в справочном документе для ЕС по наилучшим доступным технологиям для железообрабатывающей и сталелитейной промышленности (BREF) (European Commission, 2001, 2011).

Пластмассы и, по возможности, другие полимеры используются в производстве первичной стали двумя способами: i) непосредственно в шахтных печах в качестве заменителя кокса или ii)

в качестве заменителя каменного угля при производстве кокса (Japan National Institute for Environmental Studies, 2010; European Commission, 2011b). В работе (Hirai et al., 2007) по оценке жизненного цикла корпусов телевизоров, содержащих относящиеся к СОЗ ПБДЭ, сравнивались четыре сценария: переработка с целью вторичного использования материалов, переработка с целью получения исходного сырья, сжигание и захоронение на полигоне. По результатам был сделан вывод о том, что переработка материалов, содержащих ПБДЭ, относящиеся к СОЗ, с целью получения исходного сырья для производства первичной стали, возможно, является более предпочтительным вариантом в сравнении с переработкой с целью вторичного использования материалов, занявшей второе место, однако при этом отмечается, что производительность метода ограничена в связи с содержанием брома в пластмассах.

Согласно справочному документу для ЕС по наилучшим доступным технологиям для железообрабатывающей и сталелитейной промышленности, шредерный остаток является источником исходного сырья для производства первичной стали (European Commission, 2011). Опубликованные данные о выбросах из действующих шахтных печей в результате явного добавления материалов, содержащих относящиеся к СОЗ ПБДЭ, отсутствуют. В справочном документе, впрочем, подчеркивается, что для оценки возможностей и ограничений переработки таких фракций с высоким содержанием полимеров (из смешанных электронных отходов и (или) автомобильного шредерного остатка) в исходное сырье<sup>56</sup> необходимо сначала установить содержание тяжелых металлов в полимерном сырье<sup>57</sup> (European Commission, 2011b). В работе (Hirai et al., 2007) представлены свидетельства того, что содержание брома/ галогенов послужило главным фактором, ограничивающим объем использования таких отходов в производстве первичной стали<sup>58</sup>, поскольку в японской сталелитейной промышленности допускается только такое сырье, содержание галогенов (брома или хлора) в котором не превышает 0,5%. В Европе допустимое содержание галогенов представляется более высоким.<sup>59</sup>

Температурные условия в шахтной печи, по всей вероятности, будут достаточны для высокоэффективного уничтожения ПБДЭ, относящихся к СОЗ, и других галогенизированных органических соединений при обработке в печах такого типа. В целях обеспечения соблюдения обязательств по реализации положений Стокгольмской конвенции, впрочем, необходима тщательная оценка выбросов ПБДЭ, относящихся к СОЗ, и ПБДД/ ПБДФ.

#### 7.6.4 Использование материалов, содержащих относящиеся к СОЗ ПБДЭ, при вторичном производстве алюминия

В Разделе V (Категория источников (2D)), «Термические процессы в металлургической промышленности», «Указаний и руководящих принципов по категориям источников» Стокгольмской конвенции (Stockholm Convention, 2007) приведены некоторые основные рекомендации по применению наилучших доступных технологий и наилучших принципов природоохранной деятельности, подлежащие учету при вторичном производстве алюминия и постулирующие, главным образом, сокращение выбросов непреднамеренно произведенных СОЗ (Stockholm Convention, 2007). Технические подробности наилучших доступных технологий и

---

<sup>56</sup> В справочном документе для ЕС по наилучшим доступным технологиям для сталелитейной промышленности (BREF) установлены предельные значения содержания кобальта, хрома, мышьяка, свинца, никеля, ртути, кадмия и цинка в полимерных отходах, подлежащих переработке в шахтных печах с целью получения исходного сырья (European Commission, 2009).

<sup>57</sup> В особенности содержание ртути, но также кобальта, хрома, мышьяка, свинца, никеля, кадмия и цинка.

<sup>58</sup> Содержание брома в корпусах телевизоров, ежегодно отправляемых в отходы в Японии, составляет 705 тонн, что почти вдвое превышает общее количество галогенов (400 тонн), которое могло быть допущено на переработку/ переработано с целью получения исходного сырья для производства первичной стали в Японии. Соответственно, при помощи данного метода в Японии теоретически можно было бы переработать в сырье самое большое около 50% пластика телевизионных корпусов (Hirai et al., 2007).

<sup>59</sup> По сообщениям, допустимое для сталелитейной промышленности Европе содержание хлора составляет до 1,5% (Бремен, Германия) (Tukker, 2002) и 2% (Линц, Австрия) (European Commission, 2009).

наилучших видов природоохранной деятельности описаны в справочных документах для ЕС по наилучшим доступным технологиям для предприятий по обработке цветных металлов (BREF) (European Commission, 2001)<sup>60</sup>.

Наличие ПБДД/ ПБДФ и смешанных полигалогенизированных ДД/ ДФ обнаруживалось в выбросах отходящих дымовых газов из предприятий по вторичному производству алюминия (Du et al. 2010 a, 2010b). ПБДЭ также выявлялись в отходах, использовавшихся в качестве загружаемого материала на заводе по переработке алюминия. Были взяты пробы обработанных отходов пластика ЭЭО, пылевого осадка с фильтра дробилки, пылевого осадка с циклона дробилки, а также легкой фракции автомобильного шредерного остатка. По результатам аналитического скрининга ПБДЭ были выявлены во всех пробах в количестве от 245 до 67450 нг/г. Наибольший уровень загрязнителей обнаруживался в пластиковых отходах ЭЭО. Во всех образцах также выявлялись другие бромированные антипирены. К числу выявленных родственных ПБДЭ соединений относились пента-БДЭ (150 нг/г), гекса-БДЭ (20 нг/г) и дека-БДЭ (10 нг/г) (Sinkkonen et al., 2004).

Таким образом, необходима надлежащая оценка предприятий по вторичной переработке алюминия на предмет выбросов ПБДЭ, относящихся к СОЗ, ПБДД/ ПБДФ и смешанных полигалогенизированных ДД/ ДФ в воздух и в виде сухого остатка.

### 7.6.5 Переработка пластиковых отходов ЭЭО на предприятиях по переплавке сурьмы

Отдельные пластиковые отходы ЭЭО, обработанные огнезащитными составами, можно переработать в сурьяноплавильных печах, где пластик выступает в роли восстановительного агента для восстановления триоксида сурьмы  $Sb_2O_3$ <sup>61</sup> (UNEP, 2010b). К сожалению, информация об обрабатываемых объемах, эффективности разрушения относящихся к СОЗ ПБДЭ или об уровне выбросов ПБДЭ и ПБДД/ ПБДФ в результате данных технологических процессов отсутствует. Никаких отчетов мониторинга выбросов ПБДЭ и ПБДД/ ПБДФ в ходе восстановления сурьмы из отходов пластика ЭЭО также не опубликовано.

Принципы наилучших доступных технологий для обработки пластика, содержащего ПБДЭ, относящиеся к СОЗ/ бромированные антипирены, в печах для выплавки сурьмы предусматривают использование дожигателей для оптимальной очистки отходящих газов. При помощи последующих измерений можно будет определить целесообразность обработки пластика, содержащего относящиеся к СОЗ ПБДЭ, в той или иной сурьяноплавильной печи.

### 7.6.6 Соображения, касающиеся развивающихся стран

В рамках недавних исследований в Китае, Тайване и Турции были получены данные о выбросах ПБДЭ и ПБДД/ ПБДФ с металлообрабатывающих предприятий (медеплавильных заводов, предприятий, оборудованных электродуговыми печами, агломерационными установками, предприятий по производству вторичного алюминия), что указывает на факт обработки данными предприятиями материалов, содержащих ПБДЭ или бромированные антипирены (Du et al., 2010; Odabasi et al., 2009; Wang et al., 2010). Поскольку во многих развивающихся странах/ странах с переходной экономикой имеются подобные предприятия того или иного типа, существует вероятность загрязняющих выбросов. Однако при этом же для данных предприятий существует возможность извлечения металлов и энергии из загрязненных материалов/ отходов, положительно сказывается на ресурсосбережении и рациональном использовании энергии.

Металлообрабатывающие предприятия в большинстве развивающихся стран, впрочем, находятся на низком технологическом уровне, и технические методы снижения загрязнения окружающей среды, в целом, недостаточно развиты. В связи с этим в настоящее время нельзя

<sup>60</sup> [ftp://ftp.jrc.es/pub/eippcb/doc/nfm\\_bref\\_1201.pdf](ftp://ftp.jrc.es/pub/eippcb/doc/nfm_bref_1201.pdf)

<sup>61</sup> Используется как синергист для огнезащитных составов в смеси с галогенсодержащими антипиренами.

однозначно судить о целесообразности обработки материалов, содержащих ПБДЭ, относящиеся к СОЗ, на металлургических предприятиях в развивающихся странах.

В связи с тем, что даже в промышленно развитых странах по-прежнему остаются значительные пробелы в информации по различным отраслям металлообрабатывающей промышленности (медеплавильным заводам, предприятиям, оборудованным электродуговыми печами, предприятиям по производству вторичного алюминия и заводам по выплавке сурьмы), в настоящее время невозможно дать какие-либо рекомендации относительно внедрения подобных технологий в развивающихся странах и странах с переходной экономикой. Для начала необходим мониторинг выбросов с предприятий, занимающихся обработкой материала, содержащего относящиеся к СОЗ ПБДЭ или бромированные антипирены.



## 8 Удаление материалов, содержащих относящиеся к СОЗ ПБДЭ, на полигоны для захоронения

В большинстве развивающихся стран отсутствует сложившаяся практика рециклинга для сепарации ПБДЭ, относящихся к СОЗ, из крупных материальных потоков, например, транспортных средств с выработанным ресурсом, отходов пластика ЭЭО, мебели и матрасов. Кроме того, эти страны не располагают производственными возможностями, человеческими или финансовыми ресурсами<sup>62</sup> для внедрения высокотехнологичных видов деятельности по регулированию отходов и вариантов обработки и удаления отходов. Как следствие, во многих развивающихся странах большая доля отходов по-прежнему подвергается захоронению на закрытых полигонах и отправляется на открытые свалки, где иногда практикуется нерегулируемое сжигание отходов под открытым небом, что оказывает серьезное отрицательное воздействие на здоровье человека и состояние окружающей среды. В приложении 3 представлена более подробная информация об удалении на полигоны и свалки отходов, содержащих относящиеся к СОЗ ПБДЭ, предназначенная, в первую очередь, для развивающихся стран и стран с переходной экономикой.

### 8.1 Минусы захоронения отходов, содержащих относящиеся к СОЗ ПБДЭ, на полигонах

Данные некоторых исследований показывают, что ПБДЭ, относящиеся к СОЗ, как и другие СОЗ (ПХД, ПХДД/ ПХДФ и прочие трудноразлагаемые соединения), выщелачиваются и попадают в почву и водоемы, наряду с тяжелыми металлами и другими веществами с полигонов, не отвечающих санитарно-гигиеническим требованиям, и нерегулируемых свалок (Osako et al., 2004; Odusanya et al., 2009; Danon-Schaffer, 2010; Danon-Schaffer and Mahecha-Botero, 2010; Weber et al., 2011; Zennegg et al., 2010; Götz et al., 2012). Кроме того, наличие ПБДЭ, относящихся к СОЗ, выявлено в почве территорий, прилегающих к мусорным полигонам в различных районах Канады (Danon-Schaffer, 2010), что свидетельствует о выбросах ПБДЭ в атмосферу с полигонов с последующим депонированием. Эмиссия СОЗ и тяжелых металлов со свалок, на которых захоронены шредерные остатки транспортных средств с выработанным ресурсом и электронные отходы, может в конечном итоге потребовать дорогостоящей<sup>63</sup> рекультивации территории (Takeda, 2007).

Приведенные данные подчеркивают, что удаление изделий, содержащих относящиеся к СОЗ ПБДЭ, может рассматриваться в качестве допустимого варианта только в том случае, если уже были изучены и по возможности применены все доступные наилучшие доступные технологии и наилучшие виды природоохранной деятельности, предлагающие передовые способы очистки воздуха от загрязнений или аналогичные альтернативные методы обработки (см. раздел 7; Stockholm Convention, 2007).

---

<sup>62</sup> Обзор затрат на регулирование отходов в различных регионах показывает, что объем расходов на регулирование отходов на муниципальном уровне составляет от 0,2% до 0,4% ВВП большинства стран, а финансовые ресурсы, доступные для управления отходами, покрывают диапазон с коэффициентом 500 (Brunner and Fellner, 2007).

<sup>63</sup> Высокая стоимость рекультивации полигонов или экскавации мусора с полигонов, содержащих СОЗ (Weber et al., 2011; Götz et al., 2012), представляет собой еще одну причину, по которой различным странам следует при любой возможности воздерживаться от захоронения и удаления таких отходов на полигоны для захоронения.

## 8.2 Организованные полигоны для удаления материалов, содержащих относящиеся к СОЗ ПБДЭ

Удалять и подвергать захоронению материалы, содержащие ПБДЭ, относящиеся к СОЗ, допускается только на правильно спроектированных организованных и инженерно контролируемых полигонах, соответствующих, по меньшей мере, перечисленным ниже специализированным критериям (см приложение; BiPRO, 2007; Keet et al., 2010):

- Выбор оптимального места для мусорного полигона с учетом удаленности от жилых домов, детских и медицинских учреждений и т.п.; с учетом мест залегания грунтовых вод и расположения открытых водоемов, а также с учетом риска затопления.
- Строгое соблюдение правил обеспечения безопасности полигона и полный входной контроль отходов, поступающих на полигон для удаления.
- Содержание полигона, призванное свести к минимуму риск возникновения пожара при помощи надлежащего прессования отходов, засыпки и т.д. (see Stockholm Convention, 2007).
- Режим работы полигона, предусматривающий ежедневную грунтовую засыпку.
- Использование современных материалов для покрытия нижнего защитного слоя полигона с целью сведения к минимуму просачивания фильтрата.
- Структурирование и укладка противодиффузионного изолирующего верхнего слоя.
- Сбор, контроль и очистка сточных вод полигона.
- Сбор, контроль и очистка свалочных газов.
- Всесторонний мониторинг полигона и долгосрочный надзор за территорией полигона после его закрытия (по возможности в течение нескольких столетий).

## 8.3 Соображения, касающиеся долгосрочного надзора за территорией организованного полигона отходов после его закрытия

Продолжительность действия инженерно-технических мер и мероприятий по изоляции полигона ограничена и, по различным оценкам, составляет от нескольких десятков до нескольких сотен лет. Накопленный к настоящему времени практический опыт недостаточно всеобъемлющ для того, чтобы выдвигать соображения относительно долгосрочного надзора за территорией организованного полигона отходов после его закрытия (Buss et al., 1995; Allen, 2001; Simon and Mueller, 2004); тем не менее, можно ожидать, что с течением времени загрязняющие вещества из захороненных на полигоне изделий и продуктов, содержащих относящиеся к СОЗ ПБДЭ, начнут выделяться в почву и просачиваться вместе с фильтратом сточных вод, проникая в окружающую среду (Weber et al., 2011). Был смоделирован жизненный цикл ПБДЭ и других стойких токсических химических веществ при захоронении на полигоне для отходов (например, в работе (Danon-Schaffer, 2010)), и полученные результаты указывают на то, что ПБДЭ, относящиеся к СОЗ, будут продолжать представлять угрозу для окружающей среды и после износа защитного рекультивационного слоя, покрывающего полигон. Для оценки угрозы, которую относящиеся к СОЗ ПБДЭ представляют для окружающей среды, включая изменения климата и экстремальные метеорологические явления, требуется больше информации о характере поведения и преобразованиях ПБДЭ и других стойких токсических веществ в течение длительного времени (Laner et al., 2009; Weber et al., 2011).

При проектировании организованного полигона, соответствующего принципам наилучших доступных технологий, следует учесть увеличение объема выпадающих осадков и повышение степени инфильтрации и эрозии, сопровождающихся повышением образования фильтрата; депонирование более крупной фракции отходов; увеличение скорости износа защитных слоев; а также увеличение степени улетучивания загрязнителей. Учет данных факторов представляет особую значимость в случае пойменных территорий, низинных и прибрежных участков, где возможные затопления и взаимодействия с речными и (или) морскими водами представляют опасность для окружающей среды и здоровья человека в связи с биоаккумуляцией загрязнителей (Bebb and Kersey, 2003). Для новых полигонов риск затопления (а также риск

загрязнения грунтовых вод и поверхности) в случае захоронения отходов, содержащих ПБДЭ, относящиеся к СОЗ (и другие СОЗ), следует оценивать в расчете на долгосрочную перспективу (например, 10000 лет). Кроме того, целесообразно составить карту всех действующих и закрытых полигонов и свалок, на которые были удалены отходы, содержащие относящиеся к СОЗ ПБДЭ и другие СОЗ, и оценить результаты картирования в национальной базе данных, в том числе провести оценку риска затопления (Laner et al., 2009). Полученные данные будут сведены в реестр территорий, загрязненных ПБДЭ, относящимися к СОЗ (см. раздел 7 «Руководства по инвентаризации полибромдифениловых эфиров, включенных в Стокгольмскую конвенцию о стойких органических загрязнителях»), ПФОСК (см. раздел 7 «Руководства о инвентаризации перфтороктансульфоновой кислоты») или другими СОЗ (UNEP, 2005; UNIDO, 2010; Hatfield Consultants and World Bank, 2009).

## Список литературы

## Приложения

### Приложение 1. Общие соображения относительно наилучших доступных технологий и наилучших видов природоохранной деятельности

#### *Системы экологического менеджмента*

Данные методы имеют отношение к непрерывному улучшению показателей воздействия хозяйственной деятельности на окружающую среду. Системы экологического менеджмента определяют правовую базу для обеспечения идентификации, принятия и соблюдения принципов наилучших доступных технологий, которые при всем при том представляют значимость и могут послужить средством для улучшения показателей воздействия на окружающую среду при внедрении на различных предприятиях. Данные методы/ инструменты надлежащей административно-хозяйственной/ управляющей деятельности и в самом деле зачастую позволяют предотвратить выбросы загрязняющих веществ.

Целый ряд методик экологического менеджмента определяется как наилучшие доступные технологии. Объем и характер системы экологического менеджмента, в основном, будут описывать характер, масштаб и уровень сложности промышленных установок, а также пределы возможного воздействия данной установки на окружающую среду.

Ниже перечислены принципы значимых в этом отношении наилучших доступных технологий и наилучших видов природоохранной деятельности:

Внедрение и следование принципам системы экологического менеджмента, которая характеризуется следующими особенностями (сообразно с конкретными обстоятельствами):

- a. определение высшим руководством природоохранной политики в отношении эксплуатации промышленной установки (принятие решений на самом верхнем уровне расценивается как неременное условие успешного внедрения других функциональных особенностей системы экологического менеджмента);
- b. планирование и составление необходимых процедур;
- c. реализация процедур, в ходе которой необходимо уделить особое внимание следующим вопросам:
  - структуре и ответственности;
  - обучению, информированности и компетентности;
  - информационному взаимодействию;
  - вовлеченности сотрудников;
  - документации;
  - эффективному контролю технологического процесса;
  - программе технического обслуживания;
  - готовности к аварийным ситуациям и проведению мероприятий по ликвидации их последствий;
  - обеспечения соблюдения природоохранного законодательства.
- d. контроль производственной деятельности и принятие мер по устранению неисправностей, в рамках которого необходимо уделить особое внимание следующим вопросам:
  - мониторингу и замерам;
  - корректирующим и предупреждающим действиям;
  - ведению учетных записей;
  - проведению независимого (по возможности) внутреннего аудита в целях определения соответствия системы экологического менеджмента заложенным в проект решениям, и также для проверки внедрения системы и материально-технического обеспечения в соответствии с установленными нормами и принципами.

е. заинтересованность в непрерывном повышении энергоэффективности промышленной установки путем принятия следующих мер:

- аа. разработки плана энергоэффективности;
- bb. применения методов снижения энергопотребления, способствующих тем самым снижению как прямых (выделения тепла и выбросов непосредственно на месте эксплуатации установки), так и не прямых (выбросов с удаленной электростанции) выбросов;
- сс. определения и расчета потребления энергии для каждого отдельного вида (видов) деятельности, ежегодное назначение ключевых параметров эффективности (например, МВт·ч на тонну обработанного материала/ отходов).

В рамках системы экологического менеджмента следует разработать и по необходимости ввести в действие план регулирования уровней шума и вибрации.

Наилучшие доступные технологии и наилучшие виды природоохранной деятельности в сфере регулирования материалов, являющихся продуктами технологического процесса, и остатков технологического процесса, обусловлены следующей необходимостью:

Составить план регулирования остатков технологического процесса в рамках системы экологического менеджмента, включающий в себя следующие аспекты:

- а. основные методы административно-хозяйственного обеспечения деятельности;
- б. методы внутреннего сопоставительного анализа.

### *Регулирование материалов/ отходов на предприятиях и в ходе технологических процессов*

Многие процессы, описываемые в данном документе, предполагают обработку продуктов/ материалов, срок службы которых исчерпан. Другими словами, данные процессы предусматривают переработку (рециклинг), извлечение ресурсов или энергии или удаление материалов, т.е. процессы, наиболее значимые для потоков материалов, содержащих относящиеся к СОЗ ПБДЭ. В том, что касается регулирования материалов/отходов, в настоящем руководстве перечислены универсальные наилучшие доступные технологии и наилучшие виды природоохранной деятельности для систем регулирования материалов/ отходов, направленные на сбор информации о материалах и отходах, поступающих на обработку на данное предприятие, сбор данных о надлежащем хранении отходов, обращении с ними и их удалении, а также на уточнение имеющихся данных о продуктах и отходах переработки на данном предприятии.

### *Система регулирования материалов/ отходов*

Цель наилучших доступных технологий/ наилучших видов природоохранной деятельности заключается во внедрении системы, обеспечивающей контроль над обработкой материалов и отходов и содержащей следующие элементы:

- а. методику документирования способов применения и обработки материалов и отходов при помощи производственных графиков и определения материально-сырьевого баланса.
- б. методику учета данных при выполнении нескольких операций (например, предварительной приемки/ приемки/ хранения/ обработки/ отгрузки продукта технологического процесса). Целесообразно вести учетные записи, регулярно внося в них новые данные для отражения информации о поставках, обработке материалов на предприятии и отправке продуктов технологического процесса. Записи, как правило, ведутся на протяжении по меньшей мере шести месяцев после отправки отходов.
- с. четкую систему сравнения и регистрации параметров и признаков отходов, а также источника потока отходов, доступных в любое время.
- д. данная система может использовать компьютерную базу данных или несколько баз данных, при условии регулярного дублирования информации. В системе отслеживания



материалов/ отходов для контроля их запасов/ наличного количества необходимо регистрировать дату поступления материала на предприятие, сведения об источнике отходов, номер уникального идентификатора, результаты предварительных и приемочных испытаний, описание типа и размера упаковки, предполагаемые методы обработки/ удаления, точную информацию о характеристике вида и количестве отходов/ материалов, имеющихся на предприятии, включая сведения обо всех возможных рисках, а также точные данные о действительном местонахождении материалов/ отходов на плане предприятия и о том, на каком этапе назначенного пути обработки в настоящее время находятся материалы/ отходы.

е. резервуары и другие передвижные емкости допускается перемещать с места на место (или нагружать для вывоза с предприятия) только по поручению уполномоченного руководителя и по принятии всех необходимых мер для регистрации данных изменений в системе отслеживания отходов.

Необходимо выработать и применять правила, ограничивающие смешивание/ комбинирование, с целью строгого определения типов отходов, которые могут быть скомбинированы/ перемешаны, во избежание повышения уровня загрязнения при дальнейшей обработке. Данные правила должны учитывать тип материалов/ отходов (например, опасные – неопасные), способ обработки, который планируется применить к данному типу отходов, а также дальнейшие действия для вывода отходов с предприятия (см. ниже).

Необходимо ввести процедуру сегрегации и совмещения отходов, в рамках которой будут проводиться, в числе прочего, следующие мероприятия:

а. ведение подробных и точных журналов испытаний, в которых указываются в том числе все случаи отклонений параметров безопасности (повышения температуры, образование газов или пики давления); регистрация эксплуатационных параметров (изменения значений внутреннего трения и случаев сепарации или осаждения твердых частиц) и любых других значимых параметров, например, образования запахов.

б. упаковка емкостей с химическими соединениями в отдельные резервуары на основании классификации отходов по степени их опасности. Химические соединения, являющиеся несовместимыми (например, окислители и легковоспламеняющиеся жидкости), подлежат хранению в разных резервуарах.

Необходимо разработать подход к повышению эффективности обработки отходов. Такой подход, как правило, предполагает выявление подходящих показателей для описания эффективности обработки отходов и составление программы мониторинга.

Следует составить структурированный план организации аварийных работ, а также вести журнал учета чрезвычайных происшествий, заполняя его надлежащим и своевременным образом.

### *Поступающие на предприятие материалы и отходы*

В целях повышения качества и точности информации о поступающих на предприятие материалах и отходах, наилучшие доступные технологии и наилучшие виды природоохранной деятельности предусматривают регистрацию точных сведений о материалах/ отходах, поступающих на соответствующее предприятие. Данная информация должна отражать исходящие потоки материалов/ отходов, планируемый способ обработки, тип материалов/ отходов, источник материалов/ отходов, рекомендуемые процедуры и характер риска, с которым сопряжено их проведение.

Необходимо проведение предварительных испытаний, предусматривающее выполнение, по меньшей мере, следующих действий:

- а. испытаний поступающих материалов/ отходов с учетом планируемого способа обработки.
- б. контроля получения всей необходимой информации о характере процесса (процессов), в результате которых образовались данные материалы/ отходы, в том числе информации л

модификациях процессов. Персонал, который может быть занят в проведении предварительных испытаний, должен, благодаря соответствующей профессиональной подготовке и (или) опыту, уметь разобраться со всеми вопросами, неизбежно возникающими при обработке материалов/ отходов на данном предприятии.

с. введения системы получения и анализа характерных образцов материалов/ отходов. Образцы должны быть получены в результате того же производственного процесса, продуктом которого являются данные материалы/ отходы, и от того же поставщика. Так, если служба по переработке отходов ЭЭО хочет отправить полимерные отходы на дальнейшую переработку, ей может быть направлен запрос на предоставление данных о содержании ПБДЭ, относящихся к СОЗ. Методика отбора проб и анализа содержания ПБДЭ, относящихся к СОЗ, в отходах пластика ЭЭО описана в «Руководстве по скринингу и анализу новых СОЗ в изделиях» и в работе (Wäger et al., 2010)<sup>64</sup>.

d. введения способа тщательной проверки информации, полученной на этапе предварительных испытаний, в случае отсутствия непосредственных контактов с поставщиком отходов. Полученная информация должна включать информацию для связи с поставщиком отходов и адекватное описание состава и степени опасности материалов/ отходов.

e. контроля предоставления сведений о степени опасности материалов/ отходов и соответствия предлагаемой классификации опасности национальному законодательству.

f. выявления оптимального способа обработки для каждого типа отходов, поступивших на предприятие, путем исследований с целью определения методов, подходящих для каждого нового типа материалов/отходов и внедрения четкой методики оценки способов обработки отходов. При оценке следует учитывать физико-химические свойства каждого отдельного вида материалов/ отходов, а также технические характеристики обрабатываемых материалов/ отходов.

Необходимо провести процедуру приемки, предусматривающую, по меньшей мере, следующие аспекты:

a. внедрение четкой системы с жестко установленными требованиями, позволяющей оператору принимать на обработку материалы/ отходы только в том случае, если определены адекватный метод обработки и способ удаления/ утилизации продуктов обработки.

В том, что касается планирования приемочных испытаний, необходимо также гарантировать соблюдение требований к необходимым средствам хранения и обработки, а также требований к отправке продукта обработки (т.е. соответствие продукта обработки критериям приема другим предприятием).

b. проведение мероприятий по полному документальному сопровождению и обращению с приемлемыми материалами/ отходами, поступающими на предприятие, таких как введение системы предварительного бронирования, позволяющей, например, убедиться в наличии достаточных возможностей для обработки материалов.

с. разработку четких и недвусмысленных критериев отказа в приеме тех или иных отходов на обработку, а также условий предоставления отчетов обо всех случаях нарушения технических требований.

d. внедрение системы, позволяющей выявить максимально возможное количество материалов/ отходов, которое можно хранить на предприятии.

e. визуальный осмотр поступающих на предприятие материалов/ отходов для проверки соответствия внешнего вида полученных материалов описанию, полученному в ходе предварительных испытаний.

---

<sup>64</sup> Wäger P, Schlupe M, Müller E. 2010. RoHS substances in mixed plastics from Waste Electrical and Electronic Equipment. Final Report September 17, 2010.

В отношении всех различных видов материалов/ отходов, поступивших на предприятие внавалку (бестарно) и (или) в какой-либо таре, следует применять разные методики отбора проб. Методы взятия проб могут включать в себя следующие элементы:

- a. технологии взятия проб, основанные на методе оценки риска. В числе параметров, подлежащих учету, - тип материалов/ отходов (например, опасные или неопасные), а также информация о заказчике (т.е. поставщике отходов).
- b. контроль значимых физико-химических параметров. Значимые параметры имеют отношение к информации о материалах/ отходах, которую необходимо вносить в общий реестр всех материалов/ отходов при каждом поступлении.
- d. подходящие методики отбора проб. Методика должна предусматривать способ регистрации количества образцов (проб) и степени консолидации.
- e. отбор проб до приемки материалов/ отходов.
- f. систему для определения и регистрации.
- g. систему для обеспечения проведения анализа материалов/ отходов по мере необходимости. В случае если для материала предусмотрена дальнейшая переработка и использование продукта переработки, может быть проведен анализ содержания ПБДЭ, относящихся к СОЗ. В качестве заместительного анализа, на основании результатов которого могут быть приняты решения о дальнейшей обработке материала, допускается проведение скрининга для выявления содержания брома (см. раздел 3.6).

Пункт приемки материалов/ отходов должен соответствовать, по меньшей мере, следующим критериям:

- a. наличие лаборатории для анализа проб при скорости, требуемой наилучшими доступными технологиями. Для этого, как правило, требуется система обеспечения качества с надежными критериями, методы контроля качества и ведение надлежащих учетных записей в целях хранения результатов испытаний. В случае опасных отходов это часто означает, что лаборатория должна располагаться непосредственно на предприятии. В связи с тем, что для выявления ПБДЭ, относящихся к СОЗ, требуются довольно сложные методики анализа (см. «Руководство по скринингу и анализу новых СОЗ, содержащихся в различных изделиях»), подобный мониторинг обычно не проводится на самом предприятии.
- b. наличие специально выделенной зоны хранения отходов, помещенных на карантин, а также документально оформленных процедур, регулирующих обращение с отклоненными отходами. В данную зону на временное безопасное хранение могут быть помещены материалы/ отходы, которые по результатам проверки или анализа будут признаны не соответствующими критериям приема на обработку (помимо прочего учитывается, например, наличие повреждений у резервуаров, в которых содержатся отходы, их коррозия или отсутствие на них маркировки). Подобное хранение и процедуры должны планироваться и регулироваться таким образом, чтобы способствовать оперативному обращению с поступившими материалами/ отходами (что обычно занимает несколько дней или менее) в поисках приемлемого решения.
- c. наличие четкой процедуры, регулирующей обращение с теми отходами, которые по результатам визуального осмотра и (или) анализа будут признаны не соответствующими критериям приема на обработку на данном предприятии или же не соответствующими описанию материалов/ отходов, полученному в ходе предварительных испытаний. Данная процедура, в соответствии с условиями выданного предприятию разрешения на ведение деятельности или требованиями национального/ международного законодательства, должна предусматривать проведение всех мероприятий по информированию компетентных органов, безопасному хранению полученных материалов/ отходов на протяжении всего срока определения дальнейших действий с ними или по отклонению материалов/ отходов и их возврату поставщику отходов или любому другому уполномоченному получателю.

- d. перемещение материалов/ отходов в зону хранения только после приемки.
- e. маркировка зоны визуального контроля, зоны выгрузки и зоны отбора проб на плане предприятия.
- f. наличие замкнутой системы водоотведения при необходимости.
- g. обеспечение наличия соответствующей квалификации и надлежащей профессиональной подготовки у всего персонала предприятия, занятого в процедурах отбора проб, проверки и анализа, а также обеспечения регулярного повышения квалификации сотрудников.
- h. применение на данном этапе уникального идентификатора (этикетки/ штрих-кода) для каждой единицы тары в рамках системы отслеживания отходов. Идентификатор должен содержать хотя бы дату поступления материала на предприятие и код отходов.

#### *Хранение и техническое содержание*

Материалы и отходы, содержащие ПБДЭ, относящиеся к СОЗ (например, электронные отходы, шредерный остаток, пенополиуретан), перед обработкой или окончательным удалением зачастую приходится хранить при обеспечении должного технического содержания. Для обеспечения соответствия принципам наилучших доступных технологий и наилучших видов природоохранной деятельности при хранении таких материалов и отходов необходимо пользоваться следующими приемами и методами:

- a. располагать зоны хранения вдали от водотоков и участков, имеющих стратегическое значение, чтобы таким образом исключить или свести к минимуму необходимость двойной обработки отходов на предприятии.
- b. следить за тем, чтобы водоотводящая инфраструктура зоны хранения была способна удержать все возможно загрязненные стоки, а также за тем, чтобы сточные воды от обработки несовместимых друг с другом отходов не контактировали.
- c. использовать специально выделенную зону/ складское помещение, оборудованное всеми необходимыми средствами предотвращения и управления конкретным риском, сопряженным с тем или иным видом отходов, в целях сортировки и переупаковки мелкого лабораторного оборудования или сходных отходов. Отходы сортируются по классу и степени опасности, с надлежащим учетом всех возможных проблем с совместимостью и, при необходимости, переупаковываются. После этого отходы перемещаются в соответствующую зону хранения.
- g. соблюдать соответствующие правила противопожарной безопасности, предусмотренные для хранения отходов пластика (см. Basel Convention 2002)<sup>65</sup>.
- h. хранить органические жидкие отходы с низкой температурой вспышки в бескислородной атмосфере для предотвращения возгорания. Каждый резервуар, в котором содержатся жидкие отходы, следует поместить в участок, снабженный гидроизоляцией. Отходящие газы необходимо собрать и очистить.

Ниже перечислены методы и приемы, которые следует применять при обращении с отходами:

- a. внедрение систем и процедур обеспечения безопасного перемещения отходов в надлежащую зону хранения.
- b. разработка и внедрение системы организации погрузки и выгрузки материалов/ отходов на предприятии, с учетом любого риска, с которым может быть сопряжено выполнение указанной деятельности.
- c. обеспечение посещения квалифицированным сотрудником предприятия поставщика отходов с целью проверки первоначальных отходов, отходов неясного происхождения или отходов неутонченного характера (в особенности если отходы поставляются в затаренном

---

<sup>65</sup> Basel Convention. 2002. Technical Guidelines for the Identification and Environmentally Sound Management of Plastic Wastes and for their Disposal.

виде), с целью классификации материалов в соответствии полученными данными и упаковки в специальные емкости. В некоторых случаях может понадобиться переложить отдельные упаковочные контейнеры внутри резервуара прокладочным материалом-уплотнителем, подобранным с учетом свойств упакованных отходов, с целью защиты их от механического повреждения.

Следует максимально использовать упаковочную тару, которая может быть применена многократно (резервуары, контейнеры, крупнообъемные контейнеры, поддоны и т.д.)

#### *Исходящие материалы и отходы*

Для уточнения информации об исходящих материалах/ отходах и регулирования данных потоков отходов рекомендуется применять следующие наилучшие доступные технологии и наилучшие виды природоохранной деятельности:

- анализ и обеспечение постоянства качества и состава отправляемых с предприятия материалов/ отходов, соответствующего значимым критериям, определенным принимающей компанией/ службой.
- оценка способа и обстоятельств возможного повторного применения отходов, в соответствии с принципами экологически обоснованного регулирования, в качестве исходного сырья для других отраслей промышленности.
- обеспечение маркировки материалов и отходов в соответствии с классификационным каталогом отходов и другими национальными критериями маркировки.
- обеспечение того, что загрязненные материалы отправляются только тем компаниям, которые располагают надлежащими возможностями для обработки и формами организации технологического процесса. В случае отходов необходимо гарантировать целесообразность технологий их переработки (например, отправки на полигон для отходов соответствующей категории, совместного сжигания в цементных печах, соответствующих принципам наилучших доступных технологий, сжигания в установках для сжигания отходов, соответствующих принципам наилучших доступных технологий).

#### *Дробление, шредирование (измельчение), грохочение и промывка*

В рамках регулирования и обработки материалов, содержащих относящиеся к СОЗ ПБДЭ, широко распространены такие виды деятельности, как дробление, шредирование и грохочение.

Принципы наилучших доступных технологий и наилучших видов природоохранной деятельности заключаются в следующем:

Проводить дробление, шредирование и грохочение материала, при обработке которого могут происходить выбросы в атмосферу (например, пыли, летучих органических соединений, запахов), следует на участках, оборудованных в случае необходимости вытяжными вентиляционными системами, подведенными к очистному оборудованию.

При проведении промывки следует учитывать следующие факторы:

- a. выявление в материалах, подлежащих промывке, промывочных составов (например, растворителей, нефтепродуктов, хладагентов).
- b. перемещение осадка, полученного в результате промывки, на склад для надлежащего хранения; последующая обработка осадка проводится точно таким же способом, которым обрабатывались исходные отходы.
- c. использование для промывки отработанной технической воды водоочистных сооружений вместо свежей пресной воды. Получившиеся сточные воды могут затем быть очищены на водоочистных сооружениях или повторно использованы на предприятии.

## Общие соображения, касающиеся применения наилучших доступных технологий и наилучших видов природоохранной деятельности в отношении выбросов в атмосферу и сброса сточных вод

### *Очистка выбросов в атмосферу*

Для предотвращения или контроля выбросов, состоящих преимущественно из пыли, летучих органических соединений и запахов, а также некоторых неорганических соединений, наилучшие доступные технологии предусматривают ограничение использования резервуаров и емкостей без крышки/ с отъемными крышками и открытых карьеров следующими способами:

- a. предотвращением непосредственного выброса или выпуска загрязняющих веществ в атмосферу в результате хранения материалов, которые могут стать источником атмосферных выбросов (например, летучих органических соединений, пыли, запахов), путем выведения всех вентиляционных клапанов к подходящим системам очистки.
- b. хранением отходов или материалов в укупореженной таре или в водонепроницаемой упаковке.

Необходимо соблюдать правила эксплуатации и технического обслуживания очистного оборудования, в том числе правила обращения с рабочей средой скруббера и обработки/ окончательного удаления использованной среды. Необходимо использовать скрубберы для очистки всех крупных выбросов неорганических газов, неизбежно происходящих в результате физико-химических реакций в рамках производственных процессов.

Необходимо ввести на предприятии процедуры обнаружения и устранения утечек, а) регулирующие обращение с компонентами системы трубопроводов и мест хранения, а также б) регулирующие обращение с соединениями, способными просочиться и создать тем самым экологическую проблему (например, неконтролируемое выделение загрязняющих веществ в атмосферу, загрязнение почвы). Такое регулирование может рассматриваться в составе системы экологического менеджмента.

Необходимо снизить выбросы в атмосферу хотя бы до уровня, допускаемого действующим законодательством данной страны. Предприятиям рекомендуется применять наилучшие доступные технологии для снижения выбросов до предельных значений, установленных для наилучших доступных технологий.

Необходимо внедрить приемлемые программы мониторинга с целью контроля производственных показателей и регистрации выбросов.

### *Очистка сточных вод*

Наилучшие доступные технологии и наилучшие виды природоохранной деятельности направлены на снижение потребления и загрязнения воды посредством следующих методов:

- a. применения в случае необходимости методов гидроизоляции производственных объектов и повышения влагоудерживающей способности;
- b. проведения регулярных проверок емкостей для хранения, топливных цистерн, баков и резервуаров;
- c. применения при необходимости систем отдельного водоотведения в зависимости от концентрации загрязнения (стоков с крыш, стоков с дорог, отработанной технической воды);
- d. применения защитных резервуаров для сбора стоков;
- e. проведения регулярной инвентаризации воды с целью снижения потребления воды и предотвращения ее загрязнения;
- f. отделения технической воды от дождевой воды.



Необходимо разработать и внедрить процедуры для обеспечения соответствия действующей на предприятии системы очистки или сброса сточных вод техническим требованиям, регулирующим норму сброса сточных вод.

Следует избегать отвода сточных вод, минуя очистные системы предприятия.

Необходимо ввести в эксплуатацию оградительную систему для сбора дождевой воды, попадающей на производственные площади, совместно со стоками от промывки автоцистерн, незапланированных сбросов, промывки резервуаров и т.д. и дальнейшего возврата этой воды в производство или отвода в комбинированный коллектор.

Необходимо изолировать водосборные системы для потенциально более загрязненных стоков от сборников менее загрязненной воды.

Необходимо снабдить монолитным бетонным фундаментом критически значимые участки, спускающиеся к системам внутреннего водоотвода предприятия, которые ведут к резервуарам для хранения или коллекторам дождевой воды и воды от каких-либо утечек.

Необходимо собирать дождевую воду в специальный коллектор для проверки, очистки в случае выявления загрязнения и дальнейшего использования.

На предприятии следует как можно чаще прибегать к многократному применению очищенных сточных вод, а также максимально использовать дождевую воду.

Необходимо выявлять сточные воды, в которых могут содержаться опасные соединения. Сточные воды, в которых уже выявлены загрязнители, следует отводить в изолированные водостоки предприятия и подвергать их особой очистке на предприятии или за его пределами.

Для каждого типа сточных вод следует выбрать и применять подходящий метод очистки.

Необходимо принять меры по повышению стабильности и надежности требуемых эксплуатационных характеристик процессов регулирования и очистки (например, оптимизации осаждения металлов).

Необходимо выявить основные компоненты химического состава очищенных стоков (в том числе особенности химической потребности в кислороде), а затем, на основе полной информации, провести оценку результата преобразования данных химических соединений в окружающей среде.

Сброс отработанной воды из места ее хранения допускается только после завершения всех мероприятий по ее очистке и последующей окончательной проверки.

Перед сбросом необходимо привести показатели выбросов в результате очистки сточных вод к допустимым значениям, установленным национальным законодательством и (или) компетентными органами. Предприятиям рекомендуется применять наилучшие доступные технологии для снижения выбросов загрязняющих веществ вместе со сточными водами.

#### Предотвращение загрязнения почвы

Ниже перечислены наилучшие доступные технологии, помогающие предотвратить загрязнение почвы:

- подготовить и поддерживать в должном состоянии производственные площади, включая также принятие мер по предотвращению или быстрому устранению последствий утечек и пролива, а также обеспечению технического обслуживания систем водоотвода и других подземных сооружений.
- обеспечить водонепроницаемость фундамента и систем внутреннего водоотвода предприятия;
- уменьшить размеры промышленной установки и сократить до минимума использование подземных емкостей и трубопроводов.

- Избегать попадания сточных вод в почву.
- предпринять необходимые меры для обеспечения того, чтобы в результате очистки промышленных сточных вод в почву попадал только незагрязненный шлам сточных вод.

## Приложение 2. Универсальные наилучшие доступные технологии и наилучшие виды природоохранной деятельности для обработки пластика

Для придания вторичному пластику, полученному в результате переработки (а также первичным полимерам), требуемой формы готового продукта используется ряд технологий обработки. Сама по себе обработка представляет собой этап преимущественно преобразования физической формы полимера при помощи различных технологий (European Commission 2011a)<sup>66</sup>, например:

- методом экструзии (для производства труб, профилей, листового пластика, изоляции кабелей);
- методом литья под давлением (для изготовления продуктов различной, зачастую очень сложной формы, например, деталей машин, электрических вилок и медицинского оборудования, в частности, шприцев; в производстве термопластических и термореактивных пластмасс);
- методом пултрузии (протяжки) для изготовления реек, трубок и т.п.
- методом экструзии с раздувкой для обработки термопластических полимеров;
- методом полива из раствора для формования термопластических полимеров;
- методом нанесения пластикового покрытия (тонким слоем на различные субстраты);
- методом прессования (для формования смол);
- методом прядения (в случае стекловолокна);
- методом литьевого прессования для формования термореактивных пластмасс;
- методом компрессионного (прямого) прессования для формования термореактивных пластмасс;
- путем смешения полимерных материалов (общеприменимая методика).

Угрозу для окружающей среды и здоровья человека в результате прессования или экструзии переработанного пластика представляют выбросы летучих/ труднолетучих органических соединений (ЛОС/ ТЛОС), в том числе ПБДЭ, относящихся к СОЗ. В некоторых случаях образуются сточные воды, потенциально загрязненные органическими соединениями, отработанными растворителями, и не поддающимися переработке отходами в высокой концентрации.

### Учет методов сокращения выбросов ЛОС/ ТЛОС при проектировании технологического процесса

Технологии сокращения выбросов могут быть предусмотрены еще на этапе проектирования технологического процесса и промышленного оборудования. Производственные условия, заложенные в проект (например, температура, давление, давление паров материалов/ химических соединений), могут повлиять на уровень выбросов ЛОС и ТЛОС.

---

<sup>66</sup> European Commission. 2011a. Best Available Techniques (BAT) Reference Document for Common Waste Water and Waste Gas Treatment/Management Systems in the Chemical Sector. Draft 2, 20 July 2011.

Существуют следующие методы сокращения выбросов ЛОС и ТЛОС при проектировании технологического процесса (European Commission 2011a):

- оптимизация конструкции реактора и электрофизических параметров для сведения выбросов (ЛОС) к минимуму (применение однородных смесей переработанных полимеров, установление оптимальной температуры, использование подходящих санационных систем);
- сокращение использования летучих соединений и материалов с низким давлением насыщенных паров до минимума;
- очистка сточных вод, содержащих ЛОС, путем отгонки, ректификации или экстрагирования с целью удаления растворителей, которые могут способствовать выбросам ЛОС в ходе дальнейших операций по очистке;
- проведение сепарации твердой и жидкой фаз способом, позволяющим минимизировать выбросы ЛОС (например, при помощи центрифуг, посредством сохранения замкнутости системы).

### Учет методов сокращения выбросов ЛОС/ ТЛОС при разработке промышленного оборудования

Выбор компонентов промышленного оборудования и особенности их конфигурации могут оказать серьезное влияние на размеры выбросов летучих соединений. При выборе компонентов промышленного оборудования и их конфигурации следует учитывать следующие факторы (European Commission 2011a)<sup>67</sup>:

А) Ограничение количества потенциальных источников выбросов.

Необходимо должным образом спроектировать схему прокладки трубопровода путем сокращения до минимума длины труб и уменьшения числа соединителей и клапанов. Приваривание фитингов к трубам также может способствовать уменьшению выбросов. Следует сократить до минимума применение насосов и перемещение давления.

В) Максимальное использование специфических особенностей технологического процесса замкнутого цикла.

Необходимо применять замкнутую систему отвода и очистки сточных вод, а также герметизировать резервуары для хранения/ очистки сточных вод.

С) Выбор высококачественного оборудования.

Использование подходящих клапанов.

Уплотнение критически важных мест соединения прокладками с высокой степенью прилегания. Использование насосов, компрессоров и перемешивателей, оснащенных торцевыми уплотнениями.

Д) Выбор подходящего материала для оборудования.

Специально подобранное оборудование, приемлемое для данного технологического процесса.

Предотвращение коррозии посредством выбора соответствующего материала.

Предупреждение коррозии посредством облицовки оборудования или нанесения на него защитного покрытия.

Е) Обеспечение оптимального доступа к наиболее важным компонентам оборудования в целях облегчения мониторинга и работ по техническому содержанию.

Ф) Сбор и очистка выбросов.

---

<sup>67</sup> European Commission. 2011a. Best Available Techniques (BAT) Reference Document for Common Waste Water and Waste Gas Treatment/Management Systems in the Chemical Sector. Draft 2, 20 July 2011

Соображения экономического характера: меры по снижению выбросов могут потребовать некоторых финансовых вложений, однако при этом они же позволяют экономить сырье.

### Приложение 3. Удаление материалов, содержащих ПБДЭ, относящиеся к СОЗ, на полигоны для отходов

Вывоз материалов, содержащих относящиеся к СОЗ ПБДЭ, на полигоны для отходов:

Регулирование отходов, содержащих СОЗ, преследует три цели:

- 1) охрану здоровья человека и окружающей среды;
- 2) сохранение ресурсов;
- 3) удаление и полную стабилизацию отходов наряду с уничтожением СОЗ (в соответствии с концепцией «рационального использования природных ресурсов», поскольку проблемы, связанные с регулированием отходов, не будут переданы следующему поколению).

Таким образом, в рамках целевого регулирования отходов удаление отходов, содержащих СОЗ, на полигоны является наименее предпочтительным вариантом, прибегать к которому в обычных условиях недопустимо. Данное заключение согласуется как с результатами нескольких исследований удаления ПБДЭ, относящихся к СОЗ, на основе оценки жизненного цикла (Vermeulen et al. 2011<sup>68</sup>; Boughton and Horvath 2006<sup>69</sup>; Ciacci et al. 2010<sup>70</sup>; Duval et al. 2007<sup>71</sup>), так и с руководством по применению наилучших доступных технологий и наилучших видов природоохранной деятельности в рамках Стокгольмской конвенции (Stockholm Convention 2007)<sup>72</sup>. Так, упомянутое руководство рекомендует проводить удаление автомобильного шредерного остатка, который всегда содержит ПБДЭ, относящиеся к СОЗ, посредством сжигания в надлежащих установках для сжигания отходов, оборудованных высокоточными приборами для контроля загрязненности воздуха. Соответственно, приведенные ниже руководящие указания касательно захоронения отходов на полигонах исходят из предположения, что все возможности по внедрению «чистого» замкнутого материального цикла производства или по минерализации ПБДЭ, относящихся к СОЗ, путем сжигания в современных установках, оснащенных самым современным оборудованием для контроля загрязненности воздуха или для другого сходного метода очистки, уже были испробованы.

Как переработка, так и сжигание, соответствующие принципам наилучших доступных технологий и наилучших видов природоохранной деятельности, представляют собой дорогостоящие технологии регулирования отходов. Несмотря на то, что неофициальный сектор рециклинга в развивающихся странах в некоторых случаях отличается высокой производительностью при низких затратах, он, как правило, не соответствует экологическим стандартам или стандартам гигиены труда<sup>73</sup>. На практике наилучшие доступные технологии и наилучшие виды природоохранной деятельности преимущественно применяются в

---

<sup>68</sup> Vermeulen I, Van Caneghem J, Block C, Baeyens J, Vandecasteele C. 2011. Automotive shredder residue (ASR): reviewing its production from end-of-life vehicles (ELVs) and its recycling, energy or chemicals' valorisation. *J Hazard Mater.* 190, 8-27.

<sup>69</sup> Boughton B, Horvath A. 2006. Environmental assessment of shredder residue management. *Resources, Conservation and Recycling* 47, 1–25.

<sup>70</sup> Ciacci L, Morselli L, Passarini F, Santini A, Vassura I. 2010. A comparison among different automotive shredder residue treatment processes. *International Journal Life Cycle Assessment* 15, 896–906.

<sup>71</sup> Duval D, Maclean HL. 2007. The role of product information in automotive plastics recycling: a financial and life cycle assessment. *Journal of Cleaner Production* 15, 1158–1168.

<sup>72</sup> Stockholm Convention. 2007. Guidelines On Best Available Techniques And Provisional Guidance On Best Environmental Practices Relevant To Article 5 And Annex C Of The Stockholm Convention On POPs.

<sup>73</sup> Повышение качества охраны здоровья служащих и улучшение производственных показателей неофициального сектора регулирования отходов имеют решающее значение для более приемлемого с экологической точки зрения регулирования отходов в развивающихся странах.

промышленно развитых странах, что обусловлено высокой стоимостью таких технологий. Результаты исследования затрат на регулирование отходов в различных регионах показывают, что объем расходов на регулирование отходов на муниципальном уровне составляет от 0,2% до 0,4% ВВП большинства стран (Brunner and Fellner, 2007<sup>74</sup>). Однако в связи с тем, что размер ВВП по всему миру варьирует от 200 до 100000 долларов на душу населения (The World Bank, 2011)<sup>75</sup>, финансовые ресурсы, доступные для управления отходами, покрывают диапазон с коэффициентом 500. Очевидно, что практика регулирования отходов должна существенно различаться от региона к региону, поскольку многие страны пока еще не в состоянии обеспечить современную инфраструктуру регулирования отходов, включающую передовые методы очистки, рециклинга и удаления отходов, в том числе сжигания. Соответственно, в развивающихся странах на полигоны для отходов и открытые неконтролируемые свалки все еще вывозится гораздо более значительная часть отходов, чем в промышленно развитых странах. В связи с вышесказанным данные руководящие указания по удалению отходов на полигоны в основном предназначены для развивающихся стран и стран с переходной экономикой. В этих странах зачастую практикуется неконтролируемое удаление отходов на открытые неорганизованные свалки, где иногда происходит открытое сжигание, что имеет серьезные отрицательные последствия для здоровья человека и состояния окружающей среды. Данный раздел, а также приложение 4 настоящего руководства содержат полезную информацию для тех промышленно развитых стран, где в краткосрочной перспективе по-прежнему сохраняет актуальность удаление отходов, содержащих СОЗ, на полигоны для захоронения; при этом, однако, необходимо принять все усилия по обеспечению перехода на более рациональные с экологической точки зрения методы.

#### Типы отходов, содержащих относящиеся к СОЗ ПБДЭ и подвергаемых захоронению на полигонах

Отходы, содержащие СОЗ, могут быть распределены по следующим категориям: А) отходы, преимущественно или исключительно состоящие из СОЗ; В) смешанные отходы, в которых СОЗ содержатся в качестве каких-либо добавок; С) отходы, загрязненные следовым количеством СОЗ. Наилучшие доступные технологии/ наилучшие виды природоохранной деятельности и надлежащая практика захоронения отходов на полигонах должны обеспечить соответствующую маркировку каждой партии отходов, которая позволит операторам полигона понять, имеются ли в составе данной партии отходы категории А или нет. Если отходы категории В получены в результате одного технологического процесса (например, шредирования компонентов транспортных средств), и эта информация известна, наличие ПБДЭ, относящихся к СОЗ, может быть оценено в соответствии с «Руководством по инвентаризации ПБДЭ, включенных в список Стокгольмской конвенции о стойких органических загрязнителях» (см разделе 4, 5 и 6). Согласно руководству, разработанном в рамках Стокгольмской конвенции, по факту автомобильный шредерный остаток всегда содержит некоторое количество ПБДЭ, относящихся к СОЗ. При этом, однако, операторам полигонов зачастую бывает трудно распознать отходы категории С или категорий В и С, если они смешаны с другими отходами. Также в расчет необходимо взять то, что отходы категории В и С с большой вероятностью содержат дополнительные опасные вещества, например, другие СОЗ и тяжелые металлы. Таким образом, решения по управлению и захоронению отходов, содержащих относящиеся к СОЗ ПБДЭ, не могут приниматься, исходя из одной только информации о наличии в их составе ПБДЭ.

Ниже перечислены четыре основных сферы применения ПБДЭ, относящихся к СОЗ, являющиеся, соответственно, наиболее значимыми источниками отходов (см. также разделы 4, 5 и 6 настоящего руководства):

---

<sup>74</sup> Brunner PH, Fellner J. 2007. Setting priorities for waste management strategies in developing countries. Waste Management Research 25, 234-240.

<sup>75</sup> World Bank. 2011. World Development Indicators, Green Press Initiative, Washington D.C.

- электротехническое и электронное оборудование (компьютеры, телефонные аппараты, оргтехника, кабели и т.д.),
- транспортный сектор (пластиковые детали, текстильные изделия, обивка салонов и другие компоненты транспортных средств с выработанным ресурсом),
- мебель, матрасы и проч. (в том числе ковры, текстильные изделия и т.п.),
- строительный сектор (изоляционные материалы, фольга и другие полимерные материалы).

Существует два способа определить массовый расход и концентрацию отходов, содержащих ПБДЭ, относящиеся к СОЗ: либо посредством прямого анализа, описанного в «Руководстве по инвентаризации ПБДЭ, включенных в список Стокгольмской конвенции о СОЗ», или методом анализа материальных потоков, как описано, например, в работе (Morf et al., 2008)<sup>76</sup>. Примеры наиболее распространенных потоков отходов в численном выражении и соответствующие значения содержания ПБДЭ, относящихся к СОЗ, представлены в разделах 4 и 5 «Руководства по инвентаризации ПБДЭ, относящихся к СОЗ и ГБД», составленного в рамках Стокгольмской конвенции.

В целом, физические характеристики отходов, содержащих загрязняющие ПБДЭ, не отличаются от характеристик других видов отходов, удаляемых на полигоны для захоронения: в случае отсутствия предварительной обработки размер частиц варьирует в пределах широкого диапазона от  $10^{-6}$  до 2 м, а плотность может составлять от 0,02 до 2 г/см<sup>3</sup>. Таким образом, отбор проб, подготовка пробы для анализа и анализ отходов, содержащих относящиеся к СОЗ ПБДЭ, представляют собой сложную задачу и для отдельных операторов полигонов могут оказаться чрезмерно дорогостоящими процедурами. Стандартных методов отбора проб и анализа подобных видов отходов с целью выявления ПБДЭ с заранее заданной средней квадратической погрешностью пока не разработано. Законодательная основа для отбора проб и исследования отходов задана в стандарте EC CEN/TR 15310-1 («Исследование отходов. Взятие проб отходов. Часть 1. Руководство по выбору базового статистического метода отбора проб, применимого в многообразных ситуациях»).

### Категории полигонов, принимающих отходы, содержащие ПБДЭ, относящиеся к СОЗ

Категории полигонов, перечисленные в левой части таблицы А-1, широко распространены в странах с действующей практикой строительства высокотехнологичных полигонов (см., например, австрийское постановление о захоронении отходов на полигонах (Deponieverordnung, 2008)<sup>77</sup>. Несмотря на то, что некоторые развитые страны воздерживаются от захоронения опасных отходов на полигонах, в других странах все еще эксплуатируются наземные свалки опасных отходов, а в некоторых странах используются подземные репозитории, например, соляные шахты или сходные геологические формации, изолированные от всех элементов гидрологического цикла на протяжении весьма продолжительного периода времени. Поскольку возможности таких подземных хранилищ ограничены, а стоимость при этом довольно велика, хранить в данных репозиториях допускается только токсичные и сравнительно высококонцентрированные отходы. В зависимости от места расположения и технических характеристик на каждый отдельный полигон распространяются свои нормативные требования, однако подземное хранение отходов, загрязненных ПБДЭ, является отдельным предметом обсуждения и не рассматривается в данном приложении.

<sup>76</sup> Morf LS, Buser AM, Taverna R, Bader H-P, Scheidegger R. 2008. Dynamic Substance Flow Analysis as a Valuable Risk Evaluation Tool – A Case Study for Brominated Flame Retardants as an Example of Potential Endocrine Disrupters; *Chimia* 62, 424–431.

<sup>77</sup> Deponieverordnung (2008) Verordnung des Bundesministers für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft über Deponien (Deponieverordnung 2008) Bundesgesetzblatt für die Republik Österreich, 30. Januar 2008. <http://www.lebensministerium.at/umwelt/abfall-ressourcen/abfall-altlastenrecht/awg-verordnungen/deponievo.html>



Категории полигонов, представленные в таблице А-1, как правило, неприменимы к странам с переходной экономикой, где гораздо чаще встречаются свалки, не соответствующие техническим требованиям, предъявляемым к организованным полигонам с санитарно-гигиенической обработкой и предусмотренными фильтрационными слоями, а также полигоны, спроектированные для приема отходов, представляющих бóльшую угрозу, например, токсичных отходов и медицинских отходов. В странах с низким уровнем ВВП основная роль в регулировании отходов отводится экономически целесообразному сбору отходов, в связи с огромной важностью данного аспекта для санитарного контроля и общественного здравоохранения. На это обычно уходит от 80 до 90% бюджета, выделенного на регулирование отходов. Соответственно, оставшейся доли финансового обеспечения в настоящее время недостаточно не только для оснащения сложным современным оборудованием для сбора свалочного фильтрата и газа, но даже и для обеспечения безопасности объектов по обращению с отходами и действенного контроля над поступающими отходами.

#### Доставка отходов на полигоны

До захоронения на полигоне отходы подлежат оценке и контролю. В ходе оценки собираются сведения об источнике отходов (процессе, в результате которого образовался данный вид отходов), типе, свойствах и составе отходов. Состав отходов определяется в соответствии с действующими нормативно-правовыми актами, регулирующими захоронение отходов на полигонах (ср. Директиву ЕС о полигонах для отходов (ЕС 1999))<sup>78</sup>, путем отбора проб, подготовки полученных проб и их анализа. Смешивание или разжижение отходов с целью получения допустимых пороговых значений содержания вредных веществ запрещено и не должно допускаться. Действующие в настоящее время законодательные постановления ограничивают количество отдельных неорганических соединений и некоторые суммарные параметры органических соединений в поступающих на полигоны отходах, однако серьезного внимания отдельным органическим соединениям в настоящее время не уделяется. В странах с переходной экономикой контроль поступающих отходов на уровне отдельных соединений, в силу причин финансового характера, чрезвычайно затруднителен как в случае неорганических, так и органических соединений.

---

<sup>78</sup> European Commission. 1999. Council Directive 1999/31/EC of 26. April 1999 on the landfill of waste. Amended 21.11.2008.

Таблица А-1. Типы полигонов для отходов и соответствующие ограничения на захоронение отходов, содержащих относящиеся к СОЗ ПБДЭ. Таблица составлена в качестве примера на основании действующих в Европе классификаций (European Commission 1999)<sup>79</sup>; данные по другим странам могут отличаться от представленных.

	А. Полигоны для обычных (неактивных) отходов	В. Полигоны для неопасных отходов		С. Полигоны для опасных отходов (например, подземные репозитории)
		В1. для неорганических отходов (содержание ТОС* <50 г/кг)	В2. для органических отходов (ТОС > 50 г/кг)	
Содержимое отходов в целом (примеры)	Грунт, «чистый» щебень, черепица, строительная керамика, путевой балласт и т.д.; органические вещества искусственного происхождения отсутствуют	Смешанный строительный мусор и лом (например, бетон, кирпичи, асфальтовый битум) Неорганические остатки после обработки отходов (например, зольный остаток от сжигания ТБО)	Необработанные и предварительно обработанные ТБО, органическая фракция строительного мусора, остаточные фракции от переработки отходов.	Опасные отходы критерии: ТОС < 60 г/кг
Материалы, содержащие относящиеся к СОЗ ПБДЭ, в составе отходов	Отсутствуют	Остаточные ПБДЭ в плохо разделенных полимерах, например, в результате недостаточной сепарации строительных отходов Органические соединения в продуктах неполного сгорания отходов (только если ТОС < 50 г/кг; содержание углерода в продуктах пиролиза выше)	Могут содержать некоторые опасные бытовые отходы, отходы ЭЭО, отходы транспортных средств с выработанным ресурсом, отходы мебели и предметов домашнего обихода, а также содержащие ПБДЭ остатки строительного мусора (изоляция, фольга	Отходы с высоким содержанием ПБДЭ, относящихся к СОЗ, в результате промышленного производства или <b>добычи</b>

<sup>79</sup> European Commission. 1999. Council Directive 1999/31/EC of 26. April 1999 on the landfill of waste. Amended 21.11.2008.

			и другие отходы пластика)	
Препятствия к дальнейшему распространению ПБДЭ, относящихся к СОЗ	Отсутствуют	Только на ограниченное время	Только на ограниченное время	Возможны, если для ПБДЭ, относящихся к СОЗ, изолированное хранение в безопасном и извлекаемом виде в сухой и стабильной геологической формации
Сбор фильтрата	Не проводится	Проводится	Проводится	В зависимости от условий (необязателен в случае хранения в геологической формации)
Сбор и очистка газов	Не проводится	Проводится	Проводится	Не проводится (необязательны)
Нормативно-правовые акты, регулирующие содержание ПБДЭ, относящихся к СОЗ, в отходах, а также в элюате. (ПБДЭ, относящиеся к СОЗ, входят в список 1 базовой директивы ЕС о воде и считаются веществами, попадания которых в грунтовые воды нельзя допустить)	Директива ЕС о полигонах для захоронения отходов <sup>80</sup> : не установлено ограничений общего содержания или количества элюата.  Австрийское постановление о захоронении отходов на полигонах (2008): не регулируются, но установлены ограничения для	Директива ЕС о полигонах для захоронения отходов: не установлено ограничений общего содержания или количества элюата.  <u>Австрийское постановление о захоронении отходов на полигонах:</u> Полигоны для отходов категорий С и D: не регулируются, но установлены ограничения для количества элюата:	Директива ЕС о полигонах для захоронения отходов: не установлено ограничений общего содержания или количества элюата.  <u>Австрийское постановление о захоронении отходов на полигонах:</u> Не регулируются, но установлены ограничения для отходов:	Директива ЕС о полигонах для захоронения отходов: не установлено ограничений общего содержания или количества элюата.

<sup>80</sup> European Commission. 1999. Council Directive 1999/31/EC of 26. April 1999 on the landfill of waste. Amended 21.11.2008.

	<p>количества элюата: Содержание ЕОХ** &lt; 0,3 мг/кг (в пересчете на содержание хлора)</p>	<p>ЕОХ &lt; 3 мг/кг (в пересчете на содержание хлора) Полигоны для остатков сжигания отходов: не регулируются, но установлены ограничения для количества элюата: ЕОХ &lt; 30 мг/кг (в пересчете на содержание хлора)</p>	<p>Содержание РОХ*** (в пересчете на содержание хлора) &lt; 1000 мг/кг (в пересчете на сухое вещество) Для элюата: ЕОХ &lt; 30 мг/кг (в пересчете на содержание хлора)</p>	
<p>Нормативно-правовые акты, регулирующие обращение с отходами, которые потенциально могут содержать ПБДЭ, относящиеся к СОЗ</p>	<p>Директива ЕС о полигонах для захоронения отходов: ТОС &lt; 30 г/кг Австрийское постановление о захоронении отходов на полигонах: пластик &lt; 0,5% по весу (в пересчете на сухое вещество)</p>	<p>Директива ЕС о полигонах для захоронения отходов: Без ограничений Австрийское постановление о захоронении отходов на полигонах: ТОС &lt; 50 г/кг (в случае полигонов для отходов категории С и D &lt; 30 г/кг)</p>	<p>Директива ЕС о полигонах для захоронения отходов: Без ограничений Австрийское постановление о захоронении отходов на полигонах: Значения низшей теплотворной способности &lt; 6600 КДж/кг</p>	<p>Директива ЕС о полигонах для захоронения отходов: ТОС &lt; 60 г/кг</p>

\* ТОС – общий органический углерод

\*\* ЕОХ – экстрагируемые органические галогены

\*\*\* РОХ – вытесняемые органические галогены

Действующее законодательство, регулирующее захоронение отходов на полигонах, не требует анализа содержания ПБДЭ, относящихся к СОЗ, в отходах. Такое решение может быть объяснено, исходя из тех соображений, что подвергаемые захоронению на полигонах отходы состоят из огромного количества веществ, многие из которых принадлежат к группе стойких органических загрязнителей и других токсичных соединений. Соответственно, затраты на проведение анализа с целью выявления концентрации всех этих веществ будут высоки. Более действенным представляется регулирование суммарных параметров (см. таблицу А-1) и принятие решений на основе результатов анализа этих суммарных параметров. В случае несоответствия техническим требованиям, предъявляемым к полигону, необходимо либо подвергнуть отходы предварительной обработке, либо удалить их на полигон, относящийся к другой категории.

В развивающихся странах оценка и контроль поступающих на удаление отходов обыкновенно должны основываться на местном опыте и надлежащей практике управления. Необходимо проводить визуальный осмотр поступающих отходов с целью выявления категорий с высоким содержанием ПБДЭ, относящихся к СОЗ, например, шредерного остатка транспортных средств с выработанным ресурсом, отходов пластика и печатных плат, образовавшихся в результате демонтажа электронного оборудования, изоляционных строительных материалов, а также отходов удаления изоляционной оболочки кабелей. Отходы, содержащие загрязняющие ПБДЭ, например, шредерные остатки, являющиеся продуктом переработки транспортных средств с выработанным ресурсом, должны быть смешаны с другими, невоспламеняющимися и инертными отходами: это позволит снизить риск образования большого количества летучих и токсичных галогеновых соединений в случае пожара на полигоне (см. ниже).

#### Эксплуатация и техническое обслуживание полигонов, на которые удаляются отходы, содержащие относящиеся к СОЗ ПБДЭ

Организованные полигоны с санитарно-гигиенической обработкой представляют собой наиболее долговечные искусственные сооружения; материалы подвергаются захоронению на полигонах с тем расчетом, что они «останутся там навечно». С учетом геологических процессов эрозии и выветривания, можно утверждать, что «навечно» означает десятки тысяч лет, по прошествии которых большинство полигонов будет уничтожено процессами геогенетического характера.

Поскольку ПБДЭ, относящиеся к СОЗ, отличаются крайне медленным разложением, продолжительность пребывания данных соединений в окружающей среде также будет большой. Некоторое время назад М. Дэнон-Шеффер смоделировала процесс дебромирования дека-БДЭ до ПБДЭ, отличающихся более низкой степенью бромирования (в том числе ПБДЭ, относящихся к СОЗ), на полигонах для отходов (Danon-Schaffer and Mahecha-Botero 2010)<sup>81</sup>. В зависимости от выбранной скорости разложения, значительное дебромирование занимает от 70 до нескольких сотен лет, постепенно увеличивая тем самым уровень ПБДЭ, относящихся к СОЗ. Таким образом, мусорные полигоны представляют собой долгосрочные накопители и источники ПБДЭ, относящихся к СОЗ.

В конечном итоге оградительные конструкции организованного полигона разрушатся или придут в упадок, что с течением времени может привести к утечке веществ, захороненных на полигоне. Агентство США по охране окружающей среды выражало опасения в том, что «большие запасы ПХД, содержащиеся в местах захоронения отходов, представляют собой серьезную угрозу для будущего» (USEPA 1979<sup>82</sup>); степень риска, сопряженного с применением относящихся к СОЗ ПБДЭ, не менее велика. Срок службы оградительных систем полигонов ограничен и исчисляется десятилетиями или,

---

<sup>81</sup> Danon-Schaffer M.N, Mahecha-Botero A. 2010. Influence of chemical degradation kinetic parameters on the total debromination of PBDE in a landfill system. 30th International Symposium on Halogenated Organic Pollutants, 12-17 September 2010. San Antonio, USA.

<sup>82</sup> USEPA (1979). Polychlorinated Biphenyls 1929-1979 Final Report, US Environmental Protection Agency: 94

как максимум, столетиями – имеющийся опыт не позволяет судить более точно, (Buss et al. 1995<sup>83</sup>, Allen 2001<sup>84</sup>, Simon and Mueller 2004<sup>85</sup>) – т.е. следует ожидать, что ПБДЭ, относящиеся к СОЗ, и другие вещества, удаленные на полигоны, будут распространяться на протяжении длительного периода времени (нескольких столетий) (Weber et al. 2011)<sup>86</sup>. Таким образом, для прогнозирования уровня выбросов в окружающую среду на протяжении всего срока эксплуатации полигона необходимо знать характеристики элементов полигона, а также соответствующие эксплуатационные характеристики оградительных сооружений полигона. Опубликовано множество результатов исследований, направлены на оценку первых десятилетий жизни открытых свалок, а также организованных полигонов, однако исследования, изучающие или моделирующие полный жизненный цикл ПБДЭ и других стойких токсических химических соединений на мусорных полигонах в течение длительных периодов времени по-прежнему редки.

На полигонах в развивающихся странах может обнаруживаться самый широкий спектр соединений, что обусловлено невозможностью (полного) контроля за сбором отходов и отправкой их на полигон. В развитых странах данная проблема стоит не так остро, благодаря проведению предварительной обработки отходов и строгому регулированию отходов, поступающих на полигон. Тем не менее, даже при таких жестких мерах контроля остается возможность того, что на полигоны какой-либо отдельно взятой категории попадут неподходящие отходы. Соответственно, непременным условием является проектирование у полигонов фильтрационных слоев и системы изолирующих покрытий, помогающих предотвратить проникновение воды и просачивание фильтрата. Затраты на сооружение оградительных конструкций зависят от типа отходов, удаляемых на данный полигон, то есть от категории полигона. Ввиду повышенной реактивности и вымываемости категорий отходов, удаляемых на полигоны категорий А – С, к фильтрационным слоям должны предъявляться более строгие требования. В условиях переходных экономик, при широкой распространенности полигонов, допускающих удаление смешанных отходов, фильтрационные слои должны соответствовать тем же критериям, что и сооружения для полигонов категории В. Это, однако, влечет за собой расходы, которые не всегда оказываются по средствам развивающимся странам.

Для того, чтобы понимать и должным образом регулировать процессы, происходящие на полигонах, и связанные с ними выбросы, необходимо разобраться в химических реакциях, имеющих место на полигонах для отходов. Полигон, в сущности, представляет собой анаэробный биохимический реактор, процессы в котором запускаются в присутствии углерода и азота и контролируются стоком воды. Другими словами, конечными продуктами такого реактора являются метан, двуокись углерода и вода. Вследствие наличия большого количества неорганических и органических компонентов, некоторые из которых плохо поддаются термической обработке, продукты захоронения отходов на полигонах содержат большое количество газообразных и жидких соединений, как безвредных, так и токсичных. Таким образом, для достижения целей по регулированию отходов первостепенное значение имеет сбор фильтрата и свалочных газов.

### Выбросы ПБДЭ с полигонов для отходов

В целом, для функционирования реактора полигона органические микропримеси, такие как ПБДЭ, несут незначительную нагрузку. Ситуация может изменяться в особых случаях, когда захоронению подвергаются отходы производства или некоторые промышленные отходы (Takeda 2007)<sup>87</sup>. Тем не менее, реактор

---

<sup>83</sup> Buss SE, Butler AP, Sollars CJ, Perry R, Johnston PM. 1995. Mechanisms of Leakage through Synthetic Landfill Liner Materials. *Water and Environment Journal* 9, 353-359.

<sup>84</sup> Allen A. 2001. Containment landfills: the myth of sustainability. *Engineering Geology* 60, 3-19.

<sup>85</sup> Simon F-G, Mueller W. 2004. Standard and alternative landfill capping design in Germany. *Environmental Science & Policy* 7, 277-290.

<sup>86</sup> Weber R, Watson A, Forter M, Oliaei F. 2011. Persistent Organic Pollutants and Landfills - A Review of Past Experiences and Future Challenges. *Waste Management and Research* 29, 107-121.

<sup>87</sup> Takeda N 2007. Restoration project of Teshima Island stained by illegal dumping. *Organohalogen Compounds* 69, 873-876. <http://www.dioxin20xx.org/pdfs/2007/07-402.pdf>



полигона является значимым при высвобождении микроэлементов. Помимо собственных свойств микропримесей (коэффициента разделения октанол-вода  $K_{ow}$ , коэффициента Генри, давления насыщенных паров, растворимости, стойкости), характер преобразования отдельных компонентов отходов определяют параметры самого полигона, например, температура, давление, ионная сила, коэффициент кислотности pH и окислительно-восстановительные условия.

При оценке информации о выбросах ПБДЭ, относящихся к СОЗ, с полигонов важно проводить различие между современными высокотехнологичными полигонами, с одной стороны, и другими видами удаления отходов, включающими захоронение большого количества содержащих ПБДЭ отходов без верхнего и нижнего фильтрационных слоев, открытые или несанкционированные свалки, с другой. Первый вид удаления отходов приводит к очень низким выбросам ПБДЭ, относящихся к СОЗ, в окружающую среду (по крайней мере в сравнительно краткосрочной перспективе), в то время как последние могут стать источником значительного загрязнения окружающей среды. Некоторые авторы признают, что труднолетучие соединения, такие как относящиеся к СОЗ ПБДЭ и ПХД, подвергаются выщелачиванию и проникают в почву и грунтовые воды вместе с тяжелыми металлами и другими веществами, захороненными на полигонах, не соответствующих требованиям (Osako et al. 2004<sup>88</sup>, Odusanya et al. 2009<sup>89</sup>, Danon-Schaffer 2010<sup>90</sup>, Danon-Schaffer and Mahecha-Botero 2010<sup>91</sup>, Weber et al. 2011). В рамках исследования пяти различных полигонов в Северной Америке, проведенного группой исследователей и описанного в работе (Oliaei et al. 2002)<sup>92</sup>, выявленная концентрация ПБДЭ в свалочном фильтрате находилась в диапазоне от 30 до 250 нг/л. Относящиеся к СОЗ ПБДЭ также обнаруживались в почве территорий, прилегающих к мусорным полигонам в различных регионах Канады (Danon-Schaffer 2010), что свидетельствует о выбросах ПБДЭ с полигонов в атмосферу с последующим депонированием. Более высокое содержание загрязнителей было зарегистрировано в свалочных фильтратах, образовавшихся в результате несанкционированного складирования на открытых свалках автомобильного шредерного остатка и электронных отходов, которые представляют собой хорошо известный источник свалочных выбросов СОЗ, требующих проведения дорогостоящих мероприятий по рекультивации (Takeda et al. 2007)<sup>93</sup>.

При захоронении отходов с использованием передовых технологий, предусматривающем сооружение фильтрационных слоев, сбор и очистку фильтрата и свалочных газов, а также добросовестное управление полигоном, загрязнение окружающей среды ПБДЭ, относящимися к СОЗ, можно удержать на низком и экологически приемлемом уровне, что особенно актуально в связи с тем, что полимеры, содержащие ПБДЭ, не разлагаются и не высвобождают загрязнители. Эксперты, проводившие оценку вариантов регулирования п-окта-БДЭ по заказу Европейской комиссии, пришли к заключению о низкой вероятности значительного вымывания п-окта-БДЭ из полимеров с фильтратом (BiPRO 2007<sup>94</sup>). Авторы считают, что при надлежащем удалении отходов в соответствии с требованиями выбросы

---

<sup>88</sup> Osako M, Kim Y-J, Sakai S-I. 2004. Leaching of brominated flame retardants in leachate from landfills in Japan. *Chemosphere* 57, 1571-1579.

<sup>89</sup> Odusanya DO, Okonkwo JO, Botha B. 2009. Polybrominated diphenyl ethers (PBDE) in leachates from selected landfill sites in South Africa. *Waste Management* 29, 96-102.

<sup>90</sup> Danon-Schaffer MN. 2010. Polybrominated Diphenyl Ethers in Landfills from Electronic Waste February 2010. PhD thesis. Faculty of Graduate Studies. University of British Columbia. Vancouver, Canada.

<sup>91</sup> Danon-Schaffer M.N, Mahecha-Botero A. 2010. Influence of chemical degradation kinetic parameters on the total debromination of PBDE in a landfill system. 30th International Symposium on Halogenated Organic Pollutants, 12-17 September 2010. San Antonio, USA

<sup>92</sup> Oliaei F, King P, Phillips L. 2002. Occurrence and concentrations of polybrominated diphenyl ethers (PBDE) in Minnesota environment. *Organohalogen Compounds* 58, 185-188.

<sup>93</sup> Takeda N 2007. Restoration project of Teshima Island stained by illegal dumping. *Organohalogen compounds* 69, 873-876. <http://www.dioxin20xx.org/pdfs/2007/07-402.pdf>

<sup>94</sup> BiPRO. 2007. Management Option Dossier for commercial octabromodiphenyl ether (c-OctaBDE) 12 June 2007. Updated version on the basis of the outcome of the Sixth Meeting of the Task Force on POPs, 4-6 June 2007, Vienna, Austria. Service Contract ENV.D.1/SER/2006/0123r DG Environment, European Commission.

незначительны, и этот вывод представляется применимым ко всем странам, входящим в состав Европейской экономической комиссии ООН (ViPRO 2007). К сходному заключению пришли авторы отчета, подготовленного Департаментом по охране окружающей среды Новой Зеландии в рамках процесса рассмотрения СОЗ (Keet et al. 2010<sup>95</sup>). Авторы, со ссылкой на результаты исследования трех полигонов, утверждают, что удаление отходов пластика, содержащего ПБДЭ, на организованные полигоны характеризуется высоким техническим уровнем и безопасностью и приводит к выявлению крайне низкого уровня загрязняющих ПБДЭ в свалочном фильтрате. В сравнении с количеством захороненных ПБДЭ концентрация данных загрязнителей в выбросах с полигонов была признана чрезвычайно малой. Авторы, впрочем, рекомендуют проведение дальнейших и более масштабных исследований для подтверждения полученных ими данных, в рамках которых методом моделирования важно оценить угрозу загрязнения на протяжении более длительного времени, после выхода из строя технического обеспечения.

Исходя из этих данных, ключевая проблема для окружающей среды – помимо пожаров на мусорных полигонах (см. ниже) – заключается в ненадлежащем захоронении отходов, приводящем к загрязнению гидросферы, ввиду того, что такая практика чаще всего наблюдается в развивающихся странах и странах с переходной экономикой. Результатом неприемлемого захоронения отходов может стать причинение вреда здоровью людей в окрестностях полигонов и свалок, на что указывают результаты исследования образцов грудного молока женщин, проживающих вблизи свалок в Индии (Someya et al. 2010)<sup>96</sup>, а также результаты оценки здоровья малолетних сборщиков мусора, живущих и работающих на свалке в Никарагуа (Athanasiadou et al. 2008)<sup>97</sup>.

Для промышленно развитых стран, располагающих доступом к наилучшим современным технологиям захоронения отходов необходимо установить, не происходят ли процессы дебромирования/преобразования ПБДЭ стремительнее, чем износ оградительных систем полигона, принимая во внимание тот факт, что большие запасы дека-БДЭ, хранящиеся на полигоне, подвергаются дебромированию до ПБДЭ, относящихся к СОЗ.

При долгосрочном прогнозировании необходимо учитывать климатические изменения и экстремальные метеорологические явления (Laner et al. 2009<sup>98</sup>; Weber et al. 2011<sup>99</sup>). Данные факторы, впрочем, характеризуют общее воздействие на окружающую среду и значимы не только при оценке влияния ПБДЭ, относящихся к СОЗ. Соответственно, при захоронении отходов в соответствии с принципами наилучших доступных технологий необходимо принимать во внимание эти факторы, которые, среди прочего, с большой долей вероятности будут обуславливать более быстрый износ фильтрационных слоев, повышение образования фильтрата, мобилизацию большего количества фракций отходов и увеличение скорости улетучивания. Указанные обстоятельства имеют особую значимость для прибрежных районов, где вероятность затопления и взаимодействие с морской водой создают угрозу для окружающей среды и здоровья человека в связи с биоаккумуляцией загрязнителей (Bebb and Kersey 2003)<sup>100</sup>.

---

<sup>95</sup> Keet B, Giera N, Gillett R, Verschueren K. 2010. Investigation of brominated flame retardants present in articles being used, recycled and disposed of in New Zealand, A technical report prepared for the Ministry for the Environment.

<sup>96</sup> Someya M, Ohtake M, Kunisue T, Subramanian A, Takahashi S, Chakraborty P, Ramesh R, Tanabe S. 2010. Persistent organic pollutants in breast milk of mothers residing around an open dumping site in Kolkata, India: Specific dioxin-like PCB levels and fish as a potential source. *Environmental International* 36, 27–35.

<sup>97</sup> Athanasiadou M, Cuadra SN, Marsh G, Bergman A, Jakobsson K. (2008). Polybrominated diphenyl ethers (PBDE) and bioaccumulative hydroxylated PBDE metabolites in young humans from Managua, Nicaragua. *Environ Health Perspect* 116, 400-408.

<sup>98</sup> Laner D, Fellner H and Brunner PH. 2009. Flooding of municipal solid waste landfills — An environmental hazard? *Science of the Total Environment* 407, 3674–3680.

<sup>99</sup> Weber R, Watson A, Forter M, Oliaei F. 2011. Persistent Organic Pollutants and Landfills - A Review of Past Experiences and Future Challenges. *Waste Management and Research* 29, 107-121.

<sup>100</sup> Bebb J, Kersey J. 2003. Potential Impacts of Climate Change on Waste Management R and D Technical report X1-042. Bristol, UK: Environment Agency.

## Высвобождение ПБДЭ, относящихся к СОЗ, при пожарах на полигонах и свалках

Пожары на свалках отходов неизбежны и происходят часто, особенно в развивающихся странах. В действительности, иногда свалки поджигают специально – с целью освободить место для новых отходов, извлечь из отходов металлы или улучшить санитарно-гигиенические условия (повысить защищенность от птиц, грызунов). Даже в промышленно развитых странах, располагающих современными технологиями для захоронения отходов, периодически случаются возгорания мусорных полигонов по неизвестным причинам. По данным, полученным в ходе исследования в Финляндии, ежегодное количество пожаров на полигонах в этой стране составляет 0,6 возгораний на полигон, причем 25% от общего числа пожаров распространяются на глубину более 2 м (Ettala et al. 1996)<sup>101</sup>, где температурные условия благоприятствуют образованию бромированных диоксинов и фуранов (ПБДД/ ПБДФ).

Пожары на мусорных полигонах крайне плохо поддаются тушению; в результате пожара происходит выброс в атмосферу значительного количества опасных летучих и пирогенных веществ. Такие пожары представляют собой значимый источник ПХДД/ ПХДФ, особенно в развивающихся странах и странах с переходной экономикой (UNEP 2005)<sup>102</sup>. Наилучшим способом уменьшить риск возникновения пожара на полигоне является строгий контроль поступающих отходов и недопущение на свалку горящих или легковоспламеняющихся отходов, а также незамедлительное уплотнение отходов сразу же после их складирования и ежедневная засыпка отходов инертными материалами, например, неорганическим строительным мусором.

Основной опасностью, связанной с пожарами на полигонах/ свалках и выбросами относящихся к СОЗ ПБДЭ, является возможное образование и высвобождение ПБДД и ПБДФ (UNEP 2010)<sup>103</sup>. Уровень ПБДЭ и ПБДД/ ПБДФ измерялся в ходе преднамеренных пожаров на открытых свалках в Мексике, инициированных в рамках научного исследования коэффициентов выбросов при открытом сжигании отходов на свалках (Gullett et al. 2009)<sup>104</sup>. Результаты измерений показали, что источником ПБДЭ с наибольшей вероятностью являются промышленные бромированные огнезащитные составы, а не термические процессы. Объем выбросов ПБДД/ ПБДФ был аналогичен объема выбросов хлорированных аналогов данных соединений (ПХДД/ ПХДФ). При тлеющем горении генерируется больше выбросов, чем при горении с образованием пламени. Для лучшего понимания процессов формирования ПБДД/ ПБДФ следует изучить термический процесс дебромирования в различных условиях: при различных концентрациях кислорода и при разных температурах; особенно тщательному рассмотрению подлежит термическое преобразование дека-БДЭ в ПБДЭ более низкой степени бромирования, которое, возможно, в значительной степени способствует образованию ПБДЭ, относящихся к СОЗ, и ПБДД/ ПБДФ в ходе термических процессов (UNEP 2010).

## Наилучшие доступные технологии для предотвращения краткосрочных и долгосрочных выбросов ПБДЭ, относящихся к СОЗ, с полигонов для отходов

### Практика захоронения отходов

В целях предотвращения несанкционированного удаления отходов периметр полигона должен быть надежно огорожен с возможностью блокировки входных ворот, а также оснащен полноценными и

---

<sup>101</sup> Ettala M, Rahkonen P, Rossi E, Mangs J, Keski-Rahkonen O. 1996. Landfill fires in Finland. Waste Management and Research 14, 377-384.

<sup>102</sup> UNEP. 2005. Standardized Toolkit for Identification and Quantification of Dioxin and Furan Releases. Edition 2.1.

<sup>103</sup> UNEP. 2010. Supporting Document for the Technical review of the implications of recycling commercial penta and octabromodiphenyl ethers. Stockholm Convention document for 6th POP Reviewing Committee meeting (UNEP/POPS/POPRC.6/INF/6) Geneva 11-15. October 2010.

<sup>104</sup> Gullett BK, Wyrzykowska B, Grandesso E, Touati A, Tabor DG, Ochoa GS. 2009. PCDD/F, PBDD/F, and PBDE Emissions from Open Burning of a Residential Waste Dump. Environmental Science Technology 44, 394-399.

должным образом регулируемыми площадками для приема отходов, оборудованными платформенными весами. Также требуется отдельный кабинет для регистрации типа и массы/ объема отходов и места их захоронения на полигоне. Кроме того, в наличии должен иметься отдельный участок, выполняющий функции промежуточного склада для т.н. проблемных отходов, поступивших на полигон, допускающий хранение и, при необходимости, отбраковку отходов, не соответствующих стандартам. Если полигон предназначен для различных видов отходов, категории А – С (см. таблицу А-1), для каждого вида отходов должны быть предусмотрены отдельные дороги, ведущие ко контрольно-пропускному пункту у въезда на полигон. Необходимо принимать меры предосторожности для предотвращения переноса отходов на колесах и покрышках транспортных средств за пределы полигона.

В соответствии с принципами наилучших доступных технологий, удаление отходов производится путем укладки плотными слоями с ежедневной засыпкой инертными материалами (например, строительным мусором; следует избегать засыпки компостом, который не годится для этой цели). Данные меры, помимо прочего, снижают также риск возникновения пожаров. Необходимо принимать соответствующие меры предосторожности для быстрой локализации огня во избежание распространения пожара по всей территории полигона и повреждения зданий или систем сбора и очистки свалочных газов и фильтрата. Первостепенное значение имеет обучение персонала полигона мерам пожарной безопасности. Кроме того, необходимо вести наблюдение за температурным режимом и концентрацией газов на поверхности полигона. Риск, сопряженный с отсутствием геотехнической стабильности, может быть сведен к минимуму путем тщательного выбора отходов для захоронения соответственно с категорией полигона и планировкой уклона, а также посредством регулярного и интенсивного уплотнения захороненных отходов вкуче с ежедневной засыпкой.

Перед завершением эксплуатации полигон должен быть оборудован верхним изолирующим слоем в следующих целях: i) сведения к минимуму проникновения воды внутрь полигона и образования фильтрата; ii) предотвращения неконтролируемых утечек свалочного газа; iii) защиты от эрозии; iv) обеспечения возможности рекультивации. Для достижения первой цели участок полигона на стадии проектирования должен быть разбит на ряд котлованов, спускающихся каскадом с соответствующим уклоном/ откосом, а также снабжен верхним укрывающим слоем, оснащенный системой сбора воды или покрытием для регулирования водоотведения (что позволяет достичь баланса между показателями выпадения атмосферных осадков и испарения воды из почвы).

### *Сбор и очистка фильтрата*

Сбор и очистка фильтрата является основным фактором, определяющим стоимость захоронения отходов на полигонах, в особенности в случае учета длительного периода ухода за территорией полигона после завершения его эксплуатации, что предусматривает также обезвреживание и мониторинг фильтрата. Таким образом, мероприятие первостепенной важности при регулировании отведения свалочных вод состоит в обеспечении изоляции тела полигона от контакта с поверхностными и грунтовыми водами в целях сведения к минимуму образования фильтрата. Тип, конструкция и время сооружения нижнего и верхнего изолирующих слоев полигона зависят от класса полигона, характера складываемых отходов, климатических условий, углов откоса бортов полигона, топографии и оседания тела полигона.

Разные классы отходов, обобщенные в таблице А-1, сопряжены с разными трудностями в отношении регулирования водоотведения: несмотря на то, что содержание загрязнителей в фильтрате отходов категории А невелико, органические вещества и азот содержатся в фильтрате отходов категории В1 в низкой, а в фильтрате отходов категории В2 – в очень высокой концентрации, в особенности на ранних этапах. Отходы категории В2 тем самым требуют проведения высокотехнологичных процедур очистки на протяжении длительного периода времени (от десятилетий до столетий); очистка отходов категории В1 сопряжена с меньшими временными и прочими затратами, однако данный класс отходов все равно нуждается в контроле и мониторинге. В связи с токсичностью отходов, относящихся

к категории С, не следует допускать контакта отходов данного класса с водой; соответственно, вероятность образования фильтрата сравнительно мала.

Отходы, относящиеся к категории В2, содержат воду и подвержены биологическому разложению; соответственно, полигон отходов категории В2 выполняет функцию биореактора. Количество воды является ключевым параметром в процессах, происходящих в данном реакторе. Таким образом, регулирование количества воды имеет первостепенное значение. Перед началом захоронения отходов необходимо выработать методологию, назначив ясные стратегические цели: планируется ли увеличивать производительность биореактора с целью ускорить биохимические реакции и сосредоточить выбросы в первые десятилетия работы полигона или же предпочтительна стратегия сдерживания («сухой могильник»), которая не предусматривает управление реактором с намерением достичь биологической стабилизации и в будущем сопряжена с риском долговременных выбросов в случае контакта отходов с водой.

Ключом к количественному регулированию водоотведения и рационального водоснабжения, а также непременным условием для оптимальной очистки фильтрата свалочных вод является водный баланс. Следует оценивать как выпадение атмосферных осадков, так и испарение воды из почвы, и регистрировать количество фильтрата в виде дробной части от суммарного количества осадков на ежемесячной, а также на ежегодной основе.

Нижний изолирующий слой полигона представляет собой искусственное сооружение, препятствующее переносу загрязнителей в подповерхностные слои почвы и грунтовые воды. Данный слой состоит из прокладочного материала и системы для сбора фильтрата. У полигонов, предназначенных для отходов категории А, нижний изолирующий слой представляет собой два слоя неорганического минерального вещества толщиной в общей сложности 50 см. Нижний изолирующий слой полигонов для отходов категории В состоит из 1) трех слоев неорганического минерального вещества общей толщиной 75 см и 2) листа полиэтилена высокой плотности толщиной приблизительно 2,5 мм. Также возможны альтернативы изолирующим слоям указанного состава. Для эффективного сбора фильтрата продольный уклон изолирующего покрытия дна полигона должен составлять 2%, а поперечный уклон – 3%. В отношении полигонов для опасных отходов требуется

Сбор фильтрата предполагает удаление с территории полигона сточных вод. Фракция ПБДЭ, относящихся к СОЗ, в фильтрате свалочных вод в целом невелика в сравнении с общим содержанием ПБДЭ в захороненных отходах (как уже отмечалось выше), что обусловлено физико-химическими свойствами данных соединений. При применении стандартных методов очистки сточных вод концентрация данных загрязнителей в фильтрате снижается еще больше.

### *Сбор и очистка свалочного газа*

Вследствие анаэробного разложения органических отходов на полигонах, предназначенных для отходов категории В2, за период продолжительностью 20 лет образуется от 100 до 300 м<sup>3</sup> свалочного газа (биогаза) на тонну отходов. Биогаз преимущественно состоит из метана (40-60% от общего объема), а также двуокиси углерода (40-60%) (Mackie 2009)<sup>105</sup> и других летучих соединений в переменных количествах. Выделение свалочных газов может происходить также и на полигонах других категорий, хотя и в меньших количествах. Соответственно, полигоны для отходов категории В2 требуют наличия систем сбора свалочного газа. Основная цель сбора биогаза заключается в предупреждении изменений климата путем предотвращения выбросов СН<sub>4</sub> и СО<sub>2</sub>. Наилучшие доступные технологии заключаются в сборе и полезном употреблении свалочных газов для извлечения энергии. Если преобразование газа в энергию не представляется возможным, необходимо сжечь свалочный газ в факеле при повышенной температуре в контролируемых условиях. В целом,

---

<sup>105</sup> Mackie KR, Cooper CD. 2009. Landfill gas emission prediction using Voronoi diagrams and importance sampling. *Environmental Modelling & Software* 24, 1223–1232.

доля ПБДЭ, поступающих в свалочные газы и затем в атмосферу, довольно мала и будет незначительна в том случае, если сбор и очистка газа производится должным образом.

### Наилучшие доступные технологии и наилучшие виды природоохранной деятельности для регулирования полигонов после завершения их эксплуатации

Поскольку полигоны для захоронения отходов представляют собой наиболее долговечные инженерные сооружения, уход за полигонами после завершения их эксплуатации имеет решающее значение. Приблизительная оценка постэксплуатационного периода функционирования полигонов показывает, что, в зависимости от типа захороненных отходов и их предварительной обработки, уход за полигоном может занять от одного до нескольких столетий (Belevi and Vaccini 1989<sup>106</sup>, Laner et al. 2011<sup>107</sup>). Некоторые свалки, устроенные еще в эпоху Древнего Рима, по-прежнему вырабатывают загрязняющий фильтрат, хотя состав его существенно отличается от стоков полигонов и свалок, созданных в гораздо более позднее время (Freeze and Cherry 1979)<sup>108</sup>. Цель постэксплуатационного ухода состоит в обеспечении защиты окружающей среды на протяжении всего срока жизни полигона. Это не означает необходимости мониторинга полигона на протяжении всего жизненного цикла, но требует изучения, моделирования и отслеживания дальнейшего состояния и трансформаций полигона до тех пор, пока не будет достигнута достаточная уверенность в том, что выбросы загрязняющих веществ не превысят экологически приемлемых пороговых значений на протяжении всего остатка жизненного цикла полигона. Продолжительность пребывания относящихся к СОЗ ПБДЭ в окружающей среде может составлять несколько сотен лет до того, как они распадутся на более простые соединения. На полигонах подвергаются захоронению также и другие, еще более стойкие соединения. Соответственно, нет необходимости вводить мониторинг ПБДЭ, относящихся к СОЗ, в качестве отдельного пункта стратегического плана постэксплуатационного ухода за полигоном; достаточно контролировать суммарные параметры, например, те, что приведены в таблице А-1.

#### *Методики постэксплуатационного ухода*

Постэксплуатационный уход за полигоном, соответствующий принципам наилучших доступных технологий, в действительности начинается еще на этапе эксплуатации полигона: ведется контроль выбросов, например, фильтрата сточных вод и свалочного газа, а также мониторинг состава грунтовых вод, в целях отслеживания динамики изменений данных показателей. Дальнейший этап постэксплуатационного ухода предполагает подсчет будущих выбросов и оценку ожидаемого воздействия на окружающую среду. Поскольку предсказать условия, которые в будущем возникнут на территории самих полигонов и вокруг них, можно лишь с большой долей неопределенности, необходимо составить модель для прогнозирования выбросов при постоянных условиях, а также еще одну модель, которая будет учитывать различные возможности развития ситуации (Laner et al. 2010)<sup>109</sup>. В любом случае, неотъемлемую часть постэксплуатационного ухода за полигонами составляет мониторинг, в частности, мониторинг объема и состава фильтрата и свалочных газов, характер оседания и другие параметры. В ходе такого мониторинга основное внимание обычно уделяется анионам, металлами и суммарным параметрам для органических веществ, однако ПБДЭ, относящиеся к СОЗ, также могут быть учтены при анализе.

---

<sup>106</sup> Belevi H, Vaccini P. 1989. Long-Term Behavior of Municipal Solid Waste Landfills. Waste Management Research 7, 43-56.

<sup>107</sup> Laner D, Fellner J, Brunner PH. 2011. Future landfill emissions and the effect of final cover installation - A case study. Waste Management 31, 1522-1531.

<sup>108</sup> Freeze RA, Cherry J A. 1979. Groundwater. Englewood Cliffs, N.J.: Prentice-Hall

<sup>109</sup> Laner D, Fellner H, Brunner PH. 2010. Environmental compatibility of closed landfills – assessing future pollution hazards. Waste Management Research 29, 89-98.



## Экспкавация полигонов для отходов и воздействие ПБДЭ, относящихся к СОЗ

Экспкавация полигонов для захоронения отходов преследует три цели:

- А восстановление земель;
- В получение ресурсов;
- С защиту окружающей среды.

С точки зрения экономической выгоды, «восстановление земель» зачастую представляется привлекательным вариантом и, как правило, является основной побудительной причиной для экспкавации полигонов и свалок, в особенности в стремительно развивающихся городах и районах городской застройки, где вокруг бывших полигонов и свалок начинается жилищное или офисное строительство, приводящее к повышению стоимости земли. Экономическая целесообразность извлечения ценных ресурсных материалов при помощи экспкавации полигонов пока не доказана, а экспкавация полигонов с исключительной целью защиты окружающей среды происходит крайне редко. По мере возрастания частоты обращения к такой практике осуществление всех трех задач одновременно во многих случаях может становиться привлекательным решением.

В отношении ПБДЭ, относящихся к СОЗ, и других СОЗ движущей силой для разработки полигона является только задача защиты окружающей среды. В том, что касается других стойких органических загрязнителей, экспкавация полигонов позволяет провести физическую сепарацию и термическую обработку фракций отходов, содержащих токсичные органические соединения, с целью уничтожения последних. Необходимо принимать меры предосторожности для предотвращения утечки и улетучивания СОЗ и других токсических химических соединений в ходе экспкавации полигонов. В зависимости от характеристик захороненных отходов, может возникнуть необходимость в сооружении верхнего изолирующего слоя над территорией полигона для предотвращения выбросов СОЗ и других токсических соединений (подробный пример описан, например, в работе (SMDK 2011))<sup>110</sup>.

Помимо продуктов полной минерализации, в результате экспкавации полигонов могут быть получены и другие продукты, например, почвенные фракции, металлы и пластик. Эти фракции, как правило, отличаются высоким уровнем загрязнения, что может повлиять на их пригодность к реализации. В любом случае, действенная механическая сепарация СОЗ от данных фракций (почвы и пластика) сопряжена с трудностями и приведет к загрязнению стойкими органическими загрязнителями продуктов сепарации. Таким образом, ввиду целевого регулирования отходов, посредством экспкавации полигонов должна образоваться фракция, содержащая подавляющее большинство СОЗ, в том числе ПБДЭ и другие опасные органических соединения. Данная фракция затем подлежит минерализации в мусоросжигательной установке, соответствующей принципам наилучших доступных технологий и наилучших видов природоохранной деятельности, и уничтожена другим методом, соответствующим указанным принципам.

### Захоронение материалов, содержащих относящиеся к СОЗ ПБДЭ, на полигонах в соответствии с принципами наилучших доступных технологий и наилучших видов природоохранной деятельности: сводные результаты, выводы и перспективы

В развивающихся странах выбросы загрязняющих ПБДЭ с полигонов и свалок представляют собой особую, но лишь второстепенную проблему в сравнении с другими аспектами захоронения отходов, например, санитарно-гигиеническими условиями. В промышленно развитых странах, располагающих передовыми технологиями захоронения отходов, объем выбросов ПБДЭ, относящихся к СОЗ, скорее всего, невелик и сравнительно малозначим с экологической точки зрения. Исключение составляют пожары на полигонах и, возможно, долговременные утечки относящихся к СОЗ ПБДЭ и метаболитов со сточными водами в результате выхода из строя оградительных сооружений полигона вследствие

---

<sup>110</sup> SMDK. 2011. Sondermülldeponie Kölliken, <http://www.smdk.ch/index.cfm?andcontent=0101andpage=3>, retrieved December 8, 2011.

повреждения или износа специальных барьеров – изолирующих фильтрационных слоев. В мировом масштабе высокотехнологичные полигоны по-прежнему находятся в меньшинстве; соответственно, загрязнение ПБДЭ и другими СОЗ вблизи полигонов и свалок наблюдается по всему миру, как в развивающихся, так и в развитых странах.

Применение наилучших доступных технологий позволит контролировать выбросы ПБДЭ, относящихся к СОЗ. К наилучшим доступным технологиям относятся удаление отходов, содержащих ПБДЭ, на полигоны подходящего типа, строгий контроль поступающих на полигон отходов, надлежащая эксплуатация полигона, предусматривающая ежедневную засыпку отходов, сооружение соответствующих передовым технологиям нижних фильтрационных барьеров и верхнего защитного слоя, сбор и очистку фильтрата и свалочных газов, а также продолжительный (в течение нескольких столетий) постэксплуатационный уход, предусматривающий также мониторинг. При анализе возможностей наилучших доступных технологий необходимо иметь в виду, что нормативные требования к полигонам для захоронения отходов не всегда регулируют захоронение отдельных органических соединений, таких как СОЗ; гораздо чаще для экологически обоснованного регулирования функционирования полигонов установлены нормы для содержания отдельных групп химических соединений, например, экстрагируемых органических галогенов (ЕОХ) и адсорбируемых органических галогенов (АОХ).

#### Приложение 4. Получение брома из материалов, содержащих относящиеся к СОЗ ПБДЭ

В настоящее время на стадии разработки или предварительных испытаний находится целый ряд перспективных технологий восстановления брома из полимеров, позволяющих безопасно переработать отходы или извлечь из них ресурсное сырье. Технологии восстановления брома включают в себя методы переработки материалов для вторичного использования, переработки с целью получения исходного сырья (в качестве топлива либо для производственных нужд), пиролиз полимеров с восстановлением брома, извлечение брома в мусоросжигательных установках, а также отделение ПБДЭ/ бромированных антипиренов от полимеров с целью восстановления брома для промышленного употребления. Представляется, впрочем, что основная причина, по которой данные технологии остаются на стадии разработки/ опытных испытаний, возможно, кроется в отсутствии какого-либо настоящего рыночного стимула удаления ПБДЭ, относящихся к СОЗ/ бромированных антипиренов из изделий после завершения срока их эксплуатации. За почти десять лет, прошедших с момента объявления разработки данных методов в качестве стратегической цели, не поступило никакой информации о начале полномасштабной эксплуатации таких технологий (BSEF 2000)<sup>111</sup>.

В связи с тем, что по мере введения в эксплуатацию полномасштабных установок для сепарации бромсодержащих полимеров повышается возможность восстановления брома, текущий статус данных технологий, несмотря на отсутствие возможности их полноценного применения, кратко описывается в настоящем разделе для дальнейшего рассмотрения.

Прежде чем появится возможность дать сколько-нибудь надежные рекомендации относительно соответствия данных методов принципам наилучших доступных технологий и наилучших видов природоохранной деятельности, впрочем, потребует дальнейшая оценка этих технологий. При оценке также необходимо рассмотреть вопрос количества бромированных антипиренов/ брома, отделяемых на практике от отходов, содержащих бромированные огнезащитные добавки, и учесть высокую стоимость брома (приблизительно 2500 долларов США за тонну в 2010 г. и 4000 долларов США в 2011 г.), а также потенциальные рынки сбыта восстановленного брома и расчетную прибыль, по которой можно определить рентабельность всего технологического процесса.

---

<sup>111</sup> BSEF Bromine Science and Environment Forum. 2000. An introduction to Brominated Flame Retardants. BSEF 19 October 2000.

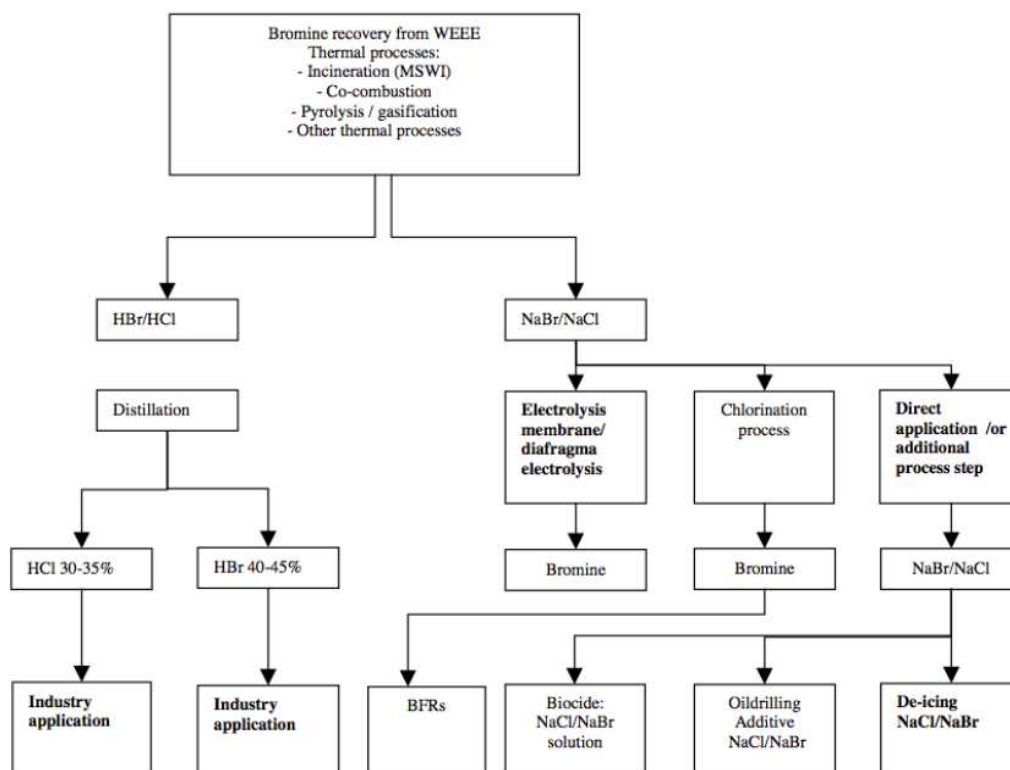


Рисунок А-1. Потенциально возможные методы восстановления брома и создания замкнутого технологического цикла брома (Tange and Drohmann 2002)<sup>112</sup>.

Bromine recovery from WEEE – восстановление брома из отходов ЭО; Thermal processes – термические процессы; Incineration (MSWI) – сжигание (сжигание ТБО); Co-combustion – совместное сжигание; Pyrolysis/gasification – пиролиз/газификация; Other thermal processes – другие термические процессы; Distillation – дистилляция; Electrolysis membrane / diafragma electrolysis – электролиз диафрагменным/ мембранным методом; Chlorination process – хлорирование; Direct application /or additional process step – непосредственное применение/ или дополнительный этап обработки; Bromine – бром; Industry application – применение в промышленных целях; BFRs – бромированные антипирены; Biocide: NaCl/ NaBr solution – в качестве бактерицидов: раствор NaCl/ NaBr; Oildrilling additive NaCl/ NaBr - NaCl/ NaBr в качестве присадки при переработке нефти; De-icing NaCl/NaBr - NaCl/ NaBr в качестве антиобледенительных реагентов.

### Извлечение брома посредством термических процессов

#### Восстановление брома из отходов в мусоросжигательных установках

В работе (Vehlow et al. 2002)<sup>113</sup> высказывается предположение о возможности восстановления брома при сжигании отходов со сравнительно высоким содержанием относящихся к СОЗ ПБДЭ/бромированных антипиренов в мусоросжигательных установках, соответствующих принципам наилучших доступных технологий. Согласно авторам работы, стандартная технологическая линия сжигания ТБО обрабатывает 20 тонн ТБО в час; в обычных же условиях, для достижения приемлемых показателей рентабельности, устанавливается несколько технологических линий, функционирующих параллельно. Если на три технологические линии поступает 3% отходов пластика ЭО, в которых

<sup>112</sup> Tange L, Drohmann D. 2002. Waste management concept for WEEE plastics containing brominated flame retardants, including bromine recycling and energy recovery. Flame Retardants 2002. Proceedings of a conference held in London, 5th-6th Feb. 2002.

<sup>113</sup> Vehlow J, Bergfeldt B, Hunsinger H, Jay K, Mark FE, Tange L, Drohman D, Fisch H. 2002. Recycling of bromine from plastics containing brominated flame retardants in state-of- the-art combustion facilities

содержится 2,5% брома (по весу) (1800 кг отходов пластика ЭЭО в час), выход сырья в итоге составит 45 кг брома в час. При стандартной производительности скруббера >97% и количестве восстановленного брома >90% такое предприятие в теории может перерабатывать 310 тонн брома в год. Возможна дистилляция бромоводорода HBr в виде 48% раствора, и в этом случае уровень извлечения сырья составит приблизительно 660 тонн 48% раствора HBr в год. Согласно расчетам, приведенным в работе (PB Kennedy and Donkin 1999), данная технология может повысить доходность предприятия по сжиганию ТБО на 7%.

### **Восстановление брома методом пиролиза**

К настоящему времени разработаны и находятся на стадии предварительных испытаний два термических процесса на основе пиролиза, особенностью которых является возможность восстановления брома из электронного мусора и отходов пластика. Основная задача состоит в четком отделении газообразного/ жидкого топлива от HBr. Если в топливе останется слишком высокая концентрация галогенов (>50 миллионных долей хлора или брома), данное топливо не сможет быть использовано в дальнейшем по причине более высокой коррозионной активности.

### **Технология Haloclean®**

Технология Haloclean® представляет собой метод низкотемпературного пиролиза, разрабатываемого в качестве термохимического способа обработки отходов электронного и электротехнического оборудования (Hornung and Seiffert 2006<sup>114</sup>, Koch 2007<sup>115</sup>). Конструкция реактора Haloclean® предполагает наличие газонепроницаемой вращающейся печи. Технологический процесс обеспечивает разделение измельченного электронного лома на поток ценных ресурсов и топливо для получения энергии. В ходе двухэтапного процесса пиролиза полимерные компоненты преобразуются в нефтепродукты и газы. Следующий этап химической обработки (называемый «полипропиленовым реактором») направлен на отделение и восстановление брома и других галогенов из полученных продуктов. Из твердого остатка пиролиза можно выделить благородные и другие металлы. На сегодняшний день технология применяется только в масштабах демонстрационной установки. Технологический процесс в настоящее время применяется для пиролиза биомассы.

### **Восстановление брома путем двухэтапного процесса пиролиза-газификации**

Данные предварительного исследования, проводившегося по заказу производителей бромсодержащих соединений (Европейской ассоциации производителей бромированных антипиренов (EBFRIP)) Центром энергетических исследований (ECN) (Boerrigter 2001<sup>116</sup>, Tange and Drohmann 2005<sup>117</sup>) в Нидерландах, показали, что восстановление брома путем термических процессов возможно. Технологический процесс (получивший название Pyromaat) представлял собой поэтапную газификацию, включавшую в себя пиролиз (550 °C) и высокотемпературную газификацию (>1230 °C). В ходе пробных пусковых испытаний бромоводород успешно восстанавливался в результате мокрого скруббирования щелочными сорбентами синтетического газа, полученного в результате обработки фракции отходов пластика ЭЭО.

---

<sup>114</sup> Hornung A, Seiffert H (2006) Rotary kiln pyrolysis of polymers containing heteroatoms. In: Feedstock Recycling and Pyrolysis of Waste Plastic. Editors Scheirs J and Kaminsky W. John Wiley & Sons, Ltd. pp. 549-567

<sup>115</sup> Koch W (2007) Entwicklung eines thermisch-chemischen Prozesses zur Verwertung von Abfällen aus Elektro- und Elektronikaltgeräten - die „Haloclean“-Pyrolyse. Dissertation. Forschungszentrum Karlsruhe GmbH, Karlsruhe/Germany

<sup>116</sup> Boerrigter, H. (2001). Implementation of Thermal Processes for Feedstock Recycling of Bromine, with Energy Recovery, from Plastic Waste of Electrical and Electronic Equipment (WEEE) – Phase 2: Production of Bromine Salt in Staged-gasification to Determine Technical Feasibility of Bromine Recovery. ECN-C-01-110 Report (Final version), October 2001.

<sup>117</sup> Tange L, Drohmann D. 2005. Waste electrical and electronic equipment plastics with brominated flame retardants - from legislation to separate treatment - thermal processes. Polymer Degradation and Stability 88, 35-40.

## Технологии выделения ПБДЭ, относящихся к СОЗ, или бромированных антипиренов из полимерной матрицы

Технологии выделения бромированных антипиренов (в том числе ПБДЭ, относящихся к СОЗ) из полимерной матрицы применяются только в полупромышленных (опытных) условиях для обработки а) полимеров, содержащих относящиеся к СОЗ ПБДЭ или бромированные антипирены, и б) печатных плат.

Эти две категории полимеров, загрязненных бромсодержащими соединениями, обладают рыночной стоимостью, что и явилось основной побудительной причиной разработки усовершенствованных технологий рециклинга. Ни один из методов сепарации в настоящее время не применяется в промышленном масштабе. Технология отделения от полимеров относящихся к СОЗ ПБДЭ/бромированных антипиренов в настоящее время представляется в достаточной степени разработанной для применения в промышленности. Технология выделения бромированных загрязнителей из печатных плат все еще находится в стадии разработки и применяется только в экспериментальных условиях (см. ниже).

### *Отделение бромированных антипиренов/ брома и получение полимеров*

Общепринятые подходы к разделению отходов на различные фракции представляют собой избирательное выделение наиболее ценных компонентов электронных/ полимерных отходов из всей массы отходов, поступивших на утилизацию. Выход конечного продукта в результате применения такого подхода в целом довольно мал и обычно составляет от 20% до 60% в зависимости от вида и качества поступивших отходов, оснащения предприятия и используемых технологий. При этом остаточная фракция отходов отличается крайне высоким содержанием относящихся к СОЗ ПБДЭ/бромированных антипиренов.

Технологический процесс CreaSolv® предусматривает экстрагирование ПБДЭ/ бромированных антипиренов из требуемых полимеров, входящих в состав полимерной фракции, а также позволяет отделять от нужных полимеров нерастворенные компоненты (например, лишние полимеры и другие ненужные вещества) и растворенные загрязнители (например, ПБДЭ, относящиеся к СОЗ, ПБД или другие бромированные антипирены) (Schlummer et al. 2006<sup>118</sup>) при помощи запатентованного растворяющего состава CreaSolv®. Побочный продукт процесса содержит высокий уровень бромированных антипиренов и может быть использован в качестве сырья для восстановления брома (учитывая рыночную стоимость брома, составляющую приблизительно 4000 долларов США за тонну). В качестве альтернативы, данный побочный продукт может быть подвергнут химической обработке или сожжен. Данная технология разрабатывалась и оптимизировалась под определенные виды отходов пластика ЭЭО и дает возможность получать высококачественные полимеры, соответствующие требованиям Директивы RoHS, даже из полимерных фракций с высоким содержанием бромированных антипиренов (Schlummer et al. 2006).

Проведенная британской организацией WRAP (Программа действий по отходам и ресурсам) оценка целесообразности применения данной технологии с практической и коммерческой точки зрения (WRAP 2006)<sup>119</sup> указывает на потенциальную рентабельность технологии CreaSolv® с производительностью 10000 тонн/год. Научно-исследовательский институт организации производственного процесса и монтажа Фраунхофера (Fraunhofer-Institute IVV), где изначально была разработана данная технология, утверждает, что экономически выгодное промышленное применение

---

<sup>118</sup> Schlummer M, Maurer A, Leitner T, Spruzina W. 2006. Report: Recycling of flame-retarded plastics from waste electric and electronic equipment (WEEE). Waste Management Research 24, 573-583.

<sup>119</sup> WRAP. 2006. Develop a process to separate brominated flame retardants from WEEE polymers Final Report Project code: PLA- 037 November 2006. Banbury, Waste Resources Action Program.



данного технологического процесса возможно даже при производственной мощности предприятия 2000 тонн/год (Schlummer 2011)<sup>120</sup>.

Данная технология может составить конкуренцию сжиганию отходов (стоимость приема отходов мусоросжигательным предприятием – более 100 долларов США за тонну) или удалению отходов на полигоны<sup>121</sup> (стоимость приема отходов на захоронение сильно зависит от региональной и внутренней политики), а также другим методам обработки выделенных фракций полимеров (WRAP 2006)<sup>122</sup>. Технология Creasolv также составит конкуренцию технологическим процессам удаления бромированных антипиренов при помощи сортировки на основе спектроскопических свойств, поскольку данная технология характеризуется более высоким выходом продукта, а также высоким качеством выходящего продукта. Эксперты WRAP пришли к выводу, что данный процесс также сможет успешно конкурировать с экспортом смешанных отходов пластика ЭЭО за пределы ЕС (текущая продажная цена – около 100 долларов США за тонну), если полученный в результате процесса Creasolv высококачественный пластик, готовый к вторичной переработке, получится продать по цене, составляющей около 80% от стоимости первичного полимерного соединения.

### *Извлечение металлов, брома и энергии из печатных плат*

Разработан и применяется в экспериментальных условиях метод механического рециклинга печатных плат, который также позволяет отделить бромированные антипирены от других компонентов в ходе восстановления материалов (Kolbe 2010)<sup>123</sup>. В рамках стратегии полного извлечения ресурсов из отходов бром также подлежит восстановлению (Kolbe 2011)<sup>124</sup>. На первом этапе происходит механическое удаление из печатных плат основных металлических деталей. На втором этапе растворяется смола из печатной платы, и извлекаются оставшиеся металлы и стекловолокно. Затем проводится дальнейшее восстановление металлов в плавильных печах. Растворенная смола подвергается дебромированию с последующим извлечением брома (в виде NaBr). Получившийся дебромированный смазочный материал планируется применять на энергетической станции. Стекловолокно прессуется, промывается и высушивается и может быть использовано повторно в качестве наполнителя. Компания также планирует перерабатывать отходы и пыль от производства печатных плат.

---

<sup>120</sup> Schlummer M. 2011. Contributions to the Stockholm Convention guideline drafts. Vienna, Austria 23.11.2011.

<sup>121</sup> В соответствии с положениями Стокгольмской конвенции, содержащиеся в отходах CO<sub>3</sub> подлежат уничтожению или необратимому преобразованию. Следует по возможности не допускать захоронения таких отходов на полигонах, поскольку данный подход к обращению с отходами в большинстве случаев не гарантирует длительной безопасности. Исследования CO<sub>3</sub> в различных регионах представили документальные свидетельства выбросов ПБДЭ с полигонов/ свалок, а также загрязнения поверхностных и грунтовых вод и почвы прилегающих территорий; в развивающихся странах и странах с переходной экономикой также получены доказательства того, что выбросы загрязнителей оказывают отрицательное воздействие на здоровье людей, живущих и работающих вблизи мест захоронения отходов, как уже отмечалось в разделе, посвященном окончательному удалению отходов.

<sup>122</sup> WRAP. 2006. Develop a process to separate brominated flame retardants from WEEE polymers Final Report Project code: PLA- 037 November 2006. Banbury, Waste Resources Action Program.

<sup>123</sup> Kolbe, P. (2010). Innovative Ansätze im Leiterplattenrecycling in "Recycling und Rohstoffe - Band 3 Karl J. Editors Thome-Kozmiensky/Daniel Goldmann Neuruppin : TK Verlag ISBN 978 3 935317 50 4.

<sup>124</sup> Kolbe, P. (2011). Personal Communication with R. Weber (31.10.2011).

## Приложение 5. Определение содержания ПБДЭ, относящихся к СОЗ, в продуктах и изделиях

### Идентификация ПБДЭ, относящихся к СОЗ, стандартными методами анализа ПБДЭ

Для определения уровня шести регулируемых веществ (свинца, ртути, кадмия, гексавалентного хрома, полибромированных дифенилов, ПБДЭ) в электротехнических приборах был разработан международный стандарт IEC 62321 Ed.1 (International Electrotechnical Commission, 2008). Определение содержания ПБДЭ (от моно- до дека-БДЭ) в полимерах методом газовой хроматографии с масс-спектрометрией (ГХ-МС) описывается в приложении А к стандарту IEC 62321, включая выявление, анализ и контроль качества. На настоящий момент аналитический метод, описанный в стандарте 62321, может применяться только в качестве источника справочной информации и нуждается в доработке,<sup>125</sup> вторая редакция документа сейчас проходит экспертную проверку.

Применение современных «передовых» аналитических методов ГХ-МС для определения содержания ПБДЭ, относящихся к СОЗ, требует надлежащей экстракции и очистки. Экстракция выполняется путем экстрагирования твердого тела жидкостью (по Сокслету, методом жидкостной экстракции под давлением или ультразвуковыми методами) или путем растворения в соответствующем растворителе (Schlummer et al., 2005). Органические растворители также обычно приводят к экстрагированию олигомеров/ полимеров, поэтому для приготовления подходящего экстракта для чувствительных хроматографов ГХ-МС необходима соответствующая очистка экстракта.

Экстрагирование образца и его очистка занимают значительное количество времени – обычно с момента отправки образца до получения результатов из лаборатории проходит несколько дней. Традиционные методы ГХ-МС, таким образом, не подходят в качестве применимого практически метода сепарации ПБДЭ, относящихся к СОЗ, в рамках промышленной деятельности по переработке материалов.

### Методы экспресс-анализа содержания ПБДЭ, относящихся к СОЗ, путем ГХ-МС

Для получения удобного в применении метода скрининга необходимо использовать более быстрые методы экстракции и пренебречь этапом очистки. В работе (Poehlein et al., 2008) описывается разработанный группой авторов метод экспресс-скрининга содержания бромированных антипиренов, в том числе полибромированных дифенилов (ПБД) и ПБДЭ, в образцах пластика при помощи ультразвуковой экстракции и ГХ-МС. Время анализа составляет 9 минут (ГХ-МС) или 15 минут (ГХ с детектированием по захвату электронов); данный метод был утвержден в качестве приемлемого способа определения содержания ПБД, ПБДЭ и других бромированных антипиренов в стирольных промышленных полимерах из отходов ЭЭО.

Внедрен также альтернативный метод скрининга бромированных антипиренов, в том числе ПБДЭ, относящихся к СОЗ, в селективном режиме без экстрагирования и очистки. В работе (Danzer et al., 1997) описывается применение авторами пиролиза для обработки тонко измельченного пластика в режиме реального времени и анализ методом пиролиза в сочетании с ГХ-МС. Данный метод термодесорбции пластика был доведен до оптимума и применялся для скрининга приблизительно 100 телевизоров и 80 компьютеров (Rieß et al., 2000). К настоящему времени компания «Шимадзу»

---

<sup>125</sup> Результаты межлабораторных исследований пока не дали достаточно обнадеживающих результатов.

(Shimadzu) усовершенствовала метод пиролиза в ГХ-МС (в 2010 г.) и разработала коммерчески доступный анализатор с автодозатором на 48 образцов.

Минимально требующееся для анализа время в 15 минут (отбор проб, подготовка, анализ) будет слишком длительным для практического сепарационного применения на предприятиях по рециклингу отходов ЭЭО и других перерабатывающих предприятиях (UNEP, 2010a, b). Подобные технологии могут использоваться для подтверждения результатов анализа, проведенного при помощи сепарационной технологии.

### **Мониторинг содержания ПБДЭ непосредственно на предприятии методом рамановской спектроскопии**

Оборудование для высокоскоростного скрининга пластика методом рамановской спектроскопии разрабатывается в Японии корпорацией «Сайму».<sup>126</sup> Согласно информации, предоставленной компанией, при помощи данной технологии можно осуществлять скрининг пластика, исходя из содержания ПБДЭ, относящихся к СОЗ (Tsuchida et al., 2009; Kawazumi et al., 2011). Необходимое оборудование было смонтировано на опытной установке для сепарации пластика.

### **Измерение содержания брома в продуктах и изделиях непосредственно на предприятии**

Для скрининга пластиковых отходов, содержащих бром, были разработаны альтернативные методы мониторинга. В настоящее время наилучшими доступными технологиями и наилучшими видами природоохранной деятельности для выявления содержания брома могут считаться три технологии, чьи функциональные возможности в отношении детектирования брома были подтверждены в ходе долгосрочных исследований (WRAP, 2006a) и (или) которые применяются на полномасштабных предприятиях:

- масс-спектрометрия скользящего разряда;
- метод рентгенофлуоресцентного анализа;
- метод просвечивания рентгеновскими лучами.

Применение данных технологий описано в разделе 4.4.

#### *Масс-спектрометрия скользящего разряда*

Масс-спектрометрия скользящего разряда представляет собой метод поверхностного скрининга, способного быстро выявлять бром, хлор и неорганические добавки с пределом обнаружения приблизительно 1000 миллионных долей. При использовании сравнительно простой системы масс-спектрометрия скользящего разряда позволяет непосредственно на предприятии проводить анализ находящегося поблизости компактного непроводящего материала без предварительной заготовки образца.

В литературе описывается идентификация бромсодержащих материалов, хлорсодержащих пластмасс (ПВХ или хлорированных огнезащитных составов), а также неорганических добавок (наполнителей, стабилизаторов, синергистов бромированных антипиренов) (Schlummer and Maeurer, 2006). Стоимость оборудования составляет приблизительно 6000 долларов США (UNEP, 2010b).

---

<sup>126</sup> [http://akane.saimu-net.ne.jp/plastic\\_en.html](http://akane.saimu-net.ne.jp/plastic_en.html)

### *Метод рентгенофлуоресцентного анализа*

Технология рентгенофлуоресцентного анализа может применяться для детектирования и сепарации бромсодержащих полимеров с пределом обнаружения от 10 миллионных долей до 100 миллионных долей. Данный метод применим только для выявления содержания в материале брома и неспособен идентифицировать тип бромированного антипирена. При применении портативного оборудования время измерения составляет меньше минуты. Точность измерений методом рентгенофлуоресцентного анализа ограничена, и величина относительного стандартного отклонения, таким образом, может достигать 30%. Данный фактор, впрочем, имеет значение только в случае измерения уровня, весьма близкого к заявленному пороговому значению. Соответственно, пороговая величина, установленная для измерений, должна находиться на уровне по меньшей мере на 30% ниже предельного значения, установленного для сепарации полимеров. Стоимость стандартного оборудования составляет приблизительно 30000 – 50000 долларов США. Доступны более упрощенные версии анализаторов по более низким ценам.

### *Метод просвечивания рентгеновскими лучами*

Для просвечивания рентгеновскими лучами используется электрический источник рентгеновских лучей, создающий широкополосное излучение в диапазоне энергии от 80 кэВ до 160 кэВ. Данное излучение проникает сквозь материал, подлежащий сепарации, и, при ослаблении сигнала, попадает на датчик рентгеновской камеры через два независимых элемента с различными диапазонами спектральной чувствительности. Для регулирования данной технической сложности материал, подлежащий сепарации, облучается с двух различных направлений. Получающиеся в результате разные типы пути передачи позволяют пренебречь толщиной материала при просвечивании рентгеновскими лучами.

В отличие от портативных анализаторов (для проведения рентгенофлуоресцентного анализа и спектрометрии скользящего разряда), обычно используемых на промышленных установках по демонтажу, оборудование для просвечивания рентгеновскими лучами предназначено для автоматической сортировки лома. Стоимость единицы оборудования составляет приблизительно 400000 долларов США (UNEP, 2010b).