

Справочный документ по наилучшим доступным технологиям (НДТ) сжигания отходов

Директива о промышленных выбросах 2010/75/ЕС (комплексное предотвращение и контроль загрязнения)

ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ЦЕНТР
Директорат В – Развитие и инновации
Отдел экономики замкнутого цикла и промышленного
лидерства Европейского бюро IPPC

Финальный проект документа (Декабрь 2018)

Проект данного документа не был принят или одобрен Европейской Комиссией. Любые отраженные в нем мнения являются предварительными мнениями служб Комиссии и ни при каких обстоятельствах не могут рассматриваться как официальная позиция Комиссии. Передаваемая информация предназначена только для государств-членов или субъектов, которым она адресована для обсуждения, и может содержать конфиденциальную и/или не подлежащую разглашению информацию.





Неофициальный перевод документа на русский язык выполнен в рамках осуществления проекта «Согласованное управление утилизацией озоноразрушающих веществ (ОРВ) и стойких органических загрязнителей (СОЗ) в Беларуси, Украине, Казахстане и Армении (региональный демонстрационный проект)», реализуемого при поддержке Организации Объединённых Наций по промышленному развитию (ЮНИДО).

Оригинал этого документа на английском языке доступен по адресу:
<https://ec.europa.eu/jrc>

Этот документ относится к серии документов, перечисленных ниже (на момент написания не все документы были разработаны):

Справочные документы по наилучшим доступным технологиям (BREF)	Код
Производство керамических изделий	CER
Очистка производственных сточных вод и отходящих газов, системы менеджмента в химической промышленности	CWW
Общие принципы очистки отходящих газов в химической промышленности	WGC
Выбросы при хранении	EFS
Энергоэффективность (эффективное использование энергии)	ENE
Обработка черных металлов	FMP
Производство продуктов питания, напитков и молока	FDM
Промышленные системы охлаждения	ICS
Интенсивное разведение сельскохозяйственной птицы и свиней	IRPP
Производство чугуна и стали	IS
Крупные установки по сжиганию (топлива, теплоэлектростанции)	LCP
Крупнотоннажное производство аммиака, неорганических кислот и удобрений	LVIC-AAF
Крупнотоннажное производство твердых неорганических веществ (солей, оксидов) и др.	LVIC-S
Крупнотоннажное производство органических химических веществ	LVOC
Управлению отходами и пустыми породами горнорудной деятельности	MTWR
Стекольное производство	GLS
Тонкий органический синтез	OFC
Производство и обработка цветных металлов	NFM
Производство цемента и извести	CLM
Производство хлора и щелочей	CAK
Производство полимеров	POL
Целлюлозно-бумажная промышленность	PP
Производство специальных неорганических веществ (средств защиты растений, фармацевтических средств, взрывчатых веществ и др.)	SIC
Производство древесных панелей	WBP
Переработка нефти и природного газа	REF
Скотобойни и побочные продукты животного происхождения	SA
Кузнечное дело и литейное производство	SF
Обработка поверхности металлов и пластика (электрохимические покрытия)	STM
Обработка поверхностей органическими растворителями (включая Химическую защиту древесины и древесных продуктов)	STS
Дубление шкур и кожи	TAN
Текстильная промышленность	TXT
<i>Сжигание отходов</i>	<i>WI</i>
Переработка отходов (предприятия по переработке отходов)	WT
Справочные документы (REF)	
Экономические аспекты и вопросы воздействия на различные компоненты окружающей среды	ECM
Мониторинг выбросов установок, подпадающих под действие Директивы о промышленных выбросах	ROM

Электронные версии проектов документов и их окончательные версии в свободном доступе размещены по адресу <http://eippcb.jrc.ec.europa.eu>.

ПРЕДИСЛОВИЕ

1. Статус данного документа

Если не указано иное, ссылки на «Директиву» в данном документе относятся к Директиве 2010/75/ЕС Европейского парламента и Совета о промышленных выбросах (о комплексном предотвращении и контроле загрязнения) (в новой редакции).

Данный документ является рабочим проектом документа Европейского бюро КПКЗ (Объединенного исследовательского центра при Европейской Комиссии). Это не официальная публикация Европейского Союза и не обязательно отражает позицию Европейской комиссии.

2. Участники обмена информацией

В соответствии с требованиями статьи 13 (3) Директивы, Комиссия создала форум для содействия обмену информацией, в состав которого входят представители государств-членов, представители рассматриваемых отраслей промышленности и неправительственных организаций, занимающихся вопросами защиты окружающей среды (Решение Комиссии от 16 мая 2011 г. о создании форума для обмена информацией в соответствии со статьей 13 Директивы 2010/75/EU о промышленных выбросах (2011/C146/03), OJ C 146, 17.05.2011, стр. 3).

Члены Форума назначили технических экспертов, образующих техническую рабочую группу (ТРГ), которая была основным источником информации для составления этого документа. Работу ТРГ возглавляло Европейское бюро КПКЗ (Объединенного исследовательского центра при Европейской комиссии).

3. Структура и содержание этого документа

В главах 1 и 2 представлена общая информация о рассматриваемом промышленном секторе и о производственных процессах, применяемых в этом секторе.

В главе 3 представлены данные и информация, касающиеся текущих уровней выбросов и потребления, отражающие ситуацию на действующих предприятиях на момент написания документа.

В главе 4 более подробно описываются методы предотвращения или уменьшения воздействия на окружающую среду промышленных предприятий, рассматриваемых при определении НДТ. Представленная в главе информация включает в себя уровни показателей экологической результативности (например, уровни выбросов и потребления), которые могут быть достигнуты при применении НДТ, связанного с их применением мониторингом и затратами, а также проблемы воздействия используемых НДТ на различные компоненты окружающей среды.

В главе 5 представлены заключения по НДТ, в соответствии с их определением в Статье 3 (12) Директивы.

В главе 6 представлена информация о «перспективных технологиях», в соответствии с их определением в статье 3 (14) Директивы.

В главе 7 представлены заключительные замечания и рекомендации для будущей работы.

4. Источники информации и установление НДТ

Данный документ подготовлен на основании информации, полученной из ряда источников, в частности от ТРГ, которая была создана специально для обмена информацией в соответствии со статьей 13 Директивы. Информация была собрана и оценена Европейским бюро ИРПС (Объединенного исследовательского центра при Европейской комиссии), который координировал работу по определению НДТ, руководствуясь принципами технической экспертизы, прозрачности и нейтральности. Выражается глубокая признательность ТРГ и всем другим участникам за проделанную работу.

Заключения по НДТ были получены в результате циклического процесса, включающего следующие этапы:

- выявление ключевых экологических проблем для сектора сжигания отходов;
- изучение технологий, наиболее актуальных для борьбы с ключевыми экологическими

- проблемами;
- определение наилучших уровней экологической результативности на основе имеющихся общемировых данных и данных ЕС;
- изучение условий, которые позволили достигнуть данных уровней экологической результативности, включая затраты, вопросы воздействия на различные компоненты окружающей среды и основные мотивы внедрения технологий;
- определение наилучших доступных технологий (НДТ), ассоциированных с ними уровней выбросов (и других показателей экологической результативности) и системы мониторинга для данного сектора в соответствии со Статьей 3 (10) и Приложением III к Директиве.

Экспертные оценки Европейского бюро IPPC и ТРГ имели огромное значение на каждом из этих этапов и на то, в каком конечном виде информация представлена в данном документе.

Там, где это возможно, вместе с описаниями технологий, представленных в главе 4, приводятся экономические данные. Эти данные дают приблизительное представление о величине затрат и выгод. Однако фактические затраты и выгоды от применения технологии могут сильно зависеть от конкретного рассматриваемого предприятия, что не может быть полностью оценено в этом документе. При отсутствии данных относительно затрат, выводы об экономической жизнеспособности технологии делаются на основе наблюдений за действующими установками.

5. Пересмотр справочного документа по НДТ (BREF)

НДТ является динамичной концепцией в связи с чем пересмотр BREF является непрерывным процессом. Постоянно появляются новые меры и технологии, наука и технологии постоянно развиваются, а новые или перспективные процессы успешно внедряются в производство. Для того чтобы отразить такие изменения и их последствия для НДТ, этот документ будет периодически пересматриваться и, при необходимости, соответствующим образом обновляться.

6. Контактная информация

Все комментарии и предложения следует направлять в Объединенный исследовательский центр Европейского бюро IPPC по следующему адресу:

European Commission
Joint Research Centre
Directorate B - Growth and Innovation
Circular Economy and Industrial Leadership
European IPPC Bureau
Edificio Expo
c/Inca Garcilaso, 3
E-41092 Seville, Spain
Telephone: +34 9 5 4488 284
e-mail: jrc-b5-eippcb@ec.europa.eu
Internet: <http://eippcb.jrc.ec.europa.eu>

Справочный документ по наилучшим доступным технологиям сжигания отходов

ПРЕДИСЛОВИЕ	i
ОБЪЕМ И СОДЕРЖАНИЕ.....	xxvii
1 ОБЩАЯ ИНФОРМАЦИЯ О СЖИГАНИИ ОТХОДОВ.....	1
1.1 Цель сжигания и основные теоретические сведения	1
1.2 Обзор сектора сжигания отходов в Европе	3
1.3 Размеры установок	8
1.4 Состав отходов и технологический процесс	9
1.5 Ключевые экологические проблемы	12
1.5.1 Выбросы в атмосферный воздух и воду	12
1.5.2 Производство остаточных отходов и вторичного сырья	13
1.5.3 Технологический шум	14
1.5.4 Потребление и производство энергии	14
1.5.5 Потребление сырья и энергии	16
1.6 Экономические аспекты	17
2 ПРИМЕНЯЕМЫЕ ПРОЦЕССЫ И МЕТОДЫ.....	22
2.1 Обзор и введение	22
2.2 Методы предварительной подготовки, хранения и использования	24
2.2.1 Твердые коммунальные отходы (ТКО) и аналогичные	24
2.2.1.1 Сбор и предварительная обработка вне мусоросжигательного завода ТКО	24
2.2.1.2 Предварительная подготовка твердых коммунальных отходов на мусоросжигательном заводе	25
2.2.1.3 Доставка и хранение отходов	25
2.2.1.3.1 Сбор и обработка отходов производства	25
2.2.1.3.2 Бункер	26
2.2.2 Опасные отходы	26
2.2.2.1 Прием отходов	27
2.2.2.2 Хранение	28
2.2.2.2.1 Хранение твердых опасных отходов	29
2.2.2.2.2 Хранение перекачиваемых опасных отходов	29
2.2.2.2.3 Хранение контейнеров и контейнеров-цистерн	29
2.2.2.3 Подача и предварительная подготовка	30
2.2.3 Осадки сточных вод	31
2.2.3.1 Состав осадков сточных вод	31
2.2.3.2 Предварительная подготовка осадка сточных вод	32
2.2.3.2.1 Физическое обезвреживание	32
2.2.3.2.2 Сушка	32
2.2.3.2.3 Сбраживание осадка сточных вод	33
2.2.4 Медицинские отходы	34
2.2.4.1 Происхождение и состав медицинских отходов	34
2.2.4.2 Обработка, предварительная обработка и хранение медицинских отходов	34
2.3 Этап термического обезвреживания	36
2.3.1 Мусоросжигательные установки с движущейся колосниковой решёткой	38
2.3.1.1 Устройство подачи отходов	39

2.3.1.1.1	Добавление осадков сточных вод в мусоросжигательную установку	39
2.3.1.1.2	Добавление медицинских отходов в мусоросжигательную установку	40
2.3.1.2	Колосниковая решетка	41
2.3.1.2.1	Качающиеся колосниковые решётки	43
2.3.1.2.2	Наклонно-переталкивающая колосниковая решётка	43
2.3.1.2.3	Подвижные колосниковые решётки	43
2.3.1.2.4	Роликовые колосниковые решетки	43
2.3.1.3	Система удаления зольного остатка	43
2.3.1.4	Камера сжигания и котел	44
2.3.1.5	Подача воздуха для сжигания	47
2.3.1.6	Температура сжигания, продолжительность пребывания и содержание кислорода	47
2.3.1.7	Вспомогательные горелки	48
2.3.2	Вращающиеся печи	48
2.3.2.1	Вращающаяся печь с камерой дожигания для сжигания опасных отходов	49
2.3.3	Установки с кипящим слоем	51
2.3.3.1	Установка со стационарным кипящим слоем (СКС) для сжигания осадков сточных вод	54
2.3.3.2	Циркулирующий кипящий слой (ЦКС) для сжигания осадка сточных вод	56
2.3.3.3	Механическая топка с забрасывателями	56
2.3.3.4	Вращающийся кипящий слой	57
2.3.4	Системы пиролиза и газификации	57
2.3.4.1	Введение в газификацию и пиролиз	57
2.3.4.2	Газификация	58
2.3.4.3	Пиролиз	59
2.3.4.3.1	Пример процесса пиролиза	61
2.3.4.4	Комбинированные процессы	62
2.3.4.4.1	Пиролизное сжигание	62
2.3.4.4.2	Пиролиз-газификация	64
2.3.4.4.3	Газификация-сжигание	66
2.3.5	Другие технологии	69
2.3.5.1	Камеры для сжигания жидких и газообразных отходов	69
2.3.5.2	Сжигание жидких и газообразных хлорсодержащих отходов с извлечением HCl	70
2.3.5.3	Сжигание жидких хлорсодержащих отходов с регенерацией хлора ...	71
2.3.5.4	Сжигание сточных вод	73
2.3.5.5	Плазменные процессы	75
2.4	Стадия рекуперации энергии	78
2.4.1	Введение и общие принципы	78
2.4.2	Внешние факторы, влияющие на энергоэффективность	79
2.4.2.1	Тип и состав отходов	83
2.4.2.2	Влияние местоположения завода на рекуперацию энергии	84
2.4.2.3	Факторы, принимаемые во внимание при проектировании энергетического цикла	84
2.4.3	Энергоэффективность мусоросжигательных заводов	85

2.4.3.1	Потребление энергии мусоросжигательными установками.....	86
2.4.3.2	Производство энергии мусоросжигательными установками	86
2.4.4	Процессы, применяемые для повышения эффективности рекуперации энергии.....	87
2.4.4.1	Предварительная подготовка отходов.....	87
2.4.4.2	Котлы и теплообмен.....	87
2.4.4.2.1	Коррозия в котлах	90
2.4.4.3	Предварительный нагрев атмосферный воздуха для горения.....	91
2.4.4.4	Колосниковые решётки с водяным охлаждением	91
2.4.4.5	Конденсация дымовых газов	92
2.4.4.6	Тепловые насосы	92
2.4.4.6.1	Тепловые насосы с приводом от компрессора	92
2.4.4.6.2	Абсорбционные тепловые насосы	93
2.4.4.6.3	Открытые тепловые насосы	93
2.4.4.6.4	Характеристики различных тепловых насосов	93
2.4.4.7	Рециркуляция дымовых газов	94
2.4.4.8	Рекуперация тепла, используемого для подогрева дымовых газов, до рабочей температуры устройств очистки дымовых газов	94
2.4.4.9	Модернизация пароводяного цикла: влияние на эффективность и другие аспекты	94
2.5	Применяемые системы очистки и контроля дымовых газов.....	96
2.5.1	Краткое описание применяемых технологий ОДГ.....	96
2.5.2	Обзор вариантов комбинированных систем ОДГ	98
2.5.3	Методы снижения выбросов пыли.....	98
2.5.3.1	Электростатические фильтры.....	99
2.5.3.2	Мокрые электрофильтры	99
2.5.3.3	Конденсационные электрофильтры	99
2.5.3.4	Ионизирующие мокрые скрубберы	100
2.5.3.5	Рукавные фильтры.....	101
2.5.3.6	Циклоны и мультициклоны	103
2.5.3.7	Скруббер Вентури	104
2.5.4	Методы снижения выбросов кислых газов (например, HCl, HF и SO _x) ...	104
2.5.4.1	Мокрые процессы	105
2.5.4.2	Полумокрые процессы	106
2.5.4.3	Сухие процессы	108
2.5.4.4	Прямая десульфуризация.....	108
2.5.4.5	Выбор щелочного реагента.....	109
2.5.5	Методы снижения выбросов оксидов азота	111
2.5.5.1	Основные методы снижения выбросов NO _x	112
2.5.5.1.1	Подача воздуха, смешивание газов и контроль температуры.....	112
2.5.5.1.2	Рециркуляция дымовых газов	112
2.5.5.1.3	Подача кислорода.....	112
2.5.5.1.4	Ступенчатое сжигание	112
2.5.5.1.5	Подача природного газа (дожигание).....	112
2.5.5.1.6	Подача воды в печь/пламя.....	113
2.5.5.2	Дополнительные методы снижения выбросов NO _x	113
2.5.5.2.1	Процесс селективного некаталитического восстановления (СНКВ)	113
2.5.5.2.2	Процесс селективного каталитического восстановления (СКВ)	117

2.5.6	Методы снижения выбросов ртути.....	118
2.5.6.1	Основные методы.....	118
2.5.6.2	Дополнительные методы.....	118
2.5.7	Методы снижения выбросов других металлов.....	119
2.5.8	Методы снижения выбросов органических соединений углерода.....	120
2.5.8.1	Адсорбция на реагентах из активированного угля в системе перемещающегося потока.....	120
2.5.8.2	Системы СКВ.....	120
2.5.8.3	Каталитические рукавные фильтры.....	121
2.5.8.4	Дожигание углеродных адсорбентов.....	121
2.5.8.5	Использование углепластиков для адсорбции ПХДД/Ф.....	121
2.5.8.6	Фильтры статические или с подвижным слоем.....	122
2.5.8.7	Быстрое охлаждение дымовых газов.....	122
2.5.9	Снижение выбросов парниковых газов (CO ₂ , N ₂ O).....	123
2.5.9.1	Предотвращение выбросов оксида азота (N ₂ O).....	123
2.6	Технологии очистки сточных вод.....	124
2.6.1	Принципы проектирования систем сточных вод.....	124
2.6.2	Влияние систем очистки дымовых газов на сточные воды.....	124
2.6.3	Обработка сточных вод от мокрых систем очистки дымовых газов.....	125
2.6.3.1	Физико-химическая обработка.....	125
2.6.3.2	Применение сульфидов.....	127
2.6.3.3	Применение мембранных технологий.....	127
2.6.3.4	Удаление аммиака.....	127
2.6.3.5	Раздельная очистка сточных вод от первых до последних ступеней системы очистки.....	127
2.6.3.6	Анаэробная биологическая очистка (превращение сульфатов в элементарную серу).....	128
2.6.3.7	Системы испарения для технологических сточных вод.....	128
2.6.3.7.1	Поточное испарение.....	128
2.6.3.7.2	Раздельное испарение.....	129
2.6.3.8	Удаление или испарение соляной кислоты.....	130
2.6.4	Обработка сточных вод на заводах по сжиганию опасных отходов.....	131
2.7	Методы обработки твердых остатков.....	134
2.7.1	Виды твердых остатков.....	134
2.7.1.1	Остатки, возникающие непосредственно в процессе сжигания.....	134
2.7.1.2	Остатки, образующиеся при очистке дымовых газов (ОДГ).....	135
2.7.2	Очистка и использование твердых остатков, возникающих непосредственно в процессе сжигания.....	136
2.7.3	Методы обработки остатков очистки дымовых газов.....	137
2.8	Меры и средства обеспечения безопасности.....	138
3	ТЕКУЩИЕ УРОВНИ ПОТРЕБЛЕНИЯ И ВЫБРОСОВ.....	136
3.1	Введение.....	139
3.1.1	Разделение веществ в выходных потоках мусоросжигательных заводов.....	140
3.1.2	Примеры диоксинового баланса для СТКО.....	142
3.1.3	Состав дымового газа на мусоросжигательных заводах до очистки.....	142
3.2	Выбросы в атмосферный воздух.....	145
3.2.1	Вещества, выбрасываемые в атмосферный воздух.....	145
3.2.2	Выбросы в атмосферный воздух от заводов по сжиганию отходов.....	150

3.2.2.1	Выбросы в атмосферный воздух при сжигании твердых коммунальных отходов и других неопасных отходов.....	154
3.2.2.2	Выбросы в атмосферный воздух при сжигании осадка сточных вод...	183
3.2.2.3	Выбросы в атмосферный воздух при сжигании опасных отходов	199
3.2.2.4	Выбросы в атмосферный воздух при сжигании медицинских отходов	215
3.3	Выбросы в воду	217
3.3.1	Объемы сточных вод, образующихся при очистке дымовых газов.....	217
3.3.2	Другие потенциальные источники образования сточных вод на установках по сжиганию отходов	217
3.3.3	Установки без сбросов технической воды	219
3.3.4	Установки со сбросом сточных вод	219
3.4	Твёрдые остатки	240
3.4.1	Массовые потоки твердых остатков	240
3.4.2	Состав твердых веществ и выщелачиваемость	240
3.4.3	Обработка зольного остатка/шлака после сжигания.....	251
3.4.3.1	Массовые потоки	252
3.4.3.2	Выбросы в атмосферный воздух	256
3.4.3.3	Выбросы в воду	256
3.4.3.4	Потребление энергии	259
3.5	Потребление и производство энергии	265
3.5.1	Расчет энергоэффективности установок сжигания	266
3.5.2	Данные о рекуперации энергии из отходов.....	268
3.5.2.1	Данные о рекуперированной электроэнергии.....	270
3.5.2.2	Данные о рекуперированной энергии (тепло или тепло и электричество)	271
3.5.2.3	Данные о КПД котла	271
3.5.3	Данные об энергии, потребляемой в процессе	272
3.6	Шум	280
3.7	Другие используемые ресурсы.....	281
3.7.1	Вода	281
3.7.2	Другие расходные материалы и топливо.....	281
3.7.2.1	Нейтрализаторы	282
3.7.2.2	Химические вещества для удаления NOX	282
3.7.2.3	Нефтепродукты и природный газ.....	282
3.7.2.4	Данные обследования коммерческих заводов по сжиганию опасных отходов.....	283
4	РАССМАТРИВАЕМЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ПРИ ОПРЕДЕЛЕНИИ НДТ	282
4.1	Организационные технологии для улучшения экологических показателей	286
4.1.1	Система экологического менеджмента (СЭМ)	286
4.1.2	Обеспечение непрерывной работы установки по сжиганию отходов	289
4.2	Эксплуатационные технологии для улучшения экологических показателей ..	291
4.2.1	Контроль качества поступающих отходов	291
4.2.1.1	Установление ограничений для поступающих на завод отходов и определение основных рисков	291
4.2.1.2	Взаимодействие с поставщиками отходов для улучшения контроля качества поступающих отходов	293
4.2.1.3	Контроль качества подачи на площадке сжигания	294
4.2.1.4	Проверка, отбор проб и тестирование поступающих отходов	295

4.2.1.5 Детекторы радиоактивных материалов.....	297
4.2.2 Хранение отходов.....	298
4.2.2.1 Герметичные поверхности, регулируемый дренаж и защита от атмосферных воздействий.....	299
4.2.2.2 Достаточная вместимость хранилища.....	300
4.2.2.3 Отбор воздуха из хранилищ для контроля запаха, пыли и диффузных выбросов.....	302
4.2.2.4 Разделение видов отходов для безопасной обработки	303
4.2.2.5 Использование систем обнаружения и предотвращения пожара	305
4.2.3 Предварительная обработка поступающих отходов, транспортировка и загрузка отходов	306
4.2.3.1 Предварительная обработка, гомогенизация и смешивание отходов ..	306
4.2.3.2 Прямой впрыск жидких и газообразных отходов	309
4.3 Термическая обработка	311
4.3.1 Использование моделирования потоков	318
4.3.2 Конструкция для увеличения турбулентности в зоне вторичного сжигания.....	320
4.3.3 Выбор и использование подходящих систем и параметров контроля горения	321
4.3.4 Оптимизация подачи и распределения первичного и вторичного воздуха.....	325
4.3.5 Предварительный нагрев первичного и вторичного воздуха	327
4.3.6 Частичное замещение вторичного воздуха рециркулирующим дымовым газом	328
4.3.7 Использование обогащенного кислородом воздуха	330
4.3.8 Более высокая температура сжигания (шлакование).....	333
4.3.9 Увеличение выгорания отходов.....	334
4.3.10 Уменьшение отсева на колосниковой решетке	336
4.3.11 Использование низких скоростей газового потока в печи и включение пустых проходов перед конвективным участком котла	337
4.3.12 Определение показателя теплоты сжигания отходов и его использование в качестве параметра контроля горения.....	338
4.4 Технологии увеличения объемов рекуперированной энергии	340
4.4.1 Оптимизация общей энергоэффективности и процесса рекуперации энергии	340
4.4.2 Сокращение объема дымовых газов.....	346
4.4.3 Сокращение общего энергопотребления процесса	347
4.4.4 Выбор турбины	349
4.4.5 Увеличение параметров пара и применение специальных материалов для уменьшения коррозии в котлах.....	351
4.4.6 Снижение давления в конденсаторе (то есть улучшение вакуума).....	353
4.4.7 Оптимизация конструкции котла.....	355
4.4.8 Использование котла с полностью экранированной камерной топкой	357
4.4.9 Использование ширмового пароперегревателя.....	358
4.4.10 Низкотемпературные теплообменники дымовых газов	359
4.4.11 Использование скрубберов для конденсации дымовых газов	361
4.4.12 Использование тепловых насосов для увеличения рекуперации тепла....	364
4.4.13 Особые конфигурации водяного/парового цикла с внешними электростанциями.....	366
4.4.14 Эффективная очистка конвекционных пучков.....	368

4.5	Технологии очистки дымовых газов и предотвращения выбросов в атмосферу	370
4.5.1	Факторы, которые следует учитывать при выборе систем очистки дымовых газов	370
4.5.1.1	Общие факторы.....	370
4.5.1.2	Оптимизация энергопотребления	370
4.5.1.3	Глобальная оптимизация и общесистемный подход.....	371
4.5.1.4	Выбор технологии для новых или действующих установок	371
4.5.2	Технологии снижения выбросов пыли	371
4.5.2.1	Предварительная очистка от пыли перед другими этапами очистки дымовых газов.....	372
4.5.2.2	Удаление пыли ниже по потоку	375
4.5.3	Технологии снижения выбросов кислых газов.....	378
4.5.3.1	Системы мокрой очистки газа.....	378
4.5.3.2	Системы полумокрой очистки газа.....	382
4.5.3.3	Системы сухой ОДГ	387
4.5.3.4	Добавление мокрой очистки в качестве системы финишной очистки дымовых газов после других методов ОДГ	390
4.5.3.5	Рециркуляция остатков ОДГ в системе ОДГ	391
4.5.3.6	Прямое добавление щелочных реагентов к отходам (прямая десульфурация)	394
4.5.3.7	Впрыск щелочных реагентов в котел (высокотемпературный впрыск).....	395
4.5.3.8	Комбинация полумокрого абсорбера и системы сухого впрыска.....	396
4.5.3.9	Использование мониторинга кислого газа для оптимизации процесса ОДГ	396
4.5.4	Технологии снижения выбросов оксидов азота.....	398
4.5.4.1	Горелки с низким уровнем выбросов NO _x для жидких отходов	398
4.5.4.2	Замена вторичного воздуха рециркулирующим дымовым газом	399
4.5.4.3	Селективное некаталитическое восстановление (СНКВ)	399
4.5.4.4	Селективное каталитическое восстановление (СКВ).....	402
4.5.4.5	СКВ с применением каталитических рукавных фильтров	408
4.5.5	Технологии сокращения органических соединений, включая выбросы ПХДД/Ф и ПХБ.....	410
4.5.5.1	Основные технологии предотвращения или восстановления органических соединений, включая ПХДД/Ф и ПХД	410
4.5.5.2	Предотвращение преобразования ПХДД/Ф в системе ОДГ.....	410
4.5.5.3	Разрушение ПХДД/Ф с использованием СКВ	412
4.5.5.4	Уничтожение ПХДД/Ф с использованием каталитических рукавных фильтров	413
4.5.5.5	Адсорбция ПХДД/Ф путем впрыскивания активированного угля или других адсорбентов	415
4.5.5.6	Адсорбция ПХДД/Ф в неподвижном слое	416
4.5.5.7	Использование углеродсодержащих материалов для адсорбции ПХДД/Ф в мокрых скрубберах.....	418
4.5.5.8	Использование угольных суспензий в мокрых скрубберах	419
4.5.6	Технологии сокращения выбросов ртути.....	420
4.5.6.1	Мокрая очистка с низким рН и впрыскиванием добавок	419
4.5.6.2	Впрыск активированного угля для адсорбции ртути	421

4.5.6.3	Использование конденсатора дымовых газов для финишной очистки дымовых газов	423
4.5.6.4	Впрыск хлорита для контроля элементарной ртути	424
4.5.6.5	Добавление перекиси водорода в мокрые скрубберы	425
4.5.6.6	Добавление бромидов в котёл	427
4.5.6.7	Адсорбция ртути в неподвижном слое	428
4.5.6.8	Системы с фиксированным сорбирующим полимерным катализатором (СПК)	428
4.5.7	Технологии сокращения выбросов других веществ	430
4.5.7.1	Использование специальных реагентов для восстановления йода и брома	431
4.6	Обработка и контроль сточных вод	432
4.6.1	Применение технологий очистки дымовых газов без образования сточных вод	432
4.6.2	Обработка сухого зольного остатка	433
4.6.3	Использование котельной дренажной воды	435
4.6.4	Рециркуляция стоков в процесс вместо сброса	437
4.6.5	Разделение потоков сточных вод и очистка в зависимости от содержания загрязняющих веществ	438
4.6.6	Применение физико-химической очистки сточных вод из системы мокрой очистки дымовых газов и других загрязнённых потоков	439
4.6.7	Очистка сточной воды мокрых скрубберов, содержащей аммиак	440
4.6.8	Удаление ртути с помощью ионного обмена	441
4.6.9	Раздельная очистка стоков, возникающих на разных стадиях мокрой очистки	442
4.6.10	Извлечение соляной кислоты из стоков мокрого скруббера	443
4.6.11	Извлечение гипса из стоков мокрых скрубберов	444
4.6.12	Кристаллизация	445
4.7	Технологии очистки твердых остатков	448
4.7.1	Отделение зольного остатка от остатков очистки дымовых газов	449
4.7.2	Скрининг/просеивание и измельчение зольного остатка	450
4.7.3	Отделение металлов от зольного остатка	451
4.7.4	Обработка зольного остатка с использованием старения	453
4.7.5	Обработка зольного остатка с использованием систем сухой обработки	455
4.7.6	Обработка зольного остатка с использованием систем мокрой очистки	457
4.7.7	Технологии снижения выбросов в атмосферный воздух при переработке шлаков и золы от сжигания отходов	461
4.7.8	Очистка сточных вод	463
4.8	Шум	464
5	ЗАКЛЮЧЕНИЯ ПО НАИЛУЧШИМ ДОСТУПНЫМ ТЕХНОЛОГИЯМ (НДТ)	465
	ОБЪЁМ И СОДЕРЖАНИЕ	465
	ОПРЕДЕЛЕНИЯ	466
	АББРЕВИАТУРЫ	469
	ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ	470
5.1	Заключения по НДТ	473
5.1.1	Системы экологического менеджмента	473
5.1.2	Мониторинг	474
5.1.3	Общие показатели экологической результативности и сжигания	478

5.1.4	Энергетическая эффективность.....	482
5.1.5	Выбросы в атмосферный воздух.....	485
5.1.6	Выбросы в воду.....	493
5.1.7	Эффективность использования материалов.....	495
5.1.8	Шум.....	496
5.2	Описание технологий.....	498
5.2.1	Общие технологии.....	498
5.2.2	Технологии снижения выбросов в атмосферный воздух.....	498
5.2.3	Технологии снижения выбросов в воду.....	499
5.2.4	Технологии управления.....	501
6	ПЕРСПЕКТИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ.....	502
6.1	Подогрев турбинного пара.....	502
6.2	Другие технологии в области необработанных дымовых газов для сокращения выбросов диоксинов.....	504
6.3	Масляный скруббер для восстановления полигалогенированных ароматических и полиароматических углеводородов (ПАУ) в дымовых газах мусоросжигательных заводов.....	505
6.4	Беспламенное сжигание в кислородной среде под давлением.....	507
7.	ЗАКЛЮЧИТЕЛЬНЫЕ ЗАМЕЧАНИЯ И РЕКОМЕНДАЦИИ ДЛЯ БУДУЩЕЙ РАБОТЫ.....	510
8.	ПРИЛОЖЕНИЯ.....	514
8.1	Стоимость некоторых систем мониторинга выбросов в атмосферный воздух.....	514
8.2	Примеры расчета энергоэффективности.....	515
8.2.1	Электрический КПД (брутто).....	515
8.2.2	Энергетический КПД (брутто).....	517
8.3	Пример использования системы оценки по множеству критериев, используемой для выбора систем ОДГ.....	520
8.4	Перечень европейских мусоросжигательных заводов, которые принимали участие в сборе данных 2016 года.....	522
8.5	Перечень европейских установок по переработке зольного остатка, которые принимали участие в сборе данных 2016 года.....	547
8.6	Среднесуточные и среднегодовые уровни выбросов, достигнутые на мусоросжигательных заводах, представивших данные о непрерывно контролируемых выбросах в 2016 году: подробные графики.....	551
8.7	Средние получасовые и средние месячные уровни выбросов, достигнутые установками по сжиганию отходов, представивших данные о непрерывно контролируемых выбросах в 2016 году: подробные графики.....	601
8.8	Уровни выбросов, достигнутые на мусоросжигательных заводах, представивших данные о непрерывно контролируемых выбросах в 2016 году: подробные графики.....	655
8.9	Сравнение уровней выбросов ПХДД/Ф, измеренных с помощью краткосрочного и долгосрочного отбора проб на 142 подотчетных объектах сжигания отходов в Бельгии и Франции.....	698
9	ГЛОССАРИЙ.....	701
I.	КОДЫ СТРАН МЕЖДУНАРОДНОЙ ОРГАНИЗАЦИИ ПО СТАНДАРТИЗАЦИИ IOS.....	702
II.	ДЕНЕЖНЫЕ ЕДИНИЦЫ.....	703
III.	ПРЕФИКСЫ ЕДИНИЦ, РАЗДЕЛИТЕЛИ ЧИСЕЛ И ОБОЗНАЧЕНИЯ.....	704
IV.	ЕДИНИЦЫ И МЕРЫ ИЗМЕРЕНИЯ.....	705

V.	ХИМИЧЕСКИЕ ЭЛЕМЕНТЫ	706
VI.	ХИМИЧЕСКИЕ ФОРМУЛЫ, ЧАСТО ИСПОЛЬЗУЕМЫЕ В ЭТОМ ДОКУМЕНТЕ.....	707
VII.	АББРЕВИАТУРЫ.....	708
VIII.	ОПРЕДЕЛЕНИЯ	711
10	СПИСОК ИСТОЧНИКОВ.....	717

Список рисунков

Рисунок 1.1:	Производительная мощность сжигания коммунальных отходов на душу населения в 2014 году.....	7
Рисунок 1.2:	Производство энергии установками по сжиганию коммунальных отходов в Европе в 1999 году.....	15
Рисунок 2.1:	Пример схемы мусоросжигательного завода ТКО с мокрой системой очистки дымовых газов (ОДГ).....	22
Рисунок 2.2:	Примеры систем предварительной подготовки опасных отходов, используемых на некоторых коммерческих заводах по сжиганию опасных отходов.....	31
Рисунок 2.3:	Стадии обработки на колосниковой решетке, во время сжигания и регенерации тепла на примере завода по сжиганию коммунальных отходов.....	38
Рисунок 2.4:	Примеры этапов системы загрузки медицинских отходов, используемых на мусоросжигательной установке.....	41
Рисунок 2.5:	Различные типы колосниковых решеток.....	42
Рисунок 2.6:	Пример поршневой системы удаления зольного остатка, используемой на мусоросжигательной установке с колосниковой решёткой.....	44
Рисунок 2.7:	Пример камеры сжигания.....	45
Рисунок 2.8:	Различные конструкции печей с разным направлением дымовых газов и потока отходов.....	46
Рисунок 2.9:	Схема системы сжигания с вращающейся печью.....	49
Рисунок 2.10:	Вращающаяся (барабанная) печь с камерой дожигания.....	50
Рисунок 2.11:	Пример установки с вращающейся (барабанной) печью для сжигания опасных отходов.....	51
Рисунок 2.12:	Схема предварительной обработки ТКО до сжигания в кипящем слое.....	52
Рисунок 2.13:	Основные компоненты стационарного/пузырькового кипящего слоя.....	54
Рисунок 2.14:	Основные компоненты циркулирующего кипящего слоя.....	56
Рисунок 2.15:	Схема газогенератора с уплотненным слоем и проточного газогенератора.....	59
Рисунок 2.16:	Пиролизная установка для переработки коммунальных отходов.....	60
Рисунок 2.17:	Технологическая схема автоматической пиролизической установки.....	62
Рисунок 2.18:	Пиролиз на решетке с непосредственным высокотемпературным сжиганием.....	63
Рисунок 2.19:	Пример установки для совместного пиролиза и сжигания медицинских отходов, ZAVIN, Нидерланды.....	64
Рисунок 2.20:	Схематическое изображение пиролизической установки типа «push pyrolyser» (установка на схеме эксплуатируется компанией Thermostelect).....	66
Рисунок 2.21:	Комбинированная газификация с кипящим слоем и высокотемпературный процесс горения.....	67
Рисунок 2.22:	Шахтная печь для совмещенной газификации отходов и плавления золы.....	68
Рисунок 2.23:	Типичная конструкция камеры для сжигания жидких и газообразных отходов.....	70
Рисунок 2.24:	Схема установки для регенерации HCl из остаточных газов и жидких галогенированных отходов.....	71
Рисунок 2.25:	Технологическая схема установки по переработке хлора, эксплуатируемой компанией AkzoNobel.....	72
Рисунок 2.26:	Пример установки для сжигания сточных вод с установкой выпаривания (концентрирования) сточных вод.....	73
Рисунок 2.27:	Технологическая схема установки для очистки щелочной воды, используемая компанией AVR.....	75
Рисунок 2.28:	График, показывающий зарегистрированные изменения НТС отходов на установках сжигания ТКО за 4 года.....	80
Рисунок 2.29:	Схематическое изображение отдельных нагревательных поверхностей в парогенераторе.....	84
Рисунок 2.30:	Основные системы регулирования потока в котле.....	85
Рисунок 2.31:	Обзор различных систем котлов: горизонтальных, комбинированных и вертикальных.....	86
Рисунок 2.32:	Обзор возможных комбинаций систем очистки дымовых газов.....	94
Рисунок 2.33:	Принцип действия электростатического осадителя.....	95
Рисунок 2.34:	Конденсационный электрофильтр.....	96
Рисунок 2.35:	Пример рукавного фильтра.....	98
Рисунок 2.36:	Схема двухступенчатого мокрого скруббера с удалением пыли вверх по потоку.....	102
Рисунок 2.37:	Принцип работы распылительного абсорбера.....	103

Рисунок 2.38:	Схематическое изображение сухой системы очистки дымовых газов с впрыском реагента в атмосферный воздуховод дымовых газов и последующей фильтрацией в рукаве	104
Рисунок 2.39:	Температурная зависимость различных механизмов образования NO_x при сжигании отходов	107
Рисунок 2.40:	Принцип технологии селективного некаталитического восстановления (СНКВ)	110
Рисунок 2.41:	Взаимосвязь между снижением и образованием NO_x , проскоком аммиака и температурой реакции для процесса селективного некаталитического восстановления (СНКВ).....	111
Рисунок 2.42:	Принцип действия СКВ	114
Рисунок 2.43:	Взаимосвязь между долей ртути, присутствующей в элементарной форме, и содержанием хлорида неочищенного газа на установке сжигания опасных отходов	115
Рисунок 2.44:	Технологическая схема физико-химической очистки сточных вод, образующихся при мокрой очистке дымовых газов	122
Рисунок 2.45:	Поточное испарение сточных вод от мокрой очистки	125
Рисунок 2.46:	Отдельное испарение стоков скруббера от мокрой очистки	126
Рисунок 2.47:	Обзор применяемых систем очистки сточных вод на коммерческих установках по сжиганию опасных отходов.....	128
Рисунок 2.48:	Пример установки очистки сточных вод, используемой на коммерческой установке по сжиганию опасных отходов	129
Рисунок 3.1:	Постоянно контролируемые выбросы HCl в атмосферный воздух из подотчетных объектов, сжигающих преимущественно ТКО.....	153
Рисунок 3.2:	Постоянно контролируемые выбросы HCl в атмосферный воздух из подотчетных объектов, сжигающих преимущественно ДНОО	154
Рисунок 3.3:	Периодически контролируемые выбросы HF в атмосферный воздух из подотчетных объектов, сжигающих преимущественно ТКО	155
Рисунок 3.4:	Постоянно контролируемые выбросы HF в атмосферный воздух из подотчетных объектов, сжигающих преимущественно ТКО	156
Рисунок 3.5:	Периодически контролируемые выбросы HF в атмосферный воздух из подотчетных объектов, сжигающих преимущественно ДНОО	156
Рисунок 3.6:	Постоянно контролируемые выбросы HF в атмосферный воздух из подотчетных объектов, сжигающих преимущественно ДНОО	157
Рисунок 3.7:	Постоянно контролируемые выбросы SO_2 в атмосферный воздух из подотчетных объектов, сжигающих преимущественно ТКО.....	158
Рисунок 3.8:	Постоянно контролируемые выбросы SO_2 в атмосферный воздух из подотчетных объектов, сжигающих преимущественно ДНОО	158
Рисунок 3.9:	Постоянно контролируемые выбросы пыли в атмосферный воздух из подотчетных объектов, сжигающих преимущественно ТКО	160
Рисунок 3.10:	Постоянно контролируемые выбросы пыли в атмосферный воздух из подотчетных объектов, сжигающих преимущественно ДНОО	160
Рисунок 3.11:	Постоянно контролируемые выбросы NO_x в атмосферный воздух из подотчетных объектов, сжигающих преимущественно ТКО	162
Рисунок 3.12:	Постоянно контролируемые выбросы NO_x в атмосферный воздух от подотчетных объектов, сжигающих преимущественно ДНОО	162
Рисунок 3.13:	Периодически контролируемые выбросы NH_3 в атмосферный воздух из подотчетных объектов, сжигающих преимущественно ТКО.....	164
Рисунок 3.14:	Постоянно контролируемые выбросы NH_3 в атмосферный воздух из подотчетных объектов, сжигающих преимущественно ТКО	164
Рисунок 3.15:	Периодически контролируемые выбросы NH_3 в атмосферный воздух из подотчетных объектов, сжигающих преимущественно ДНОО	165
Рисунок 3.16:	Постоянно контролируемые выбросы NH_3 в атмосферный воздух из подотчетных объектов, сжигающих преимущественно ДНОО	165
Рисунок 3.17:	Постоянно контролируемые выбросы TVOC в атмосферный воздух из подотчетных объектов, сжигающих преимущественно ТКО	167
Рисунок 3.18:	Постоянно контролируемые выбросы TVOC в атмосферный воздух из подотчетных объектов, сжигающих преимущественно ДНОО	167
Рисунок 3.19:	Постоянно контролируемые выбросы CO в атмосферный воздух из подотчетных объектов, сжигающих преимущественно ТКО.....	169
Рисунок 3.20:	Постоянно контролируемые выбросы CO в атмосферный воздух из подотчетных объектов, сжигающих преимущественно ДНОО	169

[illegible]

Рисунок 3.49: Периодически контролируемые выбросы Sb+As+Cr+Co+Cu+Pb+Mn+Ni+V в атмосферный воздух из подотчетных объектов, сжигающих преимущественно ОСВ	195
Рисунок 3.50: Периодически контролируемые выбросы Cd+Tl в атмосферный воздух из подотчетных объектов, сжигающих преимущественно ОСВ	196
Рисунок 3.51: Постоянно контролируемые выбросы HCl в атмосферный воздух из подотчетных объектов, сжигающих преимущественно ОО	197
Рисунок 3.52: Периодически контролируемые выбросы HF в атмосферный воздух из подотчетных объектов, сжигающих преимущественно ОО	198
Рисунок 3.53: Постоянно контролируемые выбросы HF в атмосферный воздух из подотчетных объектов, сжигающих преимущественно ОО	199
Рисунок 3.54: Постоянно контролируемые выбросы SO ₂ в атмосферный воздух из подотчетных объектов, сжигающих преимущественно ОО	200
Рисунок 3.55: Постоянно контролируемые выбросы пыли в атмосферный воздух из подотчетных объектов, сжигающих преимущественно ОО	201
Рисунок 3.56: Постоянно контролируемые выбросы NO _x в атмосферный воздух из подотчетных объектов, сжигающих преимущественно ОО	202
Рисунок 3.57: Периодически контролируемые выбросы NH ₃ в атмосферный воздух из подотчетных объектов, сжигающих преимущественно ОО	203
Рисунок 3.58: Постоянно контролируемые выбросы NH ₃ в атмосферный воздух из подотчетных объектов, сжигающих преимущественно ОО	204
Рисунок 3.59: Непрерывный мониторинг выбросов TVOC в атмосферный воздух из подотчетных объектов, сжигающих преимущественно ОО	205
Рисунок 3.60: Постоянно контролируемые выбросы CO в атмосферный воздух из подотчетных объектов, сжигающих преимущественно ОО	206
Рисунок 3.61: Периодически контролируемые выбросы ПХДД/Ф в атмосферный воздух из подотчетных объектов, сжигающих преимущественно ОО	207
Рисунок 3.62: Периодически контролируемые выбросы ртути в атмосферный воздух из подотчетных объектов, сжигающих преимущественно ОО	209
Рисунок 3.63: Постоянно контролируемые выбросы ртути в атмосферный воздух из подотчетных объектов, сжигающих преимущественно ОО: ежедневные и годовые уровни выбросов.....	210
Рисунок 3.64: Постоянно контролируемые выбросы ртути в атмосферный воздух из подотчетных объектов, сжигающих преимущественно ОО: получасовые уровни выбросов....	210
Рисунок 3.65: Постоянно контролируемые выбросы ртути в атмосферный воздух из подотчетных объектов, сжигающих преимущественно ОО: месячные уровни выбросов	211
Рисунок 3.66: Периодически контролируемые выбросы Sb+As+Cr+Co+Cu+Pb+Mn+Ni+V в атмосферный воздух из подотчетных объектов, сжигающих преимущественно ОО	212
Рисунок 3.67: Периодически контролируемые выбросы Cd+Tl в атмосферный воздух из подотчетных объектов, сжигающих преимущественно ОО	213
Рисунок 3.68: Выбросы взвешенных твердых частиц в воду и технологии, применяемые для их снижения	224
Рисунок 3.69: Выбросы ртути в воду и технологии, применяемые для их снижения.....	225
Рисунок 3.70: Выбросы сурьмы в воду и технологии, применяемые для их снижения	226
Рисунок 3.71: Выбросы мышьяка в воду и технологии, применяемые для их снижения.....	227
Рисунок 3.72: Выбросы кадмия в воду и технологии, применяемые для их снижения.....	228
Рисунок 3.73: Выбросы хрома в воду и технологии, применяемые для их снижения	229
Рисунок 3.74: Выбросы меди в воду и технологии, применяемые для их снижения	230
Рисунок 3.75: Выбросы свинца в воду и технологии, применяемые для их снижения	231
Рисунок 3.76: Выбросы молибдена в воду и технологии, применяемые для их снижения	232
Рисунок 3.77: Выбросы никеля в воду и технологии, применяемые для их снижения	233
Рисунок 3.78: Выбросы таллия в воду и технологии, применяемые для их снижения.....	234
Рисунок 3.79: Выбросы цинка в воду и технологии, применяемые для их снижения	235
Рисунок 3.80: Выбросы общего органического углерода в воду и технологии, применяемые для их снижения	236
Рисунок 3.81: Выбросы ПХДД/Ф в воду и технологии, применяемые для их снижения.....	237
Рисунок 3.82: Содержание ООУ в необработанных зольном остатке и шлаках (1/2)	259
Рисунок 3.83: Содержание ООУ в необработанных зольном остатке и шлаках (2/2)	260
Рисунок 3.84: ППП необработанных зольных остатков и шлаков (1/2).....	261
Рисунок 3.85: ППП необработанных зольных остатков и шлаков (2/2).....	262
Рисунок 3.86: Граница системы, используемая для расчета КПД	265

Рисунок 3.87:	Электрический КПД (брутто) установок, сжигающих преимущественно ТКО, ДНОО и опасные древесные отходы (1/3)	272
Рисунок 3.88:	Электрический КПД (брутто) установок, сжигающих преимущественно ТКО, ДНОО и опасные древесные отходы (2/3)	273
Рисунок 3.89:	Электрический КПД (брутто) установок, сжигающих преимущественно ТКО, ДНОО и опасные древесные отходы (3/3)	274
Рисунок 3.90:	Энергетический КПД (брутто) мусоросжигательных заводов	275
Рисунок 3.91:	Эффективность котельных установок, сжигающих преимущественно опасные отходы	276
Рисунок 3.92:	Эффективность котельных установок по сжиганию преимущественно осадков сточных вод	277
Рисунок 4.1	Постоянное усовершенствование модели СЭМ	287
Рисунок 4.2:	Пример компонентов системы управления печью	322
Рисунок 4.3:	Пример параметров ввода, контроля и вывода системы управления печью	323
Рисунок 4.4:	Схематическое изображение ширмового пароперегревателя	358
Рисунок 4.5:	Контроль загрязнения и дополнительная восстановление тепла путем конденсации водяного пара дымовых газов на заводе комбинированного производства тепловой и электроэнергии от сжигания отходов «Hogdalen»	363
Рисунок 4.6:	Типичная конструкция полумокрой системы ОДГ	383
Рисунок 4.7:	Схема системы СКВ ниже по потоку от системы ОДГ, которая не является мокрой, показывает типичные профили теплообмена и температуры	405
Рисунок 4.8:	Схема системы СКВ после мокрой системы ОДГ, показывающая дополнительные профили теплообмена и температуры	406
Рисунок 4.9:	Схема системы удаления сухого зольного остатка	434
Рисунок 4.10:	Схема кристаллизации, применяемая на трех мусоросжигательных заводах в Дании	446
Рисунок 4.11:	Схема примера процесса обработки зольного остатка с некоторыми этапами механического разделения, используемыми для очистки зольного остатка	448
Рисунок 4.12:	Влияние старения на выщелачиваемость отдельных металлов: (слева) влияние на pH; (справа) выщелачивание как функция pH	454
Рисунок 4.13:	Схема системы мокрой обработки зольного остатка	458
Рисунок 6.1:	Пример подогрева пара	501
Рисунок 6.2:	Схематическое изображение установки для сжигания отходов с расположенным ниже по потоку скруббером для осаждения диоксинов	505
Рисунок 8.1:	Среднесуточные и среднегодовые уровни выбросов для постоянно контролируемых выбросов HCl в атмосферный воздух из подотчетных объектов, сжигающих преимущественно ТКО (1/3)	551
Рисунок 8.2:	Среднесуточные и среднегодовые уровни выбросов для постоянно контролируемых выбросов HCl в атмосферный воздух из подотчетных объектов, сжигающих преимущественно ТКО (2/3)	552
Рисунок 8.3:	Среднесуточные и среднегодовые уровни выбросов для постоянно контролируемых выбросов HCl в атмосферный воздух из подотчетных объектов, сжигающих преимущественно ТКО (3/3)	553
Рисунок 8.4:	Среднесуточные и среднегодовые уровни выбросов для постоянно контролируемых выбросов HCl в атмосферный воздух из подотчетных объектов, сжигающих преимущественно ДНОО	554
Рисунок 8.5:	Среднесуточные и среднегодовые уровни выбросов для постоянно контролируемых выбросов HF в атмосферный воздух из подотчетных объектов, сжигающих преимущественно ТКО	555
Рисунок 8.6:	Среднесуточные и среднегодовые уровни выбросов для постоянно контролируемых выбросов HF в атмосферный воздух из подотчетных объектов, сжигающих преимущественно ДНОО	556
Рисунок 8.7:	Среднесуточные и среднегодовые уровни выбросов для постоянно контролируемых выбросов SO ₂ в атмосферный воздух из подотчетных объектов, сжигающих преимущественно ТКО (1/3)	557
Рисунок 8.8:	Среднесуточные и среднегодовые уровни выбросов для постоянно контролируемых выбросов SO ₂ в атмосферный воздух из подотчетных объектов, сжигающих преимущественно ТКО (2/3)	558
Рисунок 8.9:	Среднесуточные и среднегодовые уровни выбросов для постоянно контролируемых выбросов SO ₂ в атмосферный воздух из подотчетных объектов, сжигающих преимущественно ТКО (3/3)	559

[illegible]

[illegible]

[illegible]

Рисунок 8.136: Уровни выбросов для периодически контролируемых выбросов Hg в атмосферный воздух из подотчетных объектов, сжигающих преимущественно ОСВ	686
Рисунок 8.137: Уровни выбросов для периодически контролируемых выбросов Sb+As+Cr+Co+Cu+Pb+Mn+Ni+V в атмосферный воздух из подотчетных объектов, сжигающих преимущественно ОСВ	687
Рисунок 8.138: Уровни выбросов для периодически контролируемых выбросов CD+PI в атмосферный воздух из подотчетных объектов, сжигающих преимущественно ОСВ	688
Рисунок 8.139: Уровни выбросов для периодически контролируемых выбросов HF в атмосферный воздух из подотчетных объектов, сжигающих преимущественно ОО	689
Рисунок 8.140: Уровни выбросов для периодически контролируемых выбросов NH ₃ в атмосферный воздух из подотчетных объектов, сжигающих преимущественно ОО	690
Рисунок 8.141: Уровни выбросов для периодически контролируемых выбросов ПХДД/Ф в атмосферный воздух из подотчетных объектов, сжигающих преимущественно ОО	691
Рисунок 8.142: Уровни выбросов для периодически контролируемых выбросов диоксиноподобных ПХБ в атмосферный воздух из подотчетных объектов, сжигающих преимущественно ОО	692
Рисунок 8.143: Уровни выбросов для периодически контролируемых выбросов ПАУ в атмосферный воздух из подотчетных объектов, сжигающих преимущественно ОО	693
Рисунок 8.144: Уровни выбросов для периодически контролируемых выбросов BaP в атмосферный воздух из подотчетных объектов, сжигающих преимущественно ОО	694
Рисунок 8.145: Уровни выбросов для периодически контролируемых выбросов Hg в атмосферный воздух из подотчетных объектов, сжигающих преимущественно ОО	695
Рисунок 8.146: Уровни выбросов для периодически контролируемых выбросов Sb+As+Cr+Co+Cu+Pb+Mn+Ni+V в атмосферный воздух из подотчетных объектов, сжигающих преимущественно ОО	696
Рисунок 8.147: Уровни выбросов для периодически контролируемых выбросов Cd+PI в атмосферный воздух из подотчетных объектов, сжигающих преимущественно ОО	697
Рисунок 8.148: Распределение измерений ПХДД/Ф в различных диапазонах концентраций, полученных на заводах, представленных Бельгией, FNADE/SVDU и HWE, на основе краткосрочного и долгосрочного отбора проб	698
Рисунок 8.149: Процент измерений, падающих ниже различных порогов концентрации, суммарно для всех заводов, представленных Бельгией, FNADE/SVDU и HWE, для краткосрочных и долгосрочных измерений	699

Список таблиц

Таблица 1.1:	Назначение различных компонентов мусоросжигательной установки	2
Таблица 1.2:	Количество твердых коммунальных отходов (ТКО), опасных отходов (ОО) и осадков сточных вод (ОСВ) в государствах-членах ЕС и способы их обезвреживания	4
Таблица 1.3:	Географическое распределение заводов по сжиганию твердых коммунальных отходов, опасных отходов и осадков сточных вод	6
Таблица 1.4:	Средняя мощность установок сжигания ТКО по странам	8
Таблица 1.5:	Типичные диапазоны пропускной способности различных технологий сжигания	8
Таблица 1.6:	Типичный состав отходов в Германии	10
Таблица 1.7:	Проходная пошлина на европейских заводах по сжиганию твердых коммунальных отходов (ТКО) и опасных отходов	18
Таблица 1.8:	Сравнительные затраты на сжигание ТКО в разных государствах-членах	18
Таблица 1.9:	Удельные инвестиционные затраты на новую установку для сжигания твёрдых коммунальных отходов (УСТКО), связанные с годовой мощностью и некоторыми типами очистки дымовых газов (ОДГ) в Германии	19
Таблица 1.10:	Пример сравнительных отдельных видов затрат для установок по сжиганию ТКО и опасных отходов	20
Таблица 2.1:	Типичные условия реакции и продукты процессов сгорания, пиролиза и газификации	23
Таблица 2.2:	Основное влияние сбора и предварительной подготовки на образование остаточных отходов	24
Таблица 2.3:	Перечень различий между операторами на рынке заводов для сжигания ОО	26
Таблица 2.4:	Среднестатистический состав обезвоженного осадка коммунальных сточных вод и осадков промышленных сточных вод после обезвоживания	31
Таблица 2.5:	Краткое описание текущего применения процессов тепловой обработки, применяемых к различным типам отходов	37
Таблица 2.6:	Сравнение характеристик различных конструкций камер для сжигания	46
Таблица 2.7:	Свойства различных фракций RDF-топлива обрабатываемых в кипящем слое	53
Таблица 2.8:	Основные рабочие параметры для стационарных кипящих слоев	55
Таблица 2.9:	Типичные условия реакции и продукты процессов сгорания, пиролиза и газификации	57
Таблица 2.10:	Диапазоны и типичные значения теплоты сгорания для некоторых отходов, поступающих в мусоросжигательную установку	79
Таблица 2.11:	Факторы, принимаемые во внимание при выборе проекта энергетического цикла для мусоросжигательных заводов	81
Таблица 2.12:	Пример данных, показывающих изменение выработки тепла и электроэнергии на трех разных станциях в Швеции при использовании различных видов тепловых насосов	89
Таблица 2.13:	Улучшения пароводяного цикла: влияние на эффективность и другие аспекты	91
Таблица 2.14:	Сводная информация об основных системах очистки дымовых газов, применяемых на контрольных линиях мусоросжигательных заводов, которые участвовали в сборе данных за 2016 год	93
Таблица 2.15:	Эксплуатационные характеристики различных материалов рукавных фильтров	99
Таблица 2.16:	Сравнение свойств различных щелочных реагентов	105
Таблица 2.17:	Преимущества и недостатки использования мочевины и аммиака для СНКВ	112
Таблица 3.1:	Распределение различных веществ в выходных потоках на примере установки СТКО (в масс. %)	138
Таблица 3.2:	Процентное (%) распределение металлов в выходных потоках при сжигании опасных отходов (СОО)	139
Таблица 3.3:	Усредненные условия работы при тестировании секционирования на установке СОО	139
Таблица 3.4:	Баланс ПХДД/Ф для муниципального мусоросжигательного завода в Германии	140
Таблица 3.5:	Пример данных загрузки ПХДД/Ф для установки СТКО во Франции	140
Таблица 3.6:	Концентрации дымовых газов после котла (дымовой газ до очистки) на различных установках сжигания отходов (эталонное значение O ₂ 11%)	141
Таблица 3.7:	Постоянно контролируемые выбросы от подотчетных объектов, сжигающих преимущественно медицинские отходы	213
Таблица 3.8:	Периодически контролируемые выбросы из подотчетных объектов, сжигающих преимущественно медицинские отходы (1/2)	214
Таблица 3.9:	Периодически контролируемые выбросы из подотчетных объектов, сжигающих преимущественно медицинские отходы (2/2)	214

Таблица 3.10:	Типичные объемы скрубберной воды, образующейся в процессе ОДГ, на установках по сжиганию отходов с низким содержанием хлора	215
Таблица 3.11:	Другие возможные источники образования сточных вод на установках по сжиганию и их приблизительные количества	217
Таблица 3.12:	Типичное загрязнение сточных вод от влажной ОДГ мусоросжигательных заводов перед очисткой	217
Таблица 3.13:	Типичные данные о количестве остатков, образующихся на установках по сжиганию	238
Таблица 3.14:	Концентрация органических соединений в твердых остатках из системы очистки дымовых газов	239
Таблица 3.15:	Концентрация органических соединений в зольном остатке/шлаке	240
Таблица 3.16:	Концентрация органических соединений в твердых остатках на станциях очистки сточных вод	241
Таблица 3.17:	Основные компоненты необработанного зольного остатка	241
Таблица 3.18:	Химический состав зольного остатка от сжигания ТКО	242
Таблица 3.19:	Выщелачивающие свойства необработанного зольного остатка	242
Таблица 3.20:	Методы и параметры, используемые на установках по сжиганию отходов для проверки ЭФ соединений опасных отходов	243
Таблица 3.21:	Типичные значения выщелачивания зольного остатка на установках по сжиганию опасных отходов	246
Таблица 3.22:	Содержание фосфора, ПАУ, ПХД и ПХДД/Ф в твердых остатках, образующихся при сжигании осадка сточных вод	247
Таблица 3.23:	Значения выщелачивания зольного остатка из печей с кипящим слоем	248
Таблица 3.24:	Характеристик установок по сжиганию отходов с последующей обработкой зольного остатка	250
Таблица 3.25:	Установки по переработке шлака/зольного остатка с кодом 19 01 12 по Европейскому каталогу отходов: объемы, обработанные в 2014 году, и процент извлеченных черных и цветных металлов	251
Таблица 3.26:	Установки по переработке шлака/зольного остатка с кодом 19 01 11* по Европейскому каталогу отходов: объемы, обработанные в 2014 году, и процент извлеченных черных и цветных металлов	251
Таблица 3.27:	Поступающее и производимое количество отходов европейскими установками по переработке зольного остатка в 2014 году	252
Таблица 3.28:	Величина выщелачивания зольного остатка после обработки	253
Таблица 3.29:	Выбросы пыли в атмосферный воздух при обработке зольного остатка после сжигания – периодические измерения	254
Таблица 3.30:	Зарегистрированные выбросы в воду при обработке шлаков и зольного остатка после сжигания с указанием используемых методов и точек выброса	255
Таблица 3.31:	Использование энергии и воды установками по обработке зольного остатка в 2014 году	257
Таблица 3.32:	Факторы, влияющие на варианты рекуперации энергии	263
Таблица 3.33:	Параметры пара заводов, сжигающих преимущественно опасные отходы	267
Таблица 3.34:	Параметры пара заводов, сжигающих преимущественно осадок сточных вод	268
Таблица 3.35:	Электрический КПД (брутто) установок, сжигающих преимущественно опасные отходы	269
Таблица 3.36:	Электрический КПД (брутто) установок, сжигающих преимущественно осадки сточных вод	269
Таблица 3.37:	Данные о потреблении электроэнергии и тепла на тонну обработанных отходов	271
Таблица 3.38:	Источники шума на мусоросжигательных заводах	278
Таблица 3.39:	Стехиометрический расчет количеств различных реагентов, используемых для абсорбции при очистке дымовых газов (реагенты, выраженные при 100% концентрации и чистоте)	279
Таблица 3.40:	Количество добавок, используемых в процессах сжигания опасных отходов	281
Таблица 4.1:	Структура представления информации по категориям для каждой технологии, описанной в этой главе	282
Таблица 4.2:	Технологии, применяемые для проверки и отбора проб различных видов отходов	297
Таблица 4.3:	Некоторые примеры применяемых технологий хранения для различных типов отходов	300
Таблица 4.4:	Основные технологии снижения диффузных выбросов в атмосферный воздух, выделения запахов и выбросов ПГ (парниковых газов)	303
Таблица 4.5:	Некоторые технологии разделения, применяемые к различным типам отходов	305

Таблица 4.6:	Сравнение технологий сжигания и термической обработки и факторов, влияющих на их применимость и эксплуатационную пригодность	313
Таблица 4.7:	Измерения неочищенного дымового газа при испытании в нормальном режиме с ИК-камерой и кондиционированием O ₂	325
Таблица 4.8:	Качество остатков с использованием обогащенного воздуха для горения (O ₂ при 25–27%).....	332
Таблица 4.9:	Соотношение между дополнительной энергоэффективностью и температурой возврата охлаждающей среды (центрального отопления)	362
Таблица 4.10:	Сравнение достижимой энергоэффективности электрической энергии с внешним перегревателем на заводе Лаанила.....	366
Таблица 4.11:	Эксплуатационные данные, связанные с использованием систем предварительной очистки.....	373
Таблица 4.12:	Сравнение систем удаления пыли	373
Таблица 4.13:	Потребности в энергии, связанные с использованием различных предварительных пылеуловителей	374
Таблица 4.14:	Уровни выбросов, связанные с использованием систем финишной очистки дымовых газов РФ	376
Таблица 4.15:	Эксплуатационные данные, связанные с использованием финишной очистки дымовых газов.....	377
Таблица 4.16:	Воздействие на различные компоненты окружающей среды, связанное с использованием дополнительной финишной очистки дымовых газов.....	377
Таблица 4.17:	Уровни выбросов, связанные с использованием мокрых скрубберов	379
Таблица 4.18:	Эксплуатационные данные, связанные с использованием мокрой ОДГ	379
Таблица 4.19:	Воздействие на различные компоненты окружающей среды, связанные с использованием мокрого скруббера ОДГ	380
Таблица 4.20:	Расчетные инвестиционные затраты на отдельные компоненты мокрых систем ОДГ	381
Таблица 4.21:	Уровни выбросов, связанные с использованием полумокрых скрубберов	384
Таблица 4.22:	Эксплуатационные данные, связанные с использованием полумокрой ОДГ	384
Таблица 4.23:	Воздействие на различные компоненты окружающей среды, связанное с использованием полумокрой очистки кислого газа	385
Таблица 4.24:	Ориентировочные инвестиционные затраты на отдельные компоненты типичных полумокрых систем ОДГ	386
Таблица 4.25:	Уровни выбросов, связанные с использованием гашеной извести в сухих процессах ОДГ	387
Таблица 4.26:	Уровни выбросов, связанные с использованием бикарбоната натрия в процессах сухой ОДГ	387
Таблица 4.27:	Эксплуатационные данные, связанные с использованием сухой ОДГ	388
Таблица 4.28:	Воздействие на различные компоненты окружающей среды, связанное с использованием сухой ОДГ	388
Таблица 4.29:	Эксплуатационные данные, связанные с использованием рециркуляции остатков	391
Таблица 4.30:	Уровни выбросов, связанные с использованием промежуточных систем	392
Таблица 4.31:	Уровни выбросов, связанные с использованием СНКВ.....	399
Таблица 4.32:	Эксплуатационные данные, связанные с использованием СНКВ.....	400
Таблица 4.33:	Уровни потребления, связанные с использованием СНКВ	401
Таблица 4.34:	Уровни выбросов, связанные с использованием СКВ.....	403
Таблица 4.35:	Эксплуатационные данные, связанные с использованием СКВ	403
Таблица 4.36:	Воздействия на различные компоненты окружающей среды, связанные с использованием СКВ	406
Таблица 4.37:	Уровни выбросов, связанные с использованием СКВ в каталитических фильтрах.....	408
Таблица 4.38:	Данные по эффективности разрушения для каталитических РФ за 21 месяц эксплуатации	413
Таблица 4.39:	Эксплуатационные данные, связанные с использованием адсорбционных статических коксовых фильтров с неподвижным слоем.....	415
Таблица 4.40:	Воздействия на различные компоненты окружающей среды, связанные с использованием адсорбционных статических фильтров с неподвижным слоем.....	416
Таблица 4.41:	Данные по эксплуатационным аспектам, связанные с использованием насыщенных углеродом материалов в мокрых скрубберах.....	417
Таблица 4.42:	Оценка применимости конденсационных скрубберов для удаления ртути	424
Таблица 4.43:	Выбросы ртути в воду от заводов, использующих ионный обмен	441
Таблица 4.44:	Количество HCl (30%), извлеченного на тонну отходов.....	443

Таблица 4.45:	Количество извлеченного гипса на тонну обработанных отходов	444
Таблица 4.46:	Результаты периода испытаний, проведенных для удаления Mo и Sb на мусоросжигательной установке в Эсбьорге в Дании	446
Таблица 4.47:	Данные о концентрации зольного остатка на выходе, приведенные для примера установки для обработки золы	456
Таблица 4.48:	Данные элюата зольного остатка, приведенные для примера обработки зольного остатка	456
Таблица 4.49:	Относительный выход различных выходных фракций мокрой обработки зольного остатка	458
Таблица 4.50:	Пример результатов выщелачивания полученных гранулятов	458
Таблица 4.51:	Данные о концентрации зольного остатка (мг/кг), приведенные для примера установки для обработки зольного остатка	459
Таблица 4.52:	Данные элюата зольного остатка (мкг/л), приведенные для примера установки для обработки зольного остатка	459
Таблица 5.1:	Уровни выбросов, связанные с НДТ (НДТ-СУВ) для выбросов пыли, металлов и металлоидов из точечных источников от сжигания отходов в атмосферный воздух	487
Таблица 5.2:	Уровни выбросов, связанные с НДТ (НДТ-СУВ) для выбросов в виде пыли из точечных источников в атмосферный воздух при закрытой обработке шлаков и зольного остатка с удалением воздуха	487
Таблица 5.3:	Уровни выбросов, связанные с НДТ (НДТ-СУВ) для выбросов HCl, HF и SO ₂ в атмосферный воздух из точечных источников от сжигания отходов	488
Таблица 5.4:	Уровни выбросов, связанные с НДТ (НДТ-СУВ), для выбросов NO _x и CO в атмосферный воздух из точечных источников при сжигании отходов и для выбросов NH ₃ в атмосферный воздух из точечных источников в результате использования СНКВ и/или СКВ	489
Таблица 5.5:	Уровни выбросов, связанные с НДТ (НДТ-СУВ) для выбросов из точечных источников TVOC, ПХДД/Ф и диоксиноподобных ПХБ от сжигания отходов в атмосферный воздух	491
Таблица 5.6:	Уровни выбросов, связанные с НДТ (НДТ-СУВ) для выбросов ртути в атмосферный воздух из точечных источников при сжигании отходов	492
Таблица 5.7:	НДТ-СУВ для прямых выбросов в принимающий водный объект	494
Таблица 5.8:	НДТ-СУВ для косвенных выбросов в принимающий водный объект	495
Таблица 6.1:	Выбросы в атмосферный воздух от процесса беспламенного сжигания под давлением с использованием трех различных типов отходов	507
Таблица 6.2:	Испытание на выщелачивание шлака, полученного технологией беспламенного сжигания под давлением с использованием трех различных типов отходов	508
Таблица 7.1:	Основные этапы процесса рассмотрения Справочного документа по НДТ сжигания отходов	510
Таблица 7.2:	Выраженные расхождения во мнениях	511
Таблица 8.1:	Сводная информация, полученная в результате тестирования производительности электростанции, работающей только на электричестве	515
Таблица 8.2:	Сводная информация, полученная в результате тестирования производительности ТЭЦ, ориентированной на электроэнергию	516
Таблица 8.3:	Сводная информация, полученная в результате тестирования производительности установки, работающей только на тепле	517
Таблица 8.4:	Сводная информация из теста производительности ТЭЦ, ориентированной на выработку тепла	518
Таблица 8.5:	Пример многокритериальной оценки выбора системы ОДГ	520
Таблица 8.6:	Пример многокритериальной оценки затрат, используемой для сравнения вариантов системы ОДГ	521

ОБЪЕМ И СОДЕРЖАНИЕ

Справочный документ по НДТ сжигания отходов затрагивает следующие виды деятельности, указанные в Приложении I к Директиве 2010/75/EU:

5.2 Уничтожение или восстановление отходов на мусоросжигательных заводах:

- (a) для неопасных отходов с производительностью, превышающей 3 тонны в час;
- (b) для опасных отходов с производительностью, превышающей 10 тонн в день.

5.2 Уничтожение или восстановление отходов на установках совместного сжигания отходов:

- (a) для неопасных отходов с производительностью, превышающей 3 тонны в час;
- (b) для опасных отходов с производительностью, превышающей 10 тонн в день;

основным назначением которых не является производство материальных ресурсов и для которых выполняется хотя бы одного из следующих условий:

- осуществляется сжигание любых отходов, за исключением отходов, перечисленных в Статье 3 (31) (b) Директивы 2010/75/ЕС;
- более 40% выделяемого тепла образуется при сжигании опасных отходов;
- осуществляется совместное сжигание смешанных коммунальных отходов.

5.1 Уничтожение или восстановление опасных отходов с производительностью, превышающей 10 тонн в день, включая обработку шлаков и/или зольного остатка от сжигания отходов.

5.3 (a) Уничтожение неопасных отходов с производительностью, превышающей 50 тонн в день, включая обработку шлаков и/или зол от сжигания отходов.

5.3 (b) Восстановление или комбинация восстановления и уничтожения неопасных отходов с производительностью, превышающей 75 тонн в день, включая обработку шлаков и/или зол от сжигания отходов.

Данный Справочный документ по НДТ сжигания отходов не касается следующего:

- Предварительная обработка отходов перед сжиганием. Данный раздел может быть освещен в Заключении по НДТ переработки отходов (WT).
- Обработка летучих зол и других отходов, образующихся в результате очистки дымовых газов (ОДГ). Данный раздел может быть освещен в Заключении по НДТ переработки отходов (WT).
- Сжигание или совместное сжигание газообразных отходов, отличных от газообразных отходов, получаемых в результате термической обработки отходов.
- Переработка отходов на заводах, перечисленных в Статье 42 (2) Директивы 2010/75/ЕС.

Другие Справочные документы по НДТ и справочные документы, затрагивающие виды деятельности, охватываемые настоящим Справочным документом по НДТ:

- Переработка отходов (WT);
- Экономические аспекты и вопросы воздействия на различные компоненты окружающей среды (ECM);
- Выбросы при хранении (EFS);
- Энергоэффективность (ENE);
- Промышленные системы охлаждения (ICS);
- Мониторинг выбросов установок, попадающих под действие Директивы о промышленных выбросах (ROM);
- Крупные установки по сжиганию (LCP);
- Очистка производственных сточных вод и отходящих газов/Системы менеджмента в химической промышленности (CWW).

1 ОБЩАЯ ИНФОРМАЦИЯ О СЖИГАНИИ ОТХОДОВ

1.1 Цель сжигания и основные теоретические сведения

[1, UBA 2001], [64, TWG 2003]

Сжигание применяется для обезвреживания очень широкого спектра отходов. Само сжигание, как правило, является лишь частью комплексной системы обезвреживания отходов, которая предусматривает комплексное управление разнообразными типами отходов, образующихся в процессе жизнедеятельности человека.

За последние 25 лет в отрасли сжигания отходов произошло стремительное технологическое развитие. Во многом такие изменения были обусловлены развитием законодательной базы для данной отрасли, что, в частности, привело к сокращению выбросов в атмосферный воздух и воду. Непрерывное развитие процесса продолжается, в настоящее время разрабатываются менее затратные технологии, но вместе с тем сохраняющие или улучшающие экологические показатели.

Главная цель сжигания отходов заключается в обезвреживании отходов таким образом, чтобы уменьшение их объема и степени опасности происходило при одновременно захвате (и, следовательно, концентрировании) или уничтожении потенциально опасных веществ, которые выделяются или могут выделяться во время сжигания. Процессы сжигания могут также обеспечить возможность восстановления (извлечения) энергии, минеральных и/или химических веществ из отходов. Извлечение энергии из коммунальных и подобных отходов стало основной второй целью сжигания отходов (концепция «отходы в энергию» или «энергия из отходов»).

По существу, сжигание отходов представляет собой окисление горючих веществ, содержащихся в отходах. В большинстве случаев отходы являются неоднородными соединениями, состоящими главным образом из органических веществ, минералов, металлов и воды. Во время сжигания образуются дымовые газы, большая часть тепловой энергии которых может быть использована в качестве топлива.

Органические вещества, содержащиеся в отходах, горят исключительно при достижении необходимой температуры возгорания и при контакте с кислородом. Фактический процесс горения происходит в газообразной фазе за доли секунды с одновременным выделением энергии. В случаях достаточной удельной теплоты сгорания отходов и присутствия кислорода, данный процесс влечет за собой термическую цепную реакцию и самоподдерживающееся горение, т.е. нет необходимости в подаче дополнительного топлива.

Основными этапами процесса сжигания являются:

1. **Сушка и дегазация** – в данном процессе при температуре от 100°C до 300°C выделяются летучие веществ (например, углеводороды и вода). Процессы сушки и дегазации не требуют какого-либо окислителя и зависят только от подводимого тепла.
2. **Пиролиз и газификация** – пиролиз представляет собой процесс термического разложения органических веществ в отсутствие окислителя при температуре примерно 250–700°C. Газификация углеродистых остатков – это реакция остатков с водяным паром и CO₂ при температурах, как правило, от 500 до 1000°C, хотя возможны и температуры до 1600°C. Таким образом, твердое органическое вещество переходит в газообразную фазу. Кроме температуры для осуществления данной реакции необходимо присутствие воды, пара и кислорода.
3. **Окисление** – горючие газы, образовавшиеся на предыдущих этапах, окисляются, в зависимости от выбранного метода сжигания, при температурах дымовых газов, как правило, от 800°C до 1450°C.

Вышеперечисленные отдельные этапы обычно не разобщены, а значит пространственное и временное разделение этих этапов во время сжигания отходов возможно только в ограниченной степени. Действительно, процессы происходят параллельно и влияют друг на друга. Тем не менее, используя определенные технологии при сжигании в печи, можно влиять на эти процессы с целью уменьшения выбросов загрязняющих веществ. Такие меры включают проектирование печи, организацию контроля за автоматическим регулированием и подачей воздуха.

При полном термическом окислении основными составляющими дымовых газов являются: водяной

пар, азот, углекислый газ и кислород. В зависимости от состава сжигаемого материала и рабочих условий образуются или остаются малые количества CO, HCl, HF, HBr, HI, NO_x, NH₃, SO₂, ЛОС, ПХДД/ПХДФ и соединений тяжелых металлов. В зависимости от температуры горения на основных стадиях сжигания летучие тяжелые металлы и неорганические соединения (например, соли) полностью или частично испаряются. Эти вещества переносятся из поступающих на сжигание отходов как в дымовые газы, так и в содержащуюся в них летучую золу. В результате чего образуются минеральные остатки летучей золы (пыль) и более тяжелые твердые золы (зольный остаток). В установках для сжигания коммунальных отходов зольный остаток составляет приблизительно 10% от объема и приблизительно 20–30% от общей массы поступающих твердых отходов. Как правило количество летучей золы намного ниже – всего несколько процентов от поступающих отходов. Пропорции твердого остатка сильно различаются в зависимости от типа отходов и конкретного технологического процесса.

Для эффективного окислительного сжигания необходим достаточный запас кислорода. Отношение количества подаваемого воздуха для сжигания «п» к химически необходимому (или стехиометрическому) обычно составляет от 1,2 до 2,5, и зависит от того является ли топливо газом, жидкостью или твердым веществом, а также от системы самой печи.

Горение – это только одна стадия всего процесса сжигания. Установки по сжиганию обычно представляют собой сложный набор взаимодействующих технических компонентов, которые, если рассматривать их вместе, определяют эффективность общей переработки отходов. Однако каждый из компонентов установки сжигания обладает несколько отличительным основным назначением, как описано в таблице 1.1 ниже.

Таблица 1.1: Назначение различных компонентов мусоросжигательной установки

Цель	Компонент
- Разрушение органических веществ - Испарение воды - Испарение летучих тяжелых металлов и неорганических солей - Производство потенциально пригодного для использования шлака - Уменьшение объема отходов	Печь
Производство пригодной к использованию энергии	Система рекуперации энергии
- Удаление и концентрация летучих тяжелых металлов и неорганических веществ в твердые остатки, например, в остатки очистки дымовых газов, осадки от очистки сточных вод - Минимизация выбросов во все среды	Очистка дымовых газов
Источник: [1, UBA 2001], [64, TWG 2003]	

1.2 Обзор сектора сжигания отходов в Европе

Масштабы применения технологии сжигания в качестве метода обезвреживания отходов территориально сильно различаются. Например, в государствах-членах ЕС доля сжигаемых коммунальных отходов составляет от 0 до 55%.

В приведенной ниже таблице 1.2 приведена оценка переработки отходов в каждом государстве-члене ЕС для твердых коммунальных отходов, опасных отходов и осадков сточных вод. В таблицу также включены находящиеся на хранении отходы, так как значительная часть этих отходов в будущем может быть перенаправлена на обезвреживание другими методами переработки отходов, включая сжигание.

Примечание: поскольку определения и категории отходов различаются в разных странах, некоторые из приведенных значений не являются напрямую сопоставимыми.

Таблица 1.2: Объемы твердых коммунальных отходов (ТКО), опасных отходов (ОО) и осадков сточных вод (ОСВ) в государствах-членах ЕС и способы их обезвреживания

Страна	Твердые коммунальные отходы (ТКО)				Опасные отходы (ОО)				Осадки сточных вод (ОСВ)			
	Общее предполагаемое кол-во ТКО (в 10 ⁶ тонн)	Год полученных данных	% захоронено (или количество в 10 ⁶ тонн)	% сожжено (или количество в 10 ⁶ тонн)	Общее предполагаемое кол-во ОО (в 10 ⁶ тонн)	Год источника данных	Количество захоронено (в 10 ⁶ тонн)	Количество сожжено (в 10 ⁶ тонн)	Общее предполагаемое кол-во ОСВ (в 10 ⁶ тонн сухого остатка)	Год полученных данных	Количество захоронено (в 10 ⁶ тонн)	Количество сожжено (в 10 ⁶ тонн)
Бельгия ⁽¹⁾	4.65	2015	0.04	2.05	3.81	2016	1.22	0.42	0.16	2012	0	0.089
Болгария ⁽¹⁾	3.01	2015	1.99	0.08	13.3	2016	13.1	0.006	0.06	2015	0.0085	0
Чехия ⁽¹⁾	3.34	2015	1.75(оцен.)	0.59(оцен.)	1.09	2016	0.033	0.107	0.21	2015	0.021	0.008
Дания	11 ⁽²⁾ 4.48 ⁽¹⁾	2015	4% 0.05	27% 2.36	0.55	2016	0.17	0.12	0.13	2016	0.001	0.035
Германия	51.1	2014	0	32%	25.3	2014	4.6 ⁽¹⁾	4.5	1.8	2014	0	1 ⁽¹⁾
Эстония ⁽¹⁾	0.47	2015	0.035	0.24	9.68	2016	9.23	0.013	0.02	2013	0.002	NI
Ирландия	2.62	2014	0.54	0.89	0.48 ⁽¹⁾	2014	0.04 ⁽¹⁾	0.045 ⁽¹⁾	0.06 ⁽¹⁾	2015	0.0001 ⁽¹⁾	0 ⁽¹⁾
Греция ⁽¹⁾	5.27	2015	4.43	0.018	0.22	2014	0.02	0.006	0.12	2014	0.039	0.039
Испания	21.2	2015	57.3%	12.7%	3.18	2016	0.6	0.22	1.13	2012	0.08	0.075
Франция	34.1	2016	22.4%	35.9%	11	2016	2.3	2.6	1.2	2016	NI	NI
Хорватия ⁽¹⁾	1.65	2015	1.32	0	0.174	2016	0.006	0.0014	0.018	2015	0.016	NI
Италия	29.52	2015	26.5%	18.9%	9.1	2015	1.3	0.39	3.1	2015	0.4	0.01
Кипр ⁽¹⁾	0.54 (оценочное)	2015	0.43	0	0.159	2016	0.129	0.0002	0.007	2015	0	0
Латвия ⁽¹⁾	0.80	2015	0.49	0	0.066	2016	0.002	0.003	0.008	2012	0.0002	0
Литва ⁽¹⁾	1.30	2015	0.70	0.15	0.176	2016	0.01	0.005	0.043	2015	0	0
Люксембург ⁽¹⁾	0.35	2015	0.06	0.12	0.427	2016	0.007	0.042	0.009	2015	NI	0.001
Венгрия ⁽¹⁾	3.71	2015	1.99	0.52	0.174	2016	0.069	0.1	0.157	2015	0.005	0.024
Мальта ⁽¹⁾	0.27	2015	0.24	0.001	0.174	2016	0	0.0005	0.008	2015	0.008	0
Нидерланды	8.86 ⁽¹⁾	2015	0.13 ⁽¹⁾	4.15 ⁽¹⁾	5.13 ⁽¹⁾	2016	1 ⁽¹⁾	0.716 ⁽¹⁾	0.53	2015	0	0.321 ⁽¹⁾
Австрия ⁽¹⁾	4.84	2015	0.14	1.83	1.26	2016	0.066	NI	0.239	2014	0.003	0.139
Польша ⁽¹⁾	10.8 (оценочное)	2015	5.90 (оцен.)	1.44 (оцен.)	1.91	2016	0.30	0.161	0.568	2015	0.04	0.057
Португалия	4.71	2014	2.31	0.97	0.83 ⁽¹⁾	2016	0.24 ⁽¹⁾	0.046 ⁽¹⁾	0.339 ⁽¹⁾	2012	0.011	0
Румыния ⁽¹⁾	4.9	2015	3.56	0.13	0.619	2016	0.12	0.147	0.210	2015	0.104	0
Словения ⁽¹⁾	0.93	2015	0.21	0.16 (оцен.)	0.124	2016	0.01	0.015	0.029	2015	0.0002	0.013
Словакия ⁽¹⁾	1.78	2015	1.23	0.19	0.496	2016	0.08	0.019	0.056	2015	0.005	0.003

Финляндия	2.7	2016	3%	55%	2.0	2016	86%	8%	0.8 (вес сырого вещества)	2016	2%	0
Швеция	4.55	2017	0.4% (0.02)	53% (2.4)	2.0	2016	0.63	0.32	0.2	2014	0.003	0.002
Великобритания ⁽¹⁾	31.46	2015	7.12	9.90	6.11	2016	0.84	0.33	1.14	2012	0.005	0.229
ЕС - всего 28 ⁽¹⁾	244.82	2015	26%	27%	94.73	2014	37.3	10.2	9.1	2012	0.67	2.3

Примечание:

NI: информация не предоставлена; NA: неприменимо. Поскольку определения и категории отходов различаются в разных государствах-членах, некоторые из приведенных значений не являются сопоставимыми напрямую; баланс до 100% для способов обработки обусловлен другими способами, помимо захоронения и сжигания, например, восстановление и переработка.

⁽¹⁾ Данные Евростата (env_wasmun, env_wasrt, env_ww_spd, дата доступа 20/11/2018). Во всех других случаях данные были предоставлены государством-членом напрямую.

⁽²⁾ Включает все неопасные отходы, кроме осадков сточных вод и загрязненной почвы

Источник: [7, TWG 2017], [14, Eurostat 2018]

В таблице 1.3 представлено количество и общая мощность действующих мусоросжигательных заводов (не считая запланированных площадок) для различных типов отходов.

Таблица 1.3: Географическое распределение заводов по сжиганию твердых коммунальных отходов, опасных отходов и осадков сточных вод

Страна (базовый год)	Общее количество установок для сжигания ТКО	Производи тельность (Мт/г)	Общее количество установок для сжигания ОО	Производи тельность (Мт/г)	Общее количество установок для сжигания ОСВ	Производи тельность (Мт/г) (сухого остатка)
Австрия	12	2.5	2	0.1	1	NI
Бельгия	16	2.7	3	0.3	1	0.02
Чехия	3	0.65	NI	NI	NI	NI
Дания	29 ⁽¹⁾	4.8 ⁽¹⁾	3	0.26	3	0.1
Эстония	NI	0.25	NI	NI	NI	NI
Финляндия	9	1.7	1	0.2	3	0.039
Франция	127	14.4	48 ⁽²⁾	2.03 ⁽³⁾	27	NI
Германия	89	22.8	31 ⁽⁴⁾	1.5	19	2.2
Венгрия	1	0.38	NI	NI	NI	NI
Ирландия	1	0.22	11	NI	NI	NI
Италия	44	7.3	NI	NI	NI	NI
Литва	NI	0.23	NI	NI	NI	NI
Люксембург	1	0.15	0	0	NI	NI
Нидерланды	13	7.6	1	0.1	2	0.19
Норвегия	15	1.6	NI	NI	NI	NI
Польша	NI	0.04	NI	NI	NI	NI
Португалия	3	1.2	5	NI	NI	NI
Словакия	2	0.17	NI	NI	NI	NI
Словения	NI	0.004	NI	NI	NI	NI
Испания	10	2.64	1	0.038	2	0.032
Швеция ⁽⁵⁾	34	6.6	1	0.1 ⁽⁶⁾	0	0
Швейцария	29	3.29	11	2	14	0.1
Великобритан ия	NI	6.18	3	0.12	11	0.42
EU 28	470	NI	NI	NI	NI	NI

NI: Информация не предоставлена

⁽¹⁾ включает все установки для сжигания и совместного сжигания, главным образом, для обработки неопасных твердых отходов. [16, Wiltis et al. 2017] Оценочные значения только для ТКО составляют 3,3 Мт/г.

⁽²⁾ включает 28 специализированных коммерческих площадок и 20 собственных заводов (данные 2015 года).

⁽³⁾ 1,51 для коммерческих площадок и 0,52 для собственных заводов (данные 2015 года).

⁽⁴⁾ включает установки, используемые в химической промышленности.

⁽⁵⁾ в общей сложности 54 линии СО (котлы) работают на 34 установках. На 14 из 34 установок также возможно сжигание ОО.

⁽⁶⁾ кроме того, разрешено сжигание 0,56 Мт/г на 14 УСТКО (установках сжигания ТКО), указанных в сноске ⁽⁵⁾.

Источники: [1, UBA 2001], [64, TWG 2003], [47, TWG 2018], [16, Wiltis et al. 2017], [34, ISWA 2012]

На рисунке 1.1 показаны различия между государствами-членами ЕС в объемах сжигаемых коммунальных отходов на душу населения. На графике не представлены государства-члены, у которых в 2014 году не было мусоросжигательных заводов.

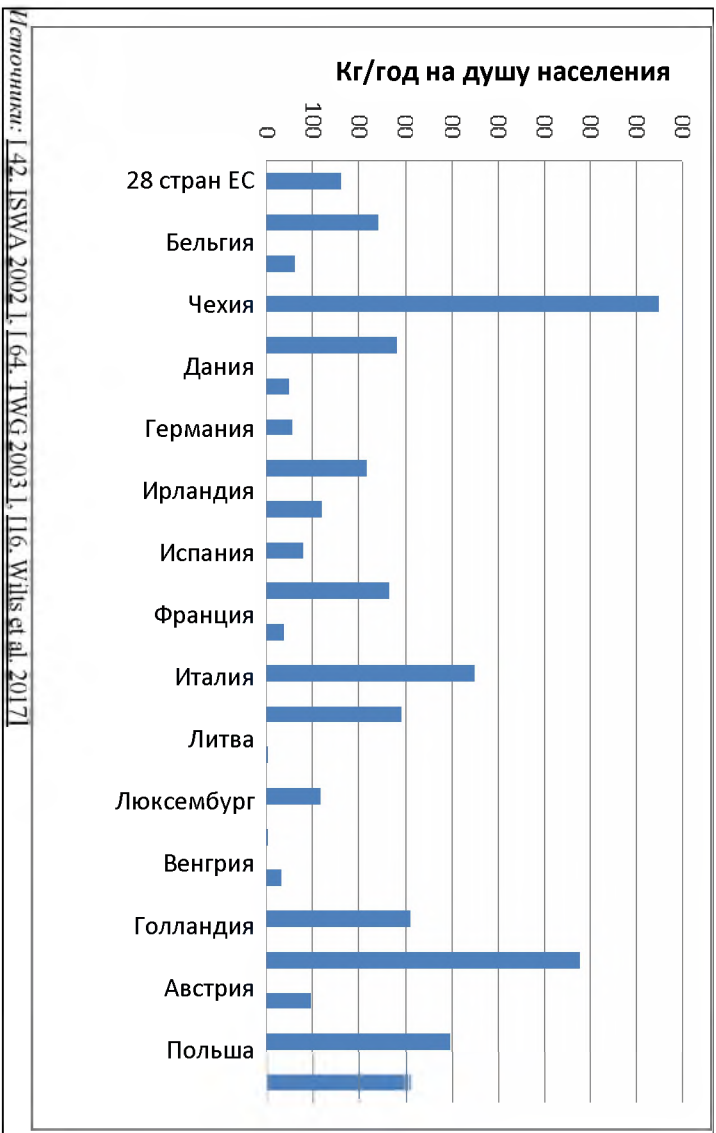


Рисунок 1.1: Производственная мощность сжигания коммунальных отходов на душу населения в 2014 году

1.3 Размеры установок

Размер установок значительно варьируется по всей Европе. Различия в размерах можно увидеть внутри и между типами используемых технологий и отходов. Крупнейший завод ТКО в Европе имеет мощность, превышающую 1 миллион тонн отходов в год.

Таблица 1.4 ниже показывает варьирование средней мощности установок сжигания ТКО по странам.

Таблица 1.4: Средняя мощность установок сжигания ТКО по странам

Страна	Средняя мощность установки сжигания ТКО (килотонн/год)
Австрия	178
Бельгия	141
Дания	114
Финляндия	180
Франция	113
Германия	256
Италия	161
Нидерланды	488
Португалия	390
Испания	264
Швеция	136
Великобритания	246
Норвегия	60
Швейцария	110
СРЕДНЕЕ	193
<i>Источник: [11, Assure 2001], [64, TWG 2003], [47, TWG 2018]</i>	

В таблице 1.5 ниже приведены типичные диапазоны применения основных технологий сжигания.

Таблица 1.5: Типичные диапазоны пропускной способности различных технологий сжигания

Технология	Типичный диапазон применения (тонн/день)
Колосниковая печь (сжигание отходов без предварительной обработки)	120–720
Установка для сжигания с кипящим слоем	36–200
Вращающаяся печь	10–350
Пиролиз	10–100
Газификация	250–500
Примечание: Значения приведены для <u>типичных</u> диапазонов применения – каждая технология также применяется за пределами указанных диапазонов.	
<i>Источник: [10, Juniper 1997], [64, TWG 2003]</i>	

1.4 Состав отходов и технологический процесс

Детальный проект мусоросжигательного завода будет зависеть от типа обрабатываемых отходов. Следующие параметры и их вариативность являются ключевыми факторами:

- химический состав отходов;
- физический состав отходов, например, размер частиц;
- тепловые характеристики отходов, например, теплота сгорания, уровень влажности.

Процессы, предназначенные для узкого диапазона поступающих на обработку отходов, обычно можно оптимизировать в большей степени, чем те, которые предназначены для обработки широкого спектра отходов. Это, в свою очередь, может позволить улучшить стабильность процесса и экологическую эффективность, а также упростить последующие операции, такие как очистка дымовых газов. Поскольку очистка дымовых газов часто вносит значительный вклад в общие затраты на сжигание (приблизительно от 15% до 35% от общего объема капитальных вложений), это может затем привести к снижению затрат на очистку на мусоросжигательном заводе. Внешние издержки (т.е. те, которые выходят за границы обычной установки для сжигания, подпадающей под действие Директивы о промышленных выбросах) предварительной обработки или выборочного сбора определенных отходов могут, однако, значительно увеличить общие затраты и выбросы от деятельности по обезвреживанию отходов. Зачастую решения, касающиеся более широкого цикла управления отходами (то есть их образования, сбора, транспортировки, обработки, использования и т.д.), учитывают очень большое количество факторов. Выбор технологии сжигания может стать частью этого более широкого процесса.

Используемые системы сбора и предварительной обработки отходов могут оказать большое влияние на тип и характеристики отходов, которые в конечном итоге будут доставлены на мусоросжигательный завод (например, смешанные коммунальные отходы или RDF-топливо), и, следовательно, на тип установки сжигания, который будет наилучшим образом подходить для данного типа отходов. Обеспечение раздельного сбора фракций коммунальных отходов может оказать большое влияние на «типовой» состав отходов, полученных на заводах по сжиганию ТКО. Например, раздельный сбор некоторых типов батарей и зубной амальгамы может значительно сократить поступление ртути на установку по сжиганию отходов. [64, TWG 2003]

Большую роль в выборе технологического процесса также играет стоимость процессов, используемых для управления остатками от сжигания отходов, а также для распределения и использования извлеченной энергии.

Во многих случаях мусоросжигательные заводы могут иметь лишь ограниченный контроль над точным содержанием отходов, которые они получают. Это приводит к тому, что некоторые установки должны быть спроектированы таким образом, чтобы иметь возможность обрабатывать широкий спектр отходов, которые могут поступить. Это относится как непосредственно к стадии сжигания, так и к последующим стадиям очистки дымовых газов.

Основными видами отходов, для которых в рамках обезвреживания применяется сжигание, являются:

- коммунальные отходы (остаточные отходы – без предварительной обработки);
- предварительно обработанные коммунальные отходы (например, выбранные фракции или RDF-топливо);
- неопасные промышленные отходы и упаковка;
- опасные отходы;
- осадки сточных вод;
- медицинские отходы.

Многие мусоросжигательные заводы принимают несколько видов вышеуказанных отходов. Отходы обычно классифицируются различными способами:

- по происхождению, например, коммунальные, отходы от коммерческой торговли, промышленные;
- по своей природе, например, гнилостные, опасные;

- по методу, используемому для их обработки, например, отдельно собранные, изготовленные из вторичного сырья.

Эти различные классы отходов перекрываются. Например, отходы различного происхождения могут содержать гнилостные или опасные фракции. [64, TWG 2003]

В таблице 1.6 ниже приведены данные о составе отходов, образующихся в Германии. Осадок сточных вод включает осадок от очистки сточных вод населенных пунктов и промышленных предприятий.

Таблица 1.6: Типичный состав отходов в Германии

Параметр	Бытовые отходы	Опасные отходы	Осадки сточных вод
Теплота сгорания (верхняя) (МДж/кг)	7–15	1–42	2–14
Вода (%)	15–40	0–100	3–97
Зола	20–35	0–100	1–60
Углерод (% CO)	18–40	5–99	30–35
Водород (% CO)	1–5	1–20	2–5
Азот (% CO)	0.2–1.5	0–15	1–4
Кислород (% CO)	15–22	<i>NI</i>	10–25
Сера (% CO)	0.1–0.5	<i>NI</i>	0.2–1.5
Фтор (% CO)	0.01–0.035	0–50	0.1–1
Хлор (% CO)	0.1–1	0–80	0.05–4
Бром (% CO)	<i>NI</i>	0–80	<i>NI</i>
Йод (% CO)	<i>NI</i>	0–50	<i>NI</i>
Свинец (мг/кг CO)	100–2 000	0–200 000	4–1 000
Кадмий (мг/кг CO)	1–15	0–10 000	0.1–50
Медь (мг/кг CO)	200–700	<i>NI</i>	10–1 800
Цинк (мг/кг CO)	400–1 400	<i>NI</i>	10–5 700
Ртуть (мг/кг CO)	1–5	0–40 000	0.05–10
Таллий (мг/кг CO)	< 0.1	<i>NI</i>	0.1–5
Марганец (мг/кг CO)	250	<i>NI</i>	300–1 800
Ванадий (мг/кг CO)	4–11	<i>NI</i>	10–150
Никель (мг/кг CO)	30–50	<i>NI</i>	3–500
Кобальт (мг/кг CO)	3–10	<i>NI</i>	8–35
Мышьяк (мг/кг CO)	2–5	<i>NI</i>	1–35
Хром (мг/кг CO)	40–200	<i>NI</i>	1–800
Селен (мг/кг CO)	0.21–15	<i>NI</i>	0.1–8
ПХБ (мг/кг CO)	0.2–0.4	до 60 %	0.01–0.13
ПХДД/Ф (нг I-ТЭ/кг)	50–250	10–10 000	8.5–73
Примечание: <i>NI</i> : информация не представлена % CO = процент сухого остатка. Теплота сгорания для осадков сточных вод относится к влажному осадку > 97% сухого остатка. Субфракции ОО могут иметь другие значения за пределами этих диапазонов. Источники: [1, UBA 2001], [64, TWG 2003]			

Диапазон проектов конструкций установок почти так же широк, как диапазон состава отходов.

Преимущество новых установок заключается в том, что для них может быть разработано специальное технологическое решение, отвечающее специфике отходов, подлежащих обработке на установке. Новые установки пользуются преимуществом многолетнего развития отрасли и знаний о практическом применении методов и поэтому могут быть спроектированы на высокие экологические стандарты при одновременном снижении затрат.

Существующие заводы обладают значительно меньшей гибкостью при выборе вариантов модернизации. Их дизайн может быть результатом 10-20 лет развития процесса. Зачастую в Европе необходимость модернизации мотивируется требованиями по снижению выбросов в атмосферный воздух и/или необходимостью повышения энергоэффективности. Следующая стадия развития

процесса часто будет сильно (или даже полностью) зависеть от существующего проекта. В секторе можно увидеть многие отраслевые локальные решения при проектировании установок. Многие из действующих установок, вероятно, были бы сконструированы иначе, если бы существовала возможность их полностью реконструировать. [6, EGTEI 2002].

1.5 Ключевые экологические проблемы

Сами по себе отходы и их обработка являются серьезной экологической проблемой. Таким образом, термическая обработка отходов может рассматриваться как реакция на экологические угрозы, создаваемые плохо управляемыми или неуправляемыми потоками отходов.

Целью термической обработки (см. также раздел 1.1) является обеспечение общего снижения негативного воздействия на окружающую среду, которое в противном случае могут оказывать отходы. Однако эксплуатация мусоросжигательных установок связана с выбросами и потреблением различных веществ, на наличие или величину которых влияют конструкция и эксплуатация установки. Поэтому в этом разделе кратко излагаются основные экологические проблемы, которые возникают непосредственно на установках для сжигания (т.е. в него не входят более широкие воздействия или преимущества сжигания). По сути, эти *прямые воздействия* делятся на следующие основные категории:

- выбросы в атмосферный воздух и воду;
- производство остаточных отходов (отходов производства);
- технологический шум;
- потребление и производство энергии;
- расход сырья (реагентов);
- летучие выбросы и запахи – в основном из хранилищ отходов;
- снижение рисков хранения/обработки/переработки опасных отходов.

Другие воздействия, выходящие за рамки этого документа (но которые могут существенно повлиять на общее воздействие всего проекта на окружающую среду), возникают в результате следующих операций:

- транспортировка поступающих отходов и производимых остаточных отходов;
- интенсивная предварительная обработка отходов на площадке или за ее пределами (например, подготовка RDF-топлива и соответствующая обработка отходов).

1.5.1 Выбросы в атмосферный воздух и воду

Выбросы в атмосферный воздух долгое время были в центре внимания мусоросжигательных заводов. Прогресс в развитии технологий очистки дымовых газов, в частности, привел к значительному сокращению выбросов в атмосферный воздух.

Тем не менее, контроль выбросов в атмосферный воздух остается важной проблемой для сектора. Поскольку весь процесс сжигания обычно происходит при условиях немного ниже атмосферного давления (из-за вытяжного вентилятора с принудительной тягой), выбросы в атмосферный воздух обычно происходят исключительно из общей дымовой трубы. [2, InfoMil 2002]

Сводная информация об основных выбросах в атмосферный воздух из дымовой трубы (более подробно они описаны в разделе 3.2.1) приведена ниже:

• пыль,	– твердые частицы – частицы различного размера;
• кислоты и другие газы,	– включая HCl, HF, HBr, HI, SO ₂ , NO _x и NH ₃ ;
• тяжелые металлы,	– включая Hg, Cd, Tl, As, Ni и Pb;
• диоксид углерода,	– не осящен в рамках IED или данного BREF;
• другие соединения углерода,	– включая CO, ЛОС, ПХДД/Ф и ПХБ.

Выбросы в атмосферный воздух из других источников могут включать:

• запах,	– от обработки и хранения необработанных отходов;
• парниковые газы,	– от разложения хранящихся отходов, например, метан, CO ₂ ;
• пыль,	– от участков работы с сухими реагентами и хранения отходов.

Основные потенциальные источники выбросов в воду (в зависимости от процесса):

- стоки от устройств контроля загрязнения воздуха, напр., соли, металлы
- конечные сбросы сточных вод от очистки сточных вод, напр., соли, металлы;
- котловая вода – протечка продувки, напр., соли;
- охлаждающая вода – из систем охлаждения, напр., соли, биоциды;
- дорожный и другой поверхностный дренаж, напр., выщелоченные отходы;
- зоны хранения, обработки и транспортировки поступающих отходов, напр., выщелоченные отходы;
- зоны хранения сырья, напр., химикаты для обработки;
- зоны обработки, переработки и хранения остатков, напр., соли, металлы, органика.

Сточные воды, образующиеся на установке, могут содержать широкий спектр потенциально загрязняющих веществ в зависимости от фактического источника их происхождения. Фактический выброс будет сильно зависеть от применяемых систем обработки и контроля.

1.5.2 Производство остаточных отходов и вторичного сырья

Ключевой проблемой для сектора являются состав и количество производимых остаточных отходов/выходящего конечного продукта. Это связано с тем, что и те, и другие: (1) обеспечивают полноту процесса сжигания и (2), как правило, представляют собой большую часть потенциальных отходов, образующихся на установке.

Хотя типы и количество образующихся остаточных отходов сильно различаются в зависимости от конструкции установки, ее эксплуатации и количества отходов, в процессе сжигания обычно образуются следующие основные потоки отходов: [64, TWG 2003], [1, UBA 2001]

- зольный остаток и/или шлак;
- котельная зола;
- летучая зола;
- другие остатки от очистки дымовых газов (например, хлориды кальция или натрия);
- шлам от очистки сточных вод.

В некоторых случаях эти потоки отходов разделены, в то время как в других случаях они объединяются как внутри процесса, так и за его пределами.

Вещества, которые можно получить после обработки зольного остатка:

- строительные материалы;
- черные металлы;
- цветные металлы.

Кроме того, некоторые заводы, использующие влажные процессы ОДГ с дополнительным специальным оборудованием, производят следующие вещества:

- сульфат кальция (гипс);
- соляная кислота;
- карбонат натрия;
- хлорид натрия;
- цинк, свинец, медь и кадмий.

Из таких веществ чаще всего образуется наибольшее количество зольного остатка, хотя это также сильно зависит от типа отходов. Во многих регионах, часто в зависимости от местного законодательства и практики, зольный остаток обрабатывается для повторного использования в качестве совокупной замены. Относительно высокие показатели повторного использования зольного остатка получены из следующих примерных данных, представленных некоторыми государствами-членами ЕС [47, TWG 2018]:

- во Франции 87% переработка и 13% захоронение отходов;
- в Италии 83% переработка и 17% захоронение;
- в Финляндии 100% переработка;

- в Швеции 100% повторно используют в качестве материала для покрытия полигона захоронения отходов;
- в Дании 100% зольного остатка, образующегося в результате сжигания неопасных отходов, перерабатывается, в то время как зольный остаток от сжигания опасных отходов захоранивается на свалке.

Остатки, образующиеся при очистке дымовых газов, являются важным источником дополнительно производимых отходов. Их количество и характер варьируется в зависимости от типов сжигаемых отходов и применяемой технологии.

1.5.3 Технологический шум

Шумовой аспект сжигания отходов сопоставим с другими отраслями промышленности, а также с электростанциями. Распространенной практикой считается постройка новых установок по сжиганию коммунальных отходов в полностью закрытых помещениях, размещенных как можно дальше. Чаще всего источниками шума являются такие операции, как выгрузка отходов, механическая предварительная обработка, обработка дымовых газов и обработка остатков. Обычно непосредственно на открытом воздухе находятся лишь некоторые части систем очистки дымовых газов (трубы, трубки, СКВ, теплообменники и т.д.), охлаждающих установок и установок долговременного хранения зольного остатка. [2, InfoMil 2002]

Наиболее важными внешними источниками шума являются:

- транспортные средства, используемые для перевозки отходов, химикатов и остатков;
- механическая предварительная обработка отходов, например, измельчение, прессование;
- вытяжные вентиляторы, удаляющие дымовые газы в процессе сжигания и создающие шум на выходе из дымовой трубы;
- система охлаждения (от испарительного охлаждения, особенно в случае конденсаторов воздушного охлаждения);
- турбогенераторы (высокий уровень, поэтому обычно устанавливаются в специальных звукоизолированных помещениях);
- аварийные сбросы давления в котле (для обеспечения безопасности котла требуется прямой выброс в атмосферный воздух);
- компрессоры для сжатого воздуха;
- транспортировка и обработка зольного остатка (если на том же участке).

Системы СКВ и дымоходы создают мало шума и часто находятся за пределами (снаружи) помещений. Другие части установок обычно не имеют особого значения в создании внешнего шума, но могут вносить вклад в общее производство внешнего шума зданиями завода.

1.5.4 Потребление и производство энергии

Мусоросжигательные заводы как производят, так потребляют энергию. В подавляющем большинстве случаев энергетическая ценность отходов превышает необходимую для процесса, что приводит к чистому экспорту энергии. Это часто имеет место, в частности, с мусоросжигательными установками.

Учитывая общее количество возникающих отходов и их рост в течение многих лет, можно считать, что сжигание отходов представляет собой большой потенциальный источник энергии. В некоторых государствах-участниках сжигание отходов уже активно используется в качестве источника энергии. Это особенно актуально в странах, где используются ТЭЦ. Энергетические аспекты в этом документе ниже обсуждаются более подробно (см. Разделы 3.5 и 4.4). [64, TWG 2003]

На рисунке 1.2 ниже показано производство тепла и электроэнергии на установках по сжиганию коммунальных отходов в некоторых государствах-членах ЕС. В целом, общая энергия, в 28 странах ЕС на установках по выработке энергии из отходов, была оценена в 2013 году в 275 000 ТДж тепловой энергии и 110 000 ТДж электроэнергии. На рисунке 1.2 показана общая разница между северными странами ЕС, где установки по сжиганию отходов часто предназначены для экспорта электроэнергии через сети централизованного теплоснабжения, и южными странами ЕС, где более теплый климат делает спрос на тепло сезонным, сети централизованного теплоснабжения

встречаются реже, а установки по сжиганию отходов часто предназначены исключительно для экспорта электроэнергии.

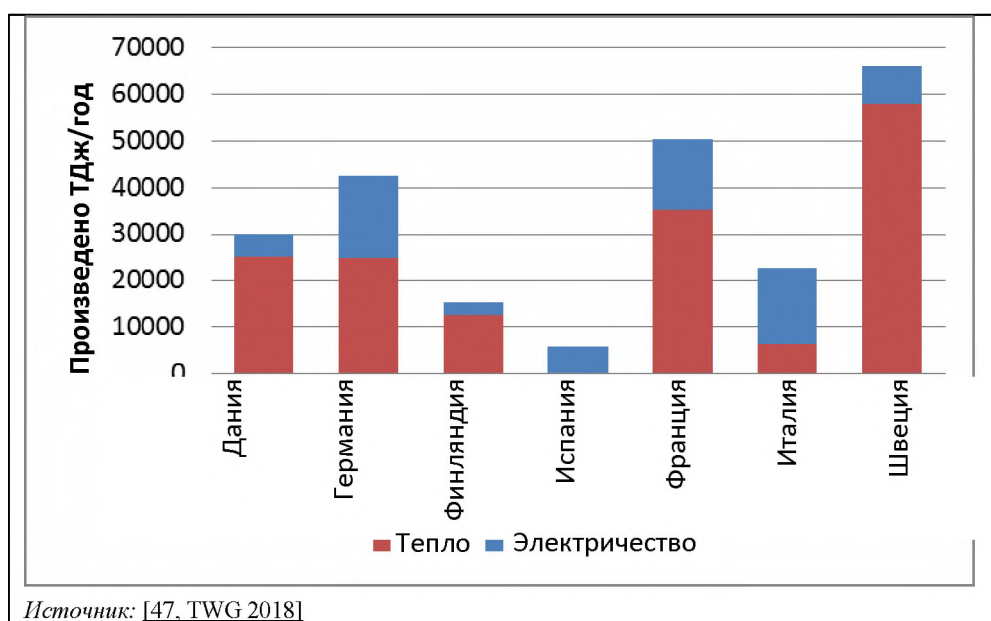


Рисунок 1.2: Производство энергии установками по сжиганию коммунальных отходов в Европе в 1999 году

Большинство коммунальных и промышленных отходов, включая RDF-топливо, содержат значительную долю биогенного содержимого (в некоторых случаях – 60% и более). Для установок по сжиганию осадков сточных вод, обезвреживающих осадки после биологической обработки жидких отходов, и для специальных установок по сжиганию древесных отходов, эта доля обычно может превышать 95%. Можно считать, что энергия, полученная из фракции биомассы, заменяет ископаемое топливо, и поэтому рекуперация энергии из этой фракции способствует снижению общих выбросов диоксида углерода при производстве энергии. В некоторых странах это встречается поддержку путем финансирования и снижения налогов. [64, TWG 2003]

Источниками энергии для процесса сжигания могут являться:

- отходы;
- вспомогательное топливо (например, дизельное топливо, природный газ):
 - для запуска и выключения;
 - для поддержания необходимых температур для сжигания отходов с более низкой теплотворной способностью;
 - для подогрева дымовых газов перед очисткой или выбросом;
- импортируемая электроэнергия:
 - когда турбина или все линии остановлены, а также для установок без выработки электроэнергии.

(Примечание: некоторые из вышеперечисленных энергозатрат способствуют производству пара/тепла при использовании котлов, и, следовательно, энергия частично восстанавливается в процессе.)

Производство, потребление и экспорт энергии может включать в себя:

- электричество;
- тепло (в виде пара или горячей воды);
- синтез-газ (для установок пиролиза и газификации, которые не сжигают синтез-газ на месте).

Эффективная рекуперация содержащейся в отходах энергии, как правило, считается ключевым вопросом отрасли. [74, TWG 2004]

1.5.5 Потребление сырья и энергии

Расходные материалы при эксплуатации мусоросжигательных заводов могут включать в себя следующее:

- электричество, для работы технологической установки;
- тепловая энергия для конкретных технологических нужд;
- топливо, вспомогательное топливо (например, газ, легкие фракции нефти, уголь, кокс);
- вода для очистки дымовых газов, охлаждения и работы котла;
- реагенты для очистки дымовых газов, например, каустическая сода, известняк, негашеная известь, гашеная известь, бикарбонат натрия, пероксид водорода сульфита натрия, активированный уголь, аммиак и мочевины;
- реагенты для обработки воды, например, кислоты, щелочи, тримеркаптоотриазин, сульфит натрия;
- воздух под высоким давлением.

[74, TWG 2004]

1.6 Экономические аспекты

Экономические аспекты сжигания отходов сильно различаются между регионами и странами, не только из-за технических аспектов, но и из-за политики обращения с отходами. [43, Eunomia 2001], [64, TWG 2003]

На стоимость сжигания обычно влияют следующие факторы:

- Затраты на приобретение земли.
- Масштаб (часто могут быть значительные недостатки для мелкомасштабной работы).
- Степень загрузки завода.
- Фактические требования к очистке дымовых газов/сточных вод, например, установленная предельная величина выбросов может обуславливать выбор конкретных технологий, которые в некоторых обстоятельствах приводят к значительным дополнительным капитальным и эксплуатационным расходам, включая затраты на топливо, электроэнергию, реагенты и другие расходные материалы.
- Обезвреживание и удаление/извлечение зольных остатков, например, зольный остаток часто может использоваться в строительных целях, и в этом случае стоимость захоронения отходов исключается. Затраты на обезвреживание летучей золы значительно различаются в связи с различными подходами и правилами, применяемыми в отношении необходимости обезвреживания до восстановления или утилизации, а также характера места захоронения.
- Эффективность производства восстановленной энергии и доход, полученный за поставленную энергию. Цена за единицу поставленной энергии и получение доходов только за тепло или электроэнергию, или за то и другое являются важными определяющими факторами чистой прибыли.
- Восстановление металлов из отходов и доходы, полученные от этого.
- Налоги или субсидии, полученные за сжигание и/или взимаемые за выбросы – прямые и косвенные субсидии могут значительно повлиять на плату за выбросы, т.е. в диапазоне 10–75%.
- Архитектурные требования.
- Развитие прилегающих территории и другой инфраструктуры для повышения эффективности системы доставки отходов
- Требования к доступности, например, доступность может быть увеличена путем установки резервного оборудования, но это влечет за собой дополнительные капитальные затраты.
- Планирование и сроки строительства/амортизации, налоги и субсидии, капитальные затраты;
- Страховые расходы;
- Администрация, персонал, заработная плата.

Владельцами и операторами мусоросжигательных заводов могут быть как органы местного управления, так и частные компании. Также распространены государственно-частные партнерства. Стоимость финансирования капитальных вложений может варьироваться в зависимости от формы собственности.

Заводы по сжиганию отходов получают плату за обезвреживание отходов. Они также могут производить и продавать электроэнергию, пар и тепло, а также извлекать другие продукты, такие как зольный остаток – для производства строительных материалов, железный лом и лом цветных металлов – для использования в металлургии, соляная кислота, соль или гипс. Стоимость указанных сырьевых товаров, и инвестиции, необходимые для их производства, оказывают существенное влияние на эксплуатационные расходы установки. Она также может быть решающей при рассмотрении конкретных технических инвестиций и технологических процессов (например, может ли производимое тепло продаваться по цене, которая оправдывает затраты, необходимые для его производства). Стоимость этих товаров отличается в разных государствах-членах, а иногда даже просто территориально.

Кроме того, значительные различия возникают из-за разных требований к уровням выбросов, расходов на заработную плату, периодов амортизации и т.д. По этим причинам проходные пошлины, представленные в таблице 1.7, сопоставимы только в ограниченной степени:

Таблица 1.7: Проходная пошлина на европейских заводах по сжиганию твердых коммунальных отходов (ТКО) и опасных отходов (ОО)

Государства-члены	Проходная пошлина в евро/тонна	
	ТКО	ОО
Бельгия	57	100–1 500
Дания	40–70	100–1 500
Финляндия	50–100	NI
Франция	50–120	50–1 500
Германия	100–350	50–1 500
Италия	70–120	100–1 000
Нидерланды	90–180	50–5 000
Швеция	38–67 (среднее: 49)	50–2 500
Великобритания	20–40	NI
Примечание: NI: информация не предоставлена Источник: [1, UBA 2001], [47, TWG 2018].		

Важно не путать реальную стоимость проходной пошлины, необходимую для покрытия вложенных инвестиций и стоимости эксплуатации, и рыночную цену, которая используется в рамках конкуренции. Конкуренция с альтернативными методами управления отходами (например, захоронение отходов, производство топлива), а также инвестиционные и эксплуатационные расходы влияют на размер проходной пошлины на мусоросжигательных заводах. Конкурентные цены сильно различаются в разных государствах-членах или территориально.

В таблице 1.8 показаны (за исключением случаев, где указано) различия в расходах на сжигание коммунальных отходов в разных государствах-членах. Обратите внимание, что затраты, представленные в таблице 1.8, отличаются от затрат в таблице 1.7, приведенной выше (в которой представлены данные о *проходных пошлинах*).

Таблица 1.8: Сравнительные затраты на сжигание ТКО в разных государствах-членах

	Расходы до уплаты налогов ⁽¹⁾ за вычетом выручки в евро на тонну отходов	Налог (для завода с регенерацией энергии)	Доходы от энергоснабжения (Евро за кВт-ч)	Затраты на обработку золы (евро за тонну золы, если не указано иное)
AT	326 @ 60 кт/г 159 @ 150 кт/г 97 @ 300 кт/г		Электроэнергия: 0.036 Тепло: 0.018	Зольный остаток: 63 Отходы дымовых газов: 363
BE	72 в среднем	12,7 евро/т (Фландрия)	Электроэнергия: 0.025	Недоступно
DK	30 – 45	44 евро/т	Электроэнергия: 0.05	Зольный остаток: 34 Отходы очистки дымовых газов: 80
FI	Отсутствуют		Для газификации, электроэнергии: 0.034 Тепла: 0.017	
FR	86–101 @ 37.5 кт/г 80–90 @ 75 кт/г 67–80 @ 150 кт/г		Электроэнергия: 0.033–0.046 Тепло: 0.0076–0.023	Зольный остаток: 13–18 евро за тонну поступающих отходов
DE	250 (50 кт/г и нижеуказанные) ⁽²⁾ 105 (200 кт/г) ⁽²⁾ 65 @ 600 кт/г ⁽²⁾		Электроэнергия: 0.015–0.025	Зольный остаток: 25–30 Остатки летучей золы/систем контроля загрязнения воздуха: 100–250
EL	Отсутствуют		Не известно	Не известно
IE	Отсутствуют		Не известно	Не известно

	Расходы до уплаты налогов ⁽¹⁾ за вычетом выручки в евро на тонну отходов	Налог (для завода с регенерацией энергии)	Доходы от энергоснабжения (Евро за кВт-ч)	Затраты на обработку золы (евро за тонну золы, если не указано иное)
IT	41,3–93 (350 кт, зависит от выручки за рекуперацию энергии и упаковку)		Электроэнергия: 0.14 (первоначальное) 0.04 (рыночное) 0.05 (зеленый сертиф.)	Зольный остаток: 75 Остатки летучей золы/систем контроля загрязнения воздуха: 29
LU	97 (120 кт)		Электроэнергия: 0.025 (оценочное)	Зольный остаток: 16 евро за тонну входных отходов. Остатки дымовых газов: 8 евро за тонну входных отходов
NL	71–110 ¹ 70–134 ¹		Электроэнергия: 0.027–0.04 (оценочное)	
PT	46–76 (оцен.)			Нет информации
ES	34–56		Электроэнергия: 0.036	
S	21–53		Электроэнергия: 0.03 Тепло: 0.02	
UK	69 @ 100 кт/г 47 @ 200 кт/г		Электроэнергия: 0.032	Переработанный зольный остаток (чистая прибыль для оператора) летучая зола: ~ 90
⁽¹⁾ Стоимость до уплаты налогов относится к общим затратам без каких-либо налогов. ⁽²⁾ Эти цифры – проходные пошлины, а не расходы. Источники: [43, Eunomia 2001] [64, TWG 2003]				

В следующей таблице показано, как капитальные затраты на строительство полностью новой установки для сжигания твёрдых коммунальных отходов (УСТКО) могут варьироваться в зависимости от применяемых процессов обработки дымовых газов и остатков.

Таблица 1.9: Удельные инвестиционные затраты на новую установку для сжигания твёрдых коммунальных отходов (УСТКО), связанные с годовой мощностью и некоторыми типами очистки дымовых газов (ОДГ) в Германии

Тип очистки дымовых газов	Удельные инвестиционные затраты (евро/тонна отходов/год)			
	100 ктонн/г	200 ктонн/г	300 ктонн/г	600 ктонн/г
Сухой	670	532	442	347
Сухой плюс мокрый	745	596	501	394
Сухой плюс мокрый с обработкой остатка	902	701	587	457
Источники: [1, UBA 2001], [64, TWG 2003]				

В таблице 1.10 приведены некоторые примеры средних удельных затрат на сжигание (1999 г.) для заводов по сжиганию коммунальных отходов и опасных отходов (все заводы новые). Данные показывают, что конкретные затраты на сжигание в значительной степени зависят от капитальных затрат и, следовательно, от инвестиционных затрат и мощности завода. Значительные изменения стоимости могут зависеть от типа установки, например, периода амортизации, процентных расходов и т.д. Загрузка завода также может оказать существенное влияние на затраты на сжигание.

Таблица 1.10: Пример сравнительных отдельных видов затрат для установок по сжиганию ТКО и опасных отходов

Затраты	Установка для сжигания	
	Коммунальных отходов, мощностью 250 ктонн/год в евро 10 ⁶	Опасных отходов, мощностью 70 ктонн/год в евро 10 ⁶
Планирование/утверждение	3.5	6
Детали механизмов	70	32
Другие компоненты	28	28
Электромонтажные работы	18	20
Инфраструктурные работы	14	13
Время строительства	7	7
Общие инвестиционные затраты	140	105
Стоимость капитального финансирования	14	10
Персонал	4	6
Техническое обслуживание	3	8
Администрация	0.5	0.5
Производственные ресурсы/энергия	3	2.5
Удаление отходов	3.5	1.5
Прочее	1	0.5
Общие эксплуатационные расходы	29	12.5
Удельные затраты на сжигание (без выручки)	Прибл. 115 евро/тонна	Прибл. 350 евро/тонна
Примечание: Представленные данные – это пример для иллюстрации различий между установками для сжигания твёрдых коммунальных отходов (УСТКО) и установками для сжигания опасных отходов (УСОО). Стоимость строительства каждой различается. Источник: [1, UBA 2001], [64, TWG 2003]		

Цены на электроэнергию

[43, Eupomia 2001] Продажи производимой энергии приносят доходы. Уровень поддержки в отношении вырабатываемой электроэнергии и/или тепла за кВт/ч сильно варьируется. Например, в Швеции и Дании проходные пошлины ниже, по крайней мере частично, из-за выручки от продажи тепловой энергии и электроэнергии. Действительно, в Швеции производство электроэнергии часто не осуществляется из-за значительных доходов от регенерации тепла.

В некоторых других странах стимулирование производства электроэнергии способствовало созданию систем рекуперации энергии. Великобритания, Италия и Испания, в частности, на каком-то этапе поддерживали создание системы сжигания отходов путем повышения цен на электроэнергию, произведенную на мусоросжигательных заводах.

Наличие стимулов для развития возобновляемой энергетики в других государствах-членах также может влиять на относительные цены альтернативных видов обработки отходов и, следовательно, конкурентные цены.

Потенциальные доходы от продажи восстановленной из отходов энергии являются стимулом для всех заинтересованных сторон включать рынки сбыта энергии на этапе планирования строительства установок для сжигания отходов [64, TWG 2003].

Доходы, полученные от восстановления упаковочных материалов

[43, Eupomia 2001] также повлияли на относительные цены. Например, в Италии, Франции и Великобритании мусоросжигательные заводы получают доходы от утилизации упаковочного материала.

Следует отметить, что законодательные решения, касающиеся восстановления и утилизации могут влиять на то, могут ли мусоросжигательные заводы получать законные выгоды от этих доходов [64, TWG 2003]

Налоги на сжигание

[43, Eupotia 2001] Самый большой налог на сжигание применяется в Дании. Следовательно, хотя базовые затраты, как правило, являются низкими (в основном из-за масштаба и стоимости производимой энергии), расходы за вычетом налога имеют тот же порядок, что и затраты в некоторых других странах, где налог отсутствует. Этот налог, наряду с налогом на захоронение, был принят в Дании для содействия переработке отходов в соответствии с иерархией отходов. Это привело к значительному переходу с захоронения на переработку, но процент сжигания отходов остается постоянным [64, TWG 2003].

2 ПРИМЕНЯЕМЫЕ ПРОЦЕССЫ И МЕТОДЫ

2.1 Обзор и введение

Типовой перечень операций на мусоросжигательном заводе будет включать:

- прием поступающих отходов;
- хранение (накопление) отходов и сырья;
- предварительная подготовка отходов (при необходимости, на площадке или за ее пределами);
- направление отходов в процесс обезвреживания;
- термическое обезвреживание обработка отходов;
- рекуперация энергии (например, котел) и преобразование;
- очистка дымовых газов (ОДГ);
- порядок обращения с остатками, образующимися при очистке дымовых газов;
- выброс дымовых газов;
- мониторинг и контроль выбросов;
- контроль и очистка сточных вод (например, от дренажа площадки, очистки дымовых газов, участков хранения);
- порядок обращения и очистки шлака/золевого остатка (образуются на этапе сгорания);
- выгрузка/удаление твердых остатков.

Каждый этап разрабатывается для конкретного типа(-ов) отходов, обрабатываемых на установке. Информация об этих этапах включена в эту главу.

Многие установки работают непрерывно, 24 часа в сутки, до 365 дней в году. Системы управления и программы технического обслуживания играют важную роль в обеспечении полноценной работы оборудования. [74. TWG 2004]

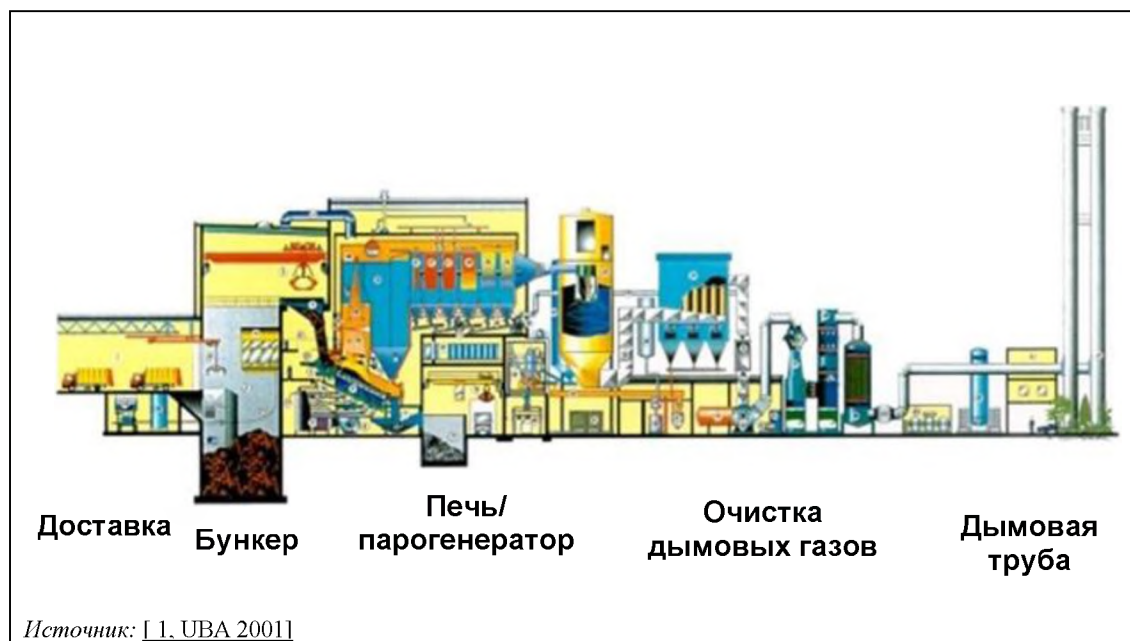


Рисунок 2.1: Пример схемы мусоросжигательного завода ТКО с мокрой системой очистки дымовых газов (ОДГ)

Существует три основных метода термического обезвреживания отходов:

- **сжигание** – полное окислительное сжигание (безусловно, самый распространенный процесс);
- **пиролиз** – термическое разложение органического материала при отсутствии окислителя;
- **газификация** – частичное окисление.

Условия протекания реакций и их продукты показаны в Таблице 2.1.

Таблица 2.1: Типичные условия реакции и продукты процессов сгорания, пиролиза и газификации

	Сжигание	Пиролиз	Газификация
Температура реакции (°C)	800–1 450	250–700	500–1 600
Давление (бар)	1	1	1–45
Атмосфера	Воздух	Инертный/азот	Газификационный агент: O ₂ , H ₂ O
Стехиометрическое соотношение	> 1	0	< 1
Продукты процесса			
Газовая фаза:	CO ₂ , H ₂ O, O ₂ , N ₂	H ₂ , CO, углеводороды H ₂ O, N ₂	H ₂ , CO, CO ₂ , CH ₄ , H ₂ O, N ₂
Твердая фаза:	Зола, шлак	Зола, кокс	Шлак, зола
Жидкая фаза:		Пиролизное масло и вода	
Источник: адаптировано из [9, VDI 2002]			

- Установки пиролиза и газификации имеют сходную базовую структуру с установками по сжиганию, но между ними существуют некоторые существенные различия, а именно необходимость **предварительной подготовки**, а также сырья определенных видов и дополнительного оборудования для использования, обработки и хранения отходов;
- **загрузка**, необходимо повышенное внимание к степени герметизации;
- **термический реактор**, для замены или дополнения стадии горения;
- **обращение с образовавшимися продуктами**, для газообразных и твердых продуктов необходимо последующее использование, хранение или дальнейшая очистка;
- **сжигание образовавшихся продуктов** может представлять собой отдельную стадию и включать рекуперация энергии путем сжигания продуктов и последующей очистки газа/воды /твердого вещества.

2.2. Методы предварительной подготовки, хранения и использования

Различные типы отходов, которые сжигаются, могут потребовать методов предварительной обработки, хранения и обращения. В этом разделе описаны наиболее важные из этих операций для следующих видов отходов:

- твердые коммунальные отходы и аналогичные;
- опасные отходы;
- осадки сточных вод;
- медицинские отходы.

2.2.1 Твердые коммунальные отходы (ТКО) и аналогичные

2.2.1.1 Сбор и предварительная обработка вне мусоросжигательного завода ТКО

Хотя это выходит за рамки данного документа, важно отметить, что система местного сбора и предварительная подготовка ТКО оказывают сильное влияние на характер продуктов, получаемых на мусоросжигательной установке. Поэтому предварительная подготовка и другие операции, выполняемые на мусоросжигательном заводе, должны быть согласованы с существующей системой сбора отходов в регионе.

Схемы переработки могут означать, что некоторые фракции были удалены. Их влияние будет примерно следующим.

Таблица 2.2: Основное влияние сбора и предварительной подготовки на образование остаточных отходов

Удаленная фракция	Основное влияние на остаточные отходы
Стекло и металлы	• Увеличение теплоты сгорания • Снижение количества извлекаемых металлов в шлаке
Бумага, картон и пластик	• Снижение теплоты сгорания • Возможное сокращение выхода свободного хлора, если часто встречаются ПВХ отходы
Органические отходы, например пищевые и садовые отходы	• Снижение влажности (особенно при максимальной загрузке) • Увеличение чистой теплоты сгорания
Крупногабаритный мусор	• Снижение потребности в удалении/измельчении таких отходов
Опасные отходы	• Снижение поступления с потоком отходов опасных металлов, в том числе Hg • Уменьшение поступления некоторых других веществ, например, Cl, Br
Источник: [74, TWG 2004]	

В одном исследовании, оценивающем влияние раздельного сбора на образование остаточных коммунальных отходов (т.н. «серые отходы»), были сделаны следующие выводы:

- Сбор стекла уменьшил производительность установки (-13%) и увеличил теплоту сгорания (+15% НТС) остаточных «серых отходов».
- Сбор упаковки и бумаги уменьшил производительность установки (-21%) и НТС (-16%) «серых отходов».
- В целом, производительность установки и НТС «серых отходов» снижалась, когда повышалась эффективность раздельного сбора. Максимальное влияние селективного сбора составило -42% для пропускной способности и -3% для НТС «серых отходов».
- Раздельный сбор оказал влияние на качество серых отходов – он значительно увеличил содержание мелкой фракции, которая может быть особенно богата тяжелыми металлами

(штрафы увеличились с 16% до 33%).

- Снизился коэффициент образования зольного остатка (-3%). [74, TWG 2004]

Степень, в которой отдельный сбор и аналогичные схемы влияют на образование остаточных отходов, зависит от эффективности используемых систем разделения и предварительной подготовки. Это сильно варьируется. Некоторые остаточные фракции всегда могут оставаться в отходах, поступающих на утилизацию.

Списанные с заводов по переработке материалы, монопотoki отходов, коммерческие и промышленные отходы и некоторые опасные отходы также могут быть частью поступающих отходов.

2.2.1.2 Предварительная подготовка твердых коммунальных отходов на мусоросжигательном заводе

Для перемешивания ТКО часто используется смешивание в бункере. Этот процесс обычно включает использование того же потока отходов, который поступил на загрузку в бункер. Чаще всего предварительная обработка ТКО ограничивается измельчением прессованных тюков, крупногабаритных отходов и т.д., хотя иногда проводится более интенсивное измельчение с использованием:

- аллигаторных ножиц (для резки скрапа);
- шредеров;
- дробилок;
- роторных ножиц.

В целях пожарной безопасности могут использоваться следующие меры:

- отделение площадок сброса отходов от хранилища в бункере;
- отделение гидравлических установок (подачи топлива, насосных и питательных установок) от режущих инструментов;
- устройства для сбора утечек топлива;
- декомпрессионный сброс в корпусе, чтобы уменьшить ущерб от взрыва.

Если крупногабаритные отходы больше чем система, которая подает их в печь, то обычно они предварительно дробятся/измельчаются. Предварительная подготовка путем дробления, измельчения и/или смешивания также проводится для повышения степени однородности отходов, для придания им более постоянных характеристик горения (например, для некоторых отходов с высокой НТС). Дополнительная предварительная подготовка отходов нетипична для установки с колосниковой решеткой, но может быть необходимой для других конструкций печей.

2.2.1.3 Доставка и хранение отходов

Общие принципы хранения описаны в Справочном документе по НДТ выбросов и сбросов при хранении материалов, опубликованном в июле 2006 года. Справочный документ по НДТ сжигания отходов также рассматривает вопросы доставки, хранения и управления отходами. В этом разделе описаны некоторые проблемы, характерные для ТКО.

2.2.1.3.1 Сбор и обработка отходов производства

Разгрузочная площадка – это участок, куда прибывают мусоровозы, поезда или контейнеры, чтобы сбросить отходы в бункер, обычно после визуального контроля и взвешивания. Сброс осуществляется через отверстия между площадкой доставки и бункером. Для облегчения перемещения отходов в бункер могут использоваться опрокидывающиеся подвижные установки. Для предотвращения утечки запахов, повышения пожаробезопасности и снижения риска дорожно-транспортных происшествий отверстия для сброса могут быть закрыты. Ограждение зоны разгрузочной площадки может быть эффективным для снижения запаха, шума и проблемных выбросов.

2.2.1.3.2 Бункер

Бункер обычно представляет собой водонепроницаемую бетонную камеру. Отходы загружаются и смешиваются в бункере с помощью кранов, оборудованных грейферами. Смешивание отходов помогает достичь сбалансированных показателей теплоты сгорания, размера, структуры, состава и т.д. отходов, сбрасываемых в приемные бункеры мусоросжигательной установки.

В зоне бункера и системы подачи используется противопожарное оборудование, например:

- пожаробезопасная кабельная разводка для кранов;
- безопасное проектирование кабины крана;
- пожарные датчики;
- автоматические водяные пушки (с пеной или без).

Кабина крана должна быть спроектирована таким образом, чтобы обеспечивать крановщику хороший обзор всего бункера. Кабина имеет собственную систему вентиляции, независимую от бункера.

Воздух для печей часто извлекается из зоны бункера для удаления пыли, запахов и метана, образующихся в результате ферментации отходов. Теплота сгорания отходов, а также расположение и принцип работы установки будут определять, будет ли воздух из бункера использоваться в качестве первичного воздуха, вторичного воздуха или и того, и другого.

[74, TWG 2004]

Ёмкость хранилища бункера обычно рассчитано на 3-5 дней работы мусоросжигательного завода на полной мощности. Это в значительной степени зависит от локальных факторов и специфики поступающих отходов.

Могут быть реализованы дополнительные защитные устройства, такие как: сухой пожарный стояк на уровне бункера для отходов, пенообразующая насадка над бункером для отходов, сигнализация возгорания для гидравлической группы, огнестойкие стены между бункером и печным залом, огнестойкие стены между печным залом и диспетчерской, водные завесы на окнах между диспетчерской и печью, отвод дыма и огня (5–10% поверхности покрытия). [74, TWG 2004]

2.2.2 Опасные отходы

Сектор сжигания опасных отходов состоит из двух основных подсекторов:

- коммерческие мусоросжигательные заводы;
- специализированные мусоросжигательные заводы.

Основные различия между ними приведены в таблице ниже.

Таблица 2.3: Перечень различий между операторами на рынке заводов для сжигания ОО

Критерий	Коммерческие мусоросжигательные заводы	Специализированные мусоросжигательные заводы
Владение	Частные компании, муниципалитеты и их партнерства	Обычно частные компании (используются для собственных отходов)
Характеристика обработанных отходов	• Очень широкий спектр отходов • В некоторых случаях неполная осведомленность о точном составе отходов	• Широкий спектр отходов, но в основном жидкие и газообразные отходы • Часто отходы образуются в результате деятельности только одной компании или даже от одного процесса • В целом большая осведомленность о составе отходов

Критерий	Коммерческие мусоросжигательные заводы	Специализированные мусоросжигательные заводы
Применяемые технологии сжигания	- Преимущественно вращающиеся печи - Некоторые специальные технологии для обезвреживания специализированных или узко специфичных отходов	- В основном статические печи - Широкий спектр специальных технологий для обезвреживания специализированных или узко специфичных отходов
Эксплуатационные и проектные решения	Гибкость и широкий диапазон производительности, необходимые для обеспечения хорошего управления процессом	В некоторых случаях процесс может быть более разработан непосредственно для более узкой спецификации поступающего материала
Очистка дымовых газов	- Для обеспечения гибкости процесса часто применяется влажная очистка - Ряд методов очистки дымовых газов (ОДГ) (часто применяется в сочетании с влажной очисткой)	- Для обеспечения гибкости процесса часто применяется влажная очистка - Ряд методов очистки дымовых газов (ОДГ) (часто применяется в сочетании с влажной очисткой)
Стоимость/рыночные факторы	- Операторы обычно конкурируют на открытом (глобальном) рынке - Некоторые заводы получают выгоду от национальной или региональной политики в отношении утилизации отходов, образующихся в стране/регионе. - Оборот опасных отходов в ЕС контролируется правилами трансграничных перевозок, которые ограничивают сферу открытого глобального рынка	- Конкуренция более ограничена или в некоторых случаях вообще отсутствует - В некоторых случаях пользователи допускают более высокие затраты на утилизацию в связи с политикой производителя отходов в рамках утилизации отходов внутри компании
Источник: Обсуждения с TWG		

[41, EURITS 2002]. Индивидуальная мощность вращающихся печей, используемых в коммерческом секторе, варьирует от 25 000 тонн до 140 000 тонн в год. Производительность индивидуального проекта значительно варьируется в зависимости от средней теплоты сгорания отходов, при этом основным фактором является теплоемкость.

Следующие разделы относятся главным образом к этапам доставки, хранения и предварительной подготовки опасных отходов в коммерческом секторе.

2.2.2.1 Прием отходов

Из-за очень широкого разнообразия встречающихся отходов, их высокой потенциальной опасности и повышенной неопределенности касательно точного состава отходов требуются значительные усилия для оценки, характеристики и отслеживания поступающих отходов в течение всего процесса. Принятые системы контроля должны включать ведение контрольного журнала, позволяющего отслеживать любые инциденты с определением причины их возникновения. Впоследствии это позволяет адаптировать процедуры для предотвращения дальнейших инцидентов.

Точные процедуры, необходимые для приема и хранения отходов, зависят от химических и физических характеристик отходов.

Идентификация и анализ отходов

[1, UBA 2001] Для каждого типа опасных отходов предоставляется декларация о характере отходов, произведенных производителем отходов, для того, чтобы управляющий отходами мог принять решение о необходимом методе хранения и подготовки. Такая декларация может включать:

- данные о производителе отходов и ответственных лицах;
- данные о коде отходов и других обозначениях для отходов;
- данные о происхождении отходов;
- аналитические данные по конкретным токсичным материалам;
- общие характеристики, включая параметры сгорания, такие как содержание Cl, S, теплота сгорания, содержание воды;
- другая информация, касающаяся вопросов экологии и безопасности;
- подпись, имеющая юридическую силу;
- дополнительные данные по запросу принимающего завода.

Некоторые виды отходов требуют дополнительных мер. Однородные, специфичные для производства отходы часто могут быть описаны надлежащим образом в общих чертах. Обычно дополнительные меры требуются для отходов, состав которых не может быть описан подробно (например, отходов со свалок или от сбора опасных коммунальных отходов), включая проверку каждого отдельного контейнера для отходов.

Когда состав отходов не может быть подробно описан (например, небольшие количества пестицидов или лабораторных химикатов), компания по обращению с отходами может договориться с производителем отходов о конкретных требованиях к упаковке либо о перевозке или в контейнерах для обеспечения того, что отходы не будут контактировать во время транспортировки, когда они будут приняты для сжигания. Например, риски могут возникнуть из-за:

- отходов с фосфидами;
- отходов с изоцианатами;
- отходов со щелочными металлами (или другими химически активными металлами);
- цианида с кислотами;
- отходов, образующих кислые газы при сгорании;
- отходов с ртутью. [74, TWG 2004]

Доставленные отходы, как правило, проходят специальные приемочные проверки, которые могут включать подробные лабораторные анализы в зависимости от объема и характера отходов. Визуальные и аналитические обследования отходов сравниваются с данными, содержащимися в декларации, полученной от производителя отходов. Отходы либо принимаются и распределяются в соответствующие складские помещения, либо, в случае значительных отклонений, производителю будет отказано в приеме отходов.

2.2.2.2 Хранение

Общие принципы хранения описаны в Справочном документе по НДТ выбросов при хранении, опубликованном в июле 2006 года. В Справочном документе по НДТ обезвреживания отходов также рассматриваются вопросы доставки, хранения и подготовки отходов. Тем не менее, в данном разделе будут обозначены некоторые проблемы, связанные со сжиганием опасных отходов.

В целом, при приеме отходов на хранение необходимо дополнительно учитывать то, что отходы неизвестного происхождения и состава создают дополнительные риски и неопределенности. Во многих случаях эта неопределенность означает, что в хранилищах для узкоспецифичных отходов хранятся неизвестные отходы, а не правильно отсортированное сырье.

Обычной практикой является обеспечение, насколько это возможно, хранения опасных отходов в тех же контейнерах (бочках), которые использовались для их транспортировки, что позволяет избежать необходимости дополнительной обработки и транспортировки. Своевременный обмен информацией между производителем отходов и компаниями-управляющими отходами помогает обеспечить хранение и перевозку отходов, таким образом, что риски во всей цепочке процесса хорошо управляемы. Также важно, чтобы в бочках или бункерах хранились только правильно охарактеризованные и совместимые отходы.

Не исключено, что механизмы хранения опасных отходов должны соответствовать Директиве Seveso III о контроле крупных аварий, а также наилучшим доступным технологиям (НДТ), описанным в Справочном документе по НДТ эмиссий при хранении и/или Справочном документе по НДТ обезвреживания отходов. Могут возникать обстоятельства, когда меры по

предотвращению/смягчению последствий крупных аварий имеют преимущественную силу.

[41, EURITS 2002] Надлежащая оценка отходов является важным элементом при выборе вариантов хранения и погрузки. Некоторые проблемы, на которые следует обратить внимание:

- Для хранения твердых опасных отходов многие мусоросжигательные заводы оснащены бункером (500–2000 м³), отходы из которого загружаются в установку с помощью кранов или погрузочных ковшей.
- Для жидких опасных отходов и шламов, которые обычно хранятся в резервуарных парках, в некоторых резервуарах обеспечивается хранение под слоем химически неактивного газа (например, азота). Жидкие отходы подаются по трубопроводам к печам и вводятся во вращающуюся печь и/или камеру дожигания (РСС). Шлам можно подавать во вращающиеся печи с помощью специальных насосов для вязких веществ.
- Некоторые мусоросжигательные заводы могут загружать определенные вещества (токсичные, дурнопахнущие, химически активные и едкие жидкости) с помощью устройства прямого впрыска непосредственно из транспортного контейнера в печь или камеру дожигания (РСС).
- Почти половина коммерческих мусоросжигательных заводов в Европе оснащена конвейерами и элеваторами для транспортировки и загрузки бочек и/или небольших упаковок (например, лабораторных упаковок) непосредственно во вращающуюся печь. Они могут функционировать через системы шлюзов и могут использовать системы заполнения инертным газом.

2.2.2.2.1 Хранение твердых опасных отходов

[1, UBA 2001] Твердые и неперекачиваемые вязкие опасные отходы, для которых не требуется дегазация и не выделяют неприятные запахи, временно хранятся в бункерах. Места хранения и смешивания в бункере могут быть разделены. Это может быть достигнуто путем нескольких проектных решений. Краны подают как твердые, так и вязкие отходы. Бункер должен быть спроектирован так, чтобы предотвращать возможность выбросов в почву.

Бункер и контейнер должны быть закрыты, за исключением случаев угроз для здоровья и безопасности (например, опасность взрыва и возгорания). Воздух для сжигания в мусоросжигательной печи обычно подается из зоны хранения отходов, чтобы предотвратить выбросы пыли и запахов. Участки хранения отходов должны постоянно контролироваться, чтобы обеспечить раннее обнаружение любых возгораний. Визуальный контроль со стороны оператора диспетчерской и/или оператора крана может поддерживаться с помощью камер, оснащенных тепловым датчиком.

2.2.2.2.2 Хранение перекачиваемых опасных отходов

[1, UBA 2001] Большие объемы жидких и перекачиваемых вязких отходов временно хранятся в резервуарах. Резервуары должны быть достаточного размера для раздельного хранения несовместимых типов отходов (например, окислители, хранящиеся отдельно от легковоспламеняющихся материалов для предотвращения возгораний/взрывов, и кислоты, хранящиеся отдельно от сульфидов для предотвращения образования сероводорода).

Резервуары, трубопроводы, клапаны и затворы должны соответствовать характеристикам отходов с точки зрения конструкции, выбора материала и проектирования. Они должны быть достаточно коррозионно стойкими и допускать возможность очистки и отбора проб. Резервуары с плоской платформой обычно используются только для больших нагрузок.

Может потребоваться гомогенизировать содержимое резервуара с помощью механических или гидравлических мешалок. В зависимости от характеристики отходов, должна быть предусмотрена возможность нагрева резервуаров непрямым образом и изоляции. Резервуары устанавливаются в отстойниках, которые должны быть рассчитаны на хранящийся материал, причем объемы бункеров выбираются таким образом, чтобы они могли удерживать жидкие отходы в случае утечки.

2.2.2.2.3 Хранение контейнеров и контейнеров-цистерн

[1, UBA 2001] В целях безопасности опасные отходы чаще всего собирают в специальные контейнеры. Эти контейнеры впоследствии доставляются на мусоросжигательный завод. Также

осуществляется доставка жидкостей, перевозимых в цистернах.

Доставленные контейнеры могут находиться на хранении или их содержимое может быть перенаправлено. В некоторых случаях, согласно оценке риска, отходы могут быть напрямую закачаны через отдельный трубопровод в печь. Для отходов, которые становятся жидкими только при более высоких температурах, могут быть использованы подогреваемые линии транспортировки.

Места для хранения контейнеров и цистерн обычно располагаются снаружи и могут быть крытыми либо нет. Дренаж из этих зон, как правило, контролируется, так как существует опасность пролива загрязняющих веществ.

2.2.2.3 Подача и предварительная подготовка

В ходе сжигания широкий ряд химических и физических свойств некоторых опасных отходов может создавать проблемы. Для получения более однородного исходного материала зачастую отходы смешивают до определенной степени или проводят специальную предварительную подготовку.

[2, InfoMil 2002]

Для каждой установки разработаны критерии приемлемости отходов, в которых определены допустимые диапазоны основных параметров сгорания и химических свойств поступающих отходов. Применение этих критериев гарантирует непрерывную и прогнозируемую работу установки в соответствии с эксплуатационными и экологическими (например, условиями экологических разрешений) требованиями.

Факторы, которые устанавливают такие диапазоны, включают:

- производительность системы очистки дымовых газов в отношении отдельных загрязняющих веществ (например, скорости потока в скруббере);
- наличие или отсутствие определенного способа очистки дымовых газов;
- теплопроизводительность печи;
- конструкцию механизма подачи отходов и физические свойства полученных отходов.

[41, EURITS 2002] Некоторые мусоросжигательные заводы имеют специальные и интегрированные процессы гомогенизации для предварительной подготовки отходов. К ним относятся следующее:

- Шредер для крупногабаритных твердых веществ (например, загрязненных упаковок) [74, TWG 2004].
- Специальный шредер исключительно для отходов в бочках. В зависимости от установки можно обрабатывать бочки с твердыми и/или жидкими отходами. Измельченные остатки затем подают через бункер и/или резервуары. Шредер объединен с механическим перемешивающим устройством. В результате получается гомогенизированная фракция, которая закачивается непосредственно в печь с помощью насоса. Некоторые шредеры могут перерабатывать как отходы в бочках, так и/или твердые отходы в упаковках до 1 тонны.

В зависимости от состава отходов и индивидуальных характеристик мусоросжигательной установки могут применяться другие методы предварительной подготовки, например [1, UBA 2001]:

- нейтрализация (для приема отходов, показатель pH от 4 до 12 является нормой);
- обезвоживание осадка сточных вод;
- уплотнение осадка связующими веществами.

На рис. 2.2 показаны две системы предварительной обработки опасных отходов, используемые на коммерческих заводах по сжиганию опасных отходов.

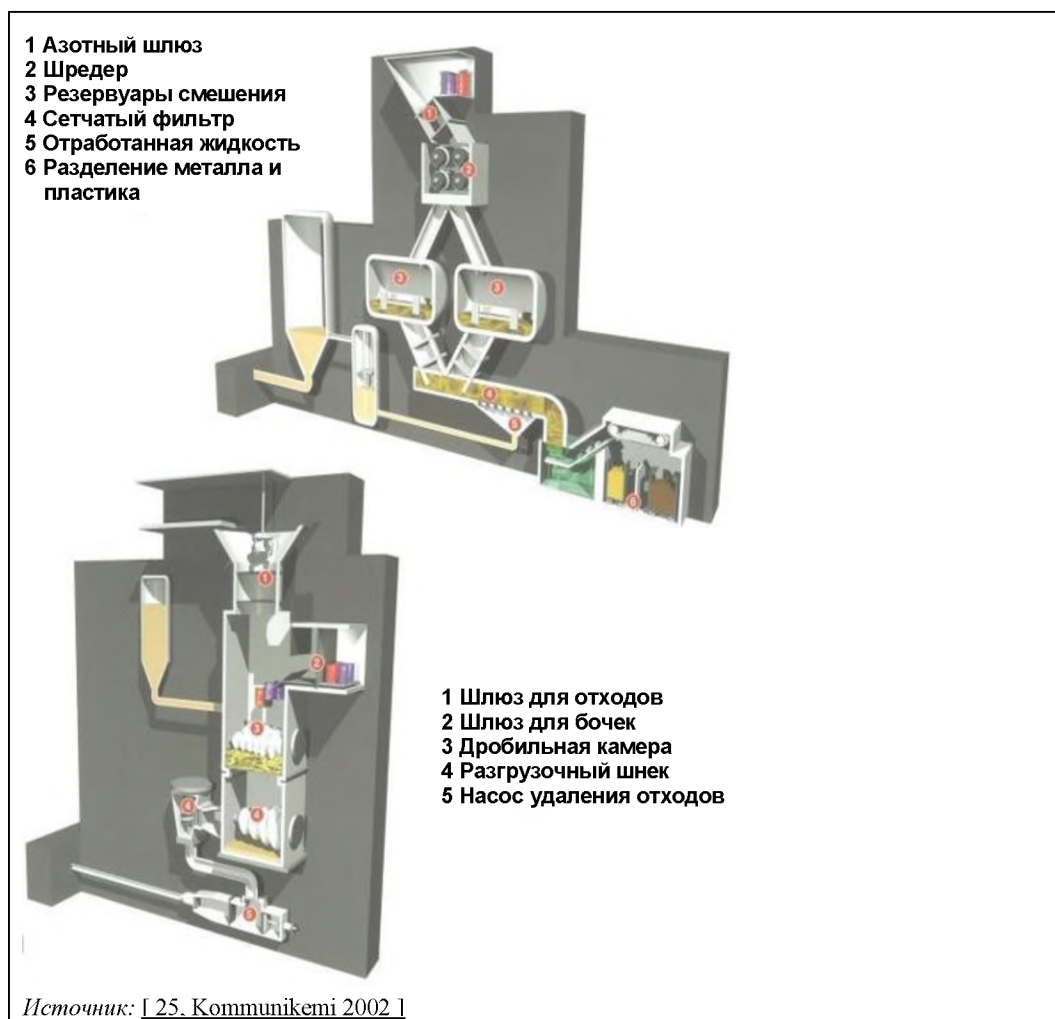


Рисунок 2.2: Примеры систем предварительной подготовки опасных отходов, используемых на некоторых коммерческих заводах по сжиганию опасных отходов.

2.2.3 Осадки сточных вод

2.2.3.1 Состав осадков сточных вод

Состав осадков сточных вод зависит от многих факторов, в том числе:

- смешивания сточных вод с промышленными стоками (может повысить концентрацию тяжёлых металлов);
- местоположения (прибрежное расположение может способствовать проникновению соленой воды);
- предварительной очистки на очистных сооружениях (просеивание, анаэробная и аэробная биологическая обработка, добавление реагентов);
- погоды/времени года (дожди могут разбавлять осадки).

Состав осадков сточных вод сильно варьируется. Типичные диапазоны состава для обезвоженного осадка коммунальных и промышленных сточных вод приведены ниже.

Таблица 2.4: Среднестатистический состав обезвоженного осадка коммунальных сточных вод и осадков промышленных сточных вод после обезвоживания

Компонент	Осадок коммунальных сточных вод	Осадок промышленных сточных вод
Сухие твердые вещества (%)	10–45	-

Компонент	Осадок коммунальных сточных вод	Осадок промышленных сточных вод
Органический материал (% сухих веществ)	45–85	-
Металлы (мг/кг сухих веществ):	-	-
Cr	20–77	170
Cu	200–600	1 800
Pb	100–700	40
Ni	15–50	170
Sb	1–5	< 10
Zn	500–1 500	280
As	5–70	< 10
Hg	0.5–4.6	1
Cd	1–5	< 1
Mo	4–20	-
Источник: [2, InfoMil 2002], [64, TWG 2003], комментарии FEAD [7, TWG 2017]		

Важные факторы, которые необходимо учитывать при сжигании осадка сточных вод:

- содержание сухого вещества (обычно оно варьируется от 10% до 45% – это имеет большое значение для процесса сжигания);
- сбрасывается ли осадок или нет;
- наличие извести, известняка и других кондиционирующих веществ осадка сточных вод;
- характеристика состава осадка: первичный, вторичный, активный-ил и т.д.;
- проблемы неприятного запаха, особенно во время подачи осадка на хранение.

[64, TWG 2003] [74, TWG 2004]

2.2.3.2 Предварительная подготовка осадка сточных вод

2.2.3.2.1 Физическое обезвоживание

[1, UBA 2001], [64, TWG 2003]

Механическое обезвоживание перед сжиганием уменьшает объем осадка и увеличивает его теплоту сгорания, что обеспечивает изолированное и экономное сжигание. Успешность механического обезвоживания зависит от выбранного метода, проведенного кондиционирования, а также от типа и состава осадка.

С помощью механического обезвоживания осадков сточных вод в отстойниках, центрифугах, ленточных и камерных пресс-фильтрах содержание твердых веществ в осадках может достичь 10%–45%.

Зачастую для облегчения обезвоживания осадок предварительно кондиционируется. Это достигается путем внесения добавок, содержащих флокулянты. Необходимо различать неорганические (соли железа и алюминия, известь, уголь и т.д.) и органические флокулянты (органические полимеры). Неорганические вещества действуют не только как флокулянты, но также являются структурообразователями, то есть они существенно увеличивают содержание неорганических веществ и, следовательно, увеличивают количество образующейся золы. Предпочтительнее использовать органические кондиционирующие вещества, т.к. они разрушаются во время сжигания в печи и не увеличивают количество производимой золы.

2.2.3.2.2 Сушка

[1, UBA 2001], [64, TWG 2003]

Часто осадок после механического обезвоживания, все еще слишком влажный для автотермического (самоподдерживающегося) сжигания. Термическая сушильная установка может быть использована для увеличения теплоты сгорания и уменьшения объема осадка перед сжиганием в печи.

Сушка/обезвоживание осадков сточных вод осуществляется в отдельных или объединенных сушильных установках. Используются следующие типы сушильных установок:

- дисковая сушилка;
- барабанная сушилка;
- сушилка с псевдоожиженным слоем;
- ленточная сушилка;
- тонкопленочная сушилка/дисковая сушилка;
- сушилка холодного воздуха;
- тонкопленочная сушилка;
- центробежная сушилка;
- солнечная сушилка;
- комбинации разных типов сушилок.

Процессы сушки можно разделить на две группы:

- частичная сушка, до 60–80% содержания твердых веществ в осадках
- полная сушка, до 80–90% содержания твердых веществ в осадках

[74, TWG 2004]

Альтернативой наружной сушке является сушка осадка *in situ* путем сжигания вместе с отходами с высокой теплотой сгорания. В таких случаях вода из обезвоженного осадка помогает предотвратить пики высокой температуры, которые могут возникать, при сжигании отходов с высокой теплотой сгорания в чистом виде.

Для автотермического сжигания на установках, предназначенных исключительно для сжигания осадка сточных вод, обычно достаточно чтобы содержание твёрдого вещества в осадках было не меньше 35%. Этот показатель может быть достигнут механическим обезвоживанием и может не требовать термической сушки.

Требуемое содержание сухих твердых веществ для автотермического сжигания в данной установке будет зависеть от состава осадка (энергоемкости сухих твердых веществ, в значительной степени связанной с содержанием органического материала). Это зависит от рода осадка и любых применяемых предварительных обработок, например, сбраживание осадка или добавления органических или неорганических кондиционеров.

В зависимости от уровня содержания влаги и общей доли совместно сжигаемого осадка может потребоваться сушка осадка для обеспечения одновременного сжигания осадков сточных вод с другими потоками отходов на заводах по сжиганию коммунальных отходов. Типичные рабочие условия для подачи на установки для сжигания твёрдых коммунальных отходов (УСТКО) – около 10% обезвоженного осадков сточных вод с 20–30% содержанием сухих веществ.

[74, TWG 2004]

Тепло, необходимое для процесса сушки, обычно извлекается из процесса сжигания. В процессах прямой сушки осадок сточных вод непосредственно контактирует с теплоносителем (например, в сушилках конвекционных, ленточных, двухуровневых и с псевдоожиженным слоем). В процессе сушки образуется смесь пара, воздуха и газов, выделяющихся из осадка, который как правило, вводят в печь.

В системах непрямой сушки (например, змеевые, дисковые, тонкопленочные сушилки) тепло вводится через парогенераторы или термомасляные установки, и теплоноситель не контактирует с осадком. Теплообмен происходит между стенкой и осадком.

Контактные сушилки обычно достигают уровня содержания сухих веществ 35–40%. Испаренная вода, полученная в процессе сушки, загрязнена только утечкой воздуха и небольшим количеством летучих газов. Пар может практически полностью конденсироваться из испарения, а оставшиеся инертные газы могут использоваться в качестве подаваемого воздуха для мусоросжигателя для предотвращения выделения запахов. Обработка конденсата может быть затруднена из-за содержания NH_4OH , органических углеводов (ООУ) и т.д.

2.2.3.2.3 Сбраживание осадка сточных вод

Сбраживание осадка уменьшает органическое содержание осадка; анаэробное сбраживание также производит биогаз. Сброженный осадок сточных вод, как правило, обезвоживается легче, что

приводит к чуть более высокому содержанию сухих веществ.
[64, TWG 2003]

2.2.4 Медицинские отходы

2.2.4.1 Происхождение и состав медицинских отходов

Обращение с медицинскими отходами требует особого обращения из-за особых рисков (например, инфекционное заражение, иглы), эстетическими стандартами (отходы от операций и т.д.) и их поведением при сжигании (очень различная теплота сгорания и содержание влаги).

Некоторые медицинские отходы часто содержат материалы с очень высокой НТС (пластмассы и т.д.), а также отходы с очень высоким содержанием воды (например, кровь). Поэтому медицинские отходы обычно требуют длительного времени сжигания для обеспечения полного выгорания отходов и приемлемого качества остатков.

Как и в случае опасных отходов, состав медицинских отходов сильно варьируется и может содержать:

- инфекционные агенты;
- инфицированную одежду/марлевые салфетки и тампоны;
- фармацевтические отходы;
- колюще-режущие отходы, например, иглы для подкожных инъекций;
- ветеринарные отходы;
- анатомические отходы;
- бывшее в употреблении медицинское оборудование;
- упаковочные материалы;
- лабораторные отходы;
- радиоактивные отходы.

В некоторых случаях проводится различие между путями сжигания необезвреженных (потенциально инфицированных отходов) и обезвреженных отходов. Обработка необезвреженных отходов иногда ограничивается специальными мусоросжигательными установками, в то время как обезвреженные отходы в некоторых случаях сжигаются вместе с другими отходами в не предназначенных для этого мусоросжигательных установках, например, в установках для сжигания твёрдых коммунальных отходов (УСТКО).

2.2.4.2. Обработка, предварительная обработка и хранение медицинских отходов

Как правило, риски, связанные с обращением с медицинскими отходами, могут быть уменьшены путем ограничения контакта с отходами, обеспечения надлежащих условий хранения за счет применения следующих мероприятий:

- специальных контейнеров и моющих/дезинфицирующих средств;
- герметичных и огнеустойчивых контейнеров, например, для колюще-режущих предметов и биологически опасных отходов;
- автоматических систем загрузки отходов в печь, например, специальных кранов в бункере;
- отдельных мест хранения и транспортировки (особенно в случае совместного сжигания с другими отходами);
- холодильных/морозильных систем хранения, если требуется.

Предварительная подготовка может быть проведена с использованием:

- стерилизации паром, например, в автоклаве под воздействием повышенной температуры и давления;
- кипячения с водой.

Каждый из этих способов может позволить стерилизовать отходы в степени достаточной для их последующей обработки аналогично коммунальным отходам. Рабочие и складские помещения обычно спроектированы с учетом устранения трудностей при проведении дезинфекции.

Для очистки контейнеров многократного пользования обычно устанавливается соответствующее оборудование для очистки и дезинфекции. Твердые отходы от дезинфекции собираются для утилизации. Сточные воды от дезинфекции собираются и затем повторно используются в процессе сжигания (например, для очистки дымовых газов или при подаче отходов) или обрабатываются и удаляются. [74, TWG 2004]

Предварительная обработка, такая как измельчение или размягчение, может применяться для улучшения однородности отходов, хотя вопросы обеспечения безопасности требуют тщательного обращения с некоторыми медицинскими отходами.

Медицинские отходы также сжигаются на заводах по сжиганию опасных отходов и вместе с другими видами отходов. Если сжигание происходит не сразу после поступления, то необходимо обеспечить их временное хранение. В некоторых случаях, когда хранить медицинские отходы необходимо более 48 часов, то они хранятся в охлаждаемых помещениях с ограниченной максимальной температурой (например, +10°C).

2.3 Этап термического обезвреживания

Для различных типов отходов применяются различные технологии термического обезвреживания. В этой главе и в таблице 2.5 рассматриваются методологии и возможные области применения, лежащие в основе наиболее распространенных технологий, в частности для следующих установок:

- установки с колосниковыми печами;
- вращающиеся печи;
- установки с кипящим слоем;
- системы пиролиза и газификации.

Они также охватывают некоторые другие более специфические технологии.

[6, EGTEI 2002]

Твердые коммунальные отходы можно сжигать в установках с подвижной колосниковой решеткой, вращающихся печах и установках с кипящим слоем. Технология сжигания в кипящем слое требует, чтобы ТКО имели определенный диапазон размеров частиц, что обычно требует предварительной подготовки, даже при раздельном сборе отходов.

Осадки сточных вод можно сжигать во вращающихся печах, многоподовых печах или установках с кипящим слоем. Совместное сжигание также применяется в системах слоевого сжигания на колосниковых решётках, в установках для сжигания угля и промышленных процессах. Осадок сточных вод часто имеет высокое содержание воды и обычно для обеспечения стабильного и эффективного сгорания необходима его предварительная сушка или использование вспомогательного топлива.

Опасные и медицинские отходы обычно сжигаются во вращающихся печах, но для твердых отходов иногда применяются установки с колосниковой решёткой (включая совместное сжигание с другими отходами), а для некоторых предварительно обработанных материалов – установки для сжигания в кипящем слое. Статические печи также широко применяются на химических заводах.

Были разработаны также и **другие технологии**, основанные на выделении некоторых стадий процессов, протекающих при сжигании: сушка, испарение, пиролиз, карбонизация и окисление отходов. Применяется также и газификация с использованием газифицирующих агентов, таких как пар, воздух, оксиды углерода или кислород. Все эти процессы применяются для уменьшения объемов дымовых газов и снижения издержек, связанных со стоимостью очистки этих газов. Многие из этих решений оказались технически и экономически непригодными для применения, при их выходе на коммерческий, промышленный уровень, и поэтому сейчас не применяются. Некоторые из них применяются в коммерческих масштабах (например, в Японии), другие же – только в демонстрационных проектах по всей Европе, но в сравнении со сжиганием все они составляют лишь незначительную часть от общего объема переработки твердых коммунальных отходов.

Таблица 2.5: Краткое описание текущего применения процессов тепловой обработки, применяемых к различным типам отходов

Технология	Твердые коммунальные отходы (ТКО)	Другие неопасные отходы	Опасные отходы	Осадки сточных вод	Медицинские отходы
Колосниковая решетка – поступательно/обратно-переталкивающая	56 %	43 %	0 %	0 %	0 %
Колосниковая решетка – вибрирующая	0 %	0 %	11 %	0 %	0 %
Колосниковая решетка – подвижная	24 %	27 %	0 %	0 %	0 %
Колосниковая решетка – роллерная	12 %	10 %	0 %	0 %	0 %
Колосниковая решетка – с водяным охлаждением	22 %	48 %	17 %	0 %	0 %
Колосниковая решетка плюс вращающаяся печь	0.5 %	0 %	2 %	0 %	0 %
Вращающаяся печь	2 %	0 %	70 %	0 %	0 %
Неподвижная подовая печь	0 %	0 %	0 %	0 %	67 %
Неподвижная печь	0 %	0 %	16 %	0 %	0 %
Кипящий слой – пузырьковый	2 %	13 %	0 %	90 %	0 %
Кипящий слой – циркулирующий	3 %	8 %	0 %	10 %	0 %
Пиролиз	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %
Газификация	0.5 %	0 %	0 %	0 %	33 %
Примечание: в этой таблице показаны технологии, применяемые на заводах, участвовавших в 2016 году в сборе данных для обзора Справочного документа по НДТ сжигания отходов, классифицированные по основному типу отходов, сжигаемых в 2014 году. Источник: [81, TWG 2016]					

2.3.1 Мусоросжигательные установки с движущейся колосниковой решёткой

Мусоросжигательные установки с движущейся колосниковой решёткой широко применяются для сжигания смешанных коммунальных отходов. В Европе примерно 90% установок по обезвреживанию ТКО используют движущиеся колосниковые решетки. Другие отходы, обычно обрабатываемые в мусоросжигательных установках в дополнение к ТКО, включают неопасные отходы коммерческого сектора и промышленные отходы, осадки сточных вод и некоторые медицинские отходы.

Мусоросжигательные установки с движущейся колосниковой решёткой обычно имеют следующие компоненты:

- устройство подачи отходов;
- колосниковая решетка для сжигания;
- донный золоотвод;
- система воздуховодов для сжигания;
- камера сжигания;

На рисунке 2.3 показан пример мусоросжигательной установки с движущейся колосниковой решёткой с утилизационным паровым котлом.

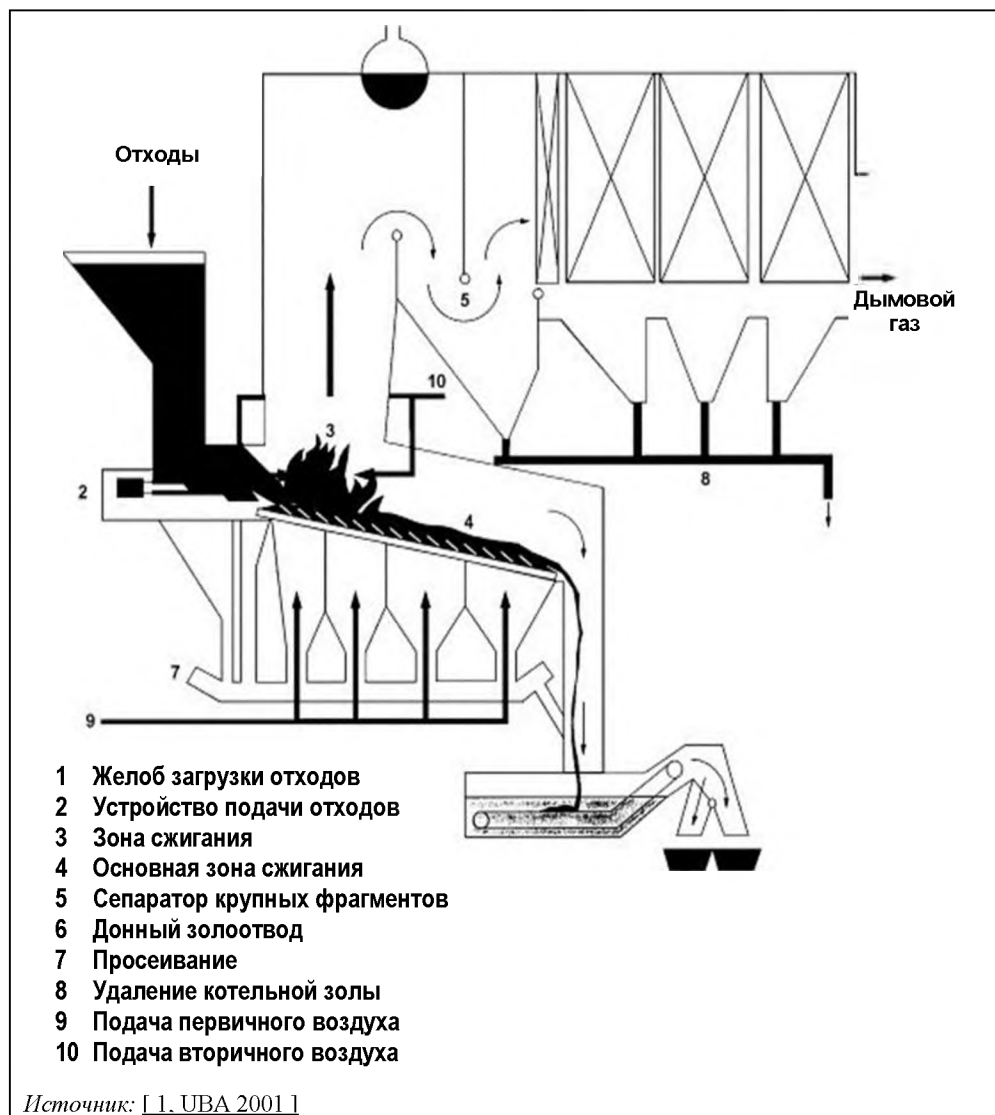


Рисунок 2.3: Стадии обработки на колосниковой решетке, во время сжигания и регенерации тепла на примере завода по сжиганию коммунальных отходов

2.3.1.1 Устройство подачи отходов

Отходы выгружаются из бункера-хранилища в загрузочный желоб мостовым краном, а затем поступают в движущуюся колосниковую решетку с помощью гидравлической рампы или другой транспортной системы. Движущаяся колосниковая решетка перемещает отходы через различные зоны камеры сжигания путем опрокидывания.

Отходы поступают в загрузочную воронку постоянно. Она заполняется партиями при помощи мостового крана. Поскольку на поверхность загрузочной воронки оказывается серьезное воздействие, то выбираются материалы с высоким сопротивлением трению (например, котельное листовое железо или износостойкий чугун). Материал должен выдерживать случайные возгорания в бункере и оставаться неповрежденным.

Иногда отходы могут подаваться в воронку при помощи конвейера. В этом случае мостовой кран выгружает отходы в промежуточный бункер, который подает их в конвейер. [74, TWG 2004]

Если доставленные отходы не прошли предварительную подготовку, то они обычно очень неоднородны как по размеру, так и по составу. Поэтому загрузочная воронка рассчитана таким образом, чтобы крупногабаритный мусор проваливался и избегал образования мостиков и закупорок. Этим закупорок следует избегать, поскольку они могут привести к неравномерной подаче материала и неконтролируемому попаданию воздуха в печь.

Стенки загрузочного желоба могут быть защищены от высокой температуры с помощью:

- водоохлаждаемой конструкции с двойной оболочкой;
- мембранной стеновой конструкции;
- запорного устройства с водяным охлаждением;
- огнеупорной кирпичной кладки.

Если загрузочный желоб пуст, запорное устройство (например, дверные уплотнители) может быть использовано для защиты от обратного захвата и неконтролируемого попадания воздуха в печь. Для обеспечения эффективной работы печи рекомендуется поддерживать равномерное количество отходов в загрузочном желобе.

Соединение между нижним концом загрузочного желоба и печью состоит из дозирующего механизма. Дозирующий механизм может приводиться в действие механически или гидравлически. Скорость подачи при этом, как правило, регулируется. Были разработаны различные методы конструкций для различных типов питающих систем, таких как:

- цепные решетки/пластины;
- питающие решетки;
- переменные желоба с конической подачей;
- выталкивающие питатели;
- гидравлическая рампа;
- винты подачи.

[74, TWG 2004]

2.3.1.1.1 Добавление осадков сточных вод в мусоросжигательную установку

Осадок сточных вод иногда сжигается вместе с другими отходами на мусоросжигательных установках (информацию об использовании кипящего слоя и других технологиях см. в разделе 2.3.3).

Зачастую, при добавлении осадка в установки для сжигания твёрдых коммунальных отходов (УСТКО), значительную долю дополнительных инвестиционных затрат будут представлять технологии подачи.

Используются следующие три технологии подачи:

- Высушенный осадок сточных вод (~90% сухих веществ) выдувается в виде пыли в печь.

- Обезвоженный осадок сточных вод (~20–30% сухих веществ) подается отдельно через разбрызгиватели в камеру сжигания и распределяется на решетке. Осадок соединяется с имеющимся слоем путем перемешивания отходов на решетках. Опыт эксплуатации в течение некоторого времени показал, что с помощью этой технологии можно сжигать до 20 % масс. осадка (при 25% сухого вещества). Другая практика показала, что, если отношение осадка слишком велико (например, >10%), может возникнуть высокое содержание летучей золы или несгоревшего материала в зольном остатке.
- Обезвоженный, высушенный или частично высушенный осадок (~50–60% сухих веществ) добавляется к коммунальным отходам и смесь подается в камеру сжигания. Смешивание может происходить в бункере для отходов посредством дозированного внесения, рассчитываемого оператором крана, или его можно контролировать в загрузочном бункере, закачивая обезвоженный осадок в загрузочный желоб или бункер с помощью распределительных систем.
[74, TWG 2004]

2.3.1.1.2 Добавление медицинских отходов в мусоросжигательную установку

[49, Denmark 2002] Медицинские отходы иногда сжигаются вместе с другими отходами на мусоросжигательных установках. Медицинские отходы сжигаются в той же печи, что и ТКО.

Инфицированные медицинские отходы помещаются прямо в печь, без предварительного смешивания с другими категориями отходов и без непосредственной обработки. Используется отдельная система загрузки с воздушными шлюзами. Воздушный шлюз помогает предотвратить неконтролируемый вход воздуха, поступающего на сгорание, и возможность неконтролируемых выбросов в зону загрузки.

Совместное сжигание медицинских отходов с твердыми коммунальными отходами может осуществляться без отдельной системы загрузки. Например, автоматические системы загрузки могут использоваться для подачи медицинских отходов непосредственно в загрузочный бункер с ТКО.

Государственные нормативы иногда ограничивают объемы медицинских отходов, которые могут быть обезврежены при совместном сжигании (например, во Франции <10% термической загрузки). Дымовые газы из различных отходов затем обрабатываются в общих системах очистки дымовых газов (ОДГ).

На рисунке 2.4 ниже показан порядок этапов для отдельной системы загрузки.

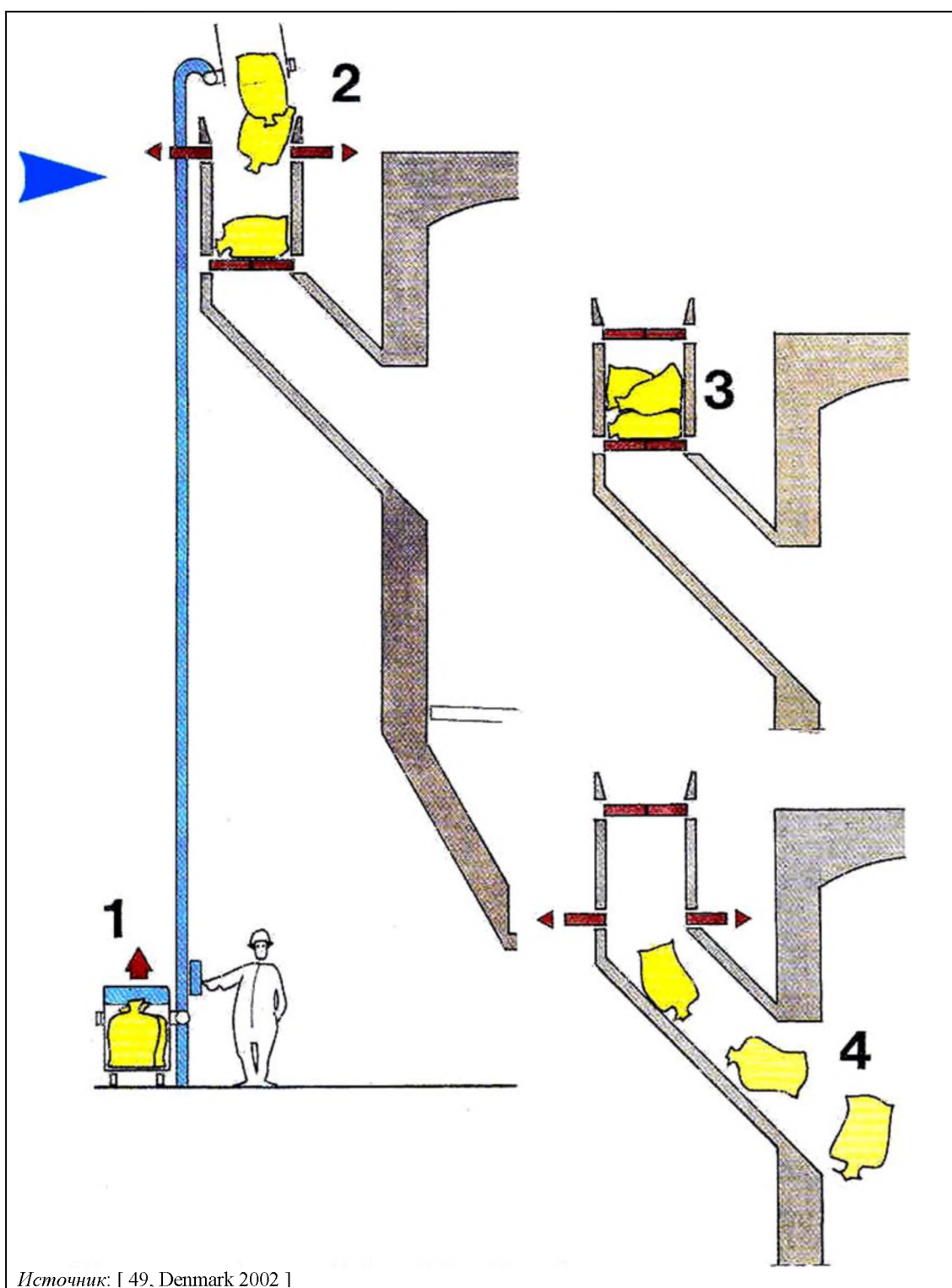


Рисунок 2.4: Примеры этапов системы загрузки медицинских отходов, используемых на мусоросжигательной установке

2.3.1.2 Колосниковая решетка

Колосниковая решетка для сжигания выполняет следующие функции:

- транспортировка материалов для сжигания через печь;
- подача и разрыхление сжигаемых материалов;
- позиционирование основной зоны сжигания в камере сжигания, в сочетании с мероприятиями по контролю производительности печи.

Задачей колосниковой решетки является качественное распределение воздуха для сжигания в печи в соответствии с требованиями к сжиганию. Первичный дутьевой вентилятор направляет воздух для сжигания через небольшие отверстия решетчатого слоя в топливный слой. Воздух обычно дополнительно добавляют над слоем отходов для полного сгорания.

Обычно некоторые мелкие материалы (иногда называемые отсевом) просеиваются через решетку. Этот материал извлекается из золоудалителя или извлекается отдельно. Он может быть повторно использован на решетке для повторного сжигания или удален непосредственно для утилизации. Когда отсеиваются материалы в бункере, следует соблюдать осторожность, чтобы не произошло возгорание бункерных отходов. [74, TWG 2004]

Время нахождения отходов на решетках обычно составляет не более 60 минут. [74, TWG 2004]

В целом, можно различать принципы непрерывного (роликовые и цепные колосниковые решетки) и прерывистого (толкающие колосниковые решетки) механизма подачи. На рисунке 2.5 показаны некоторые типы решеток.

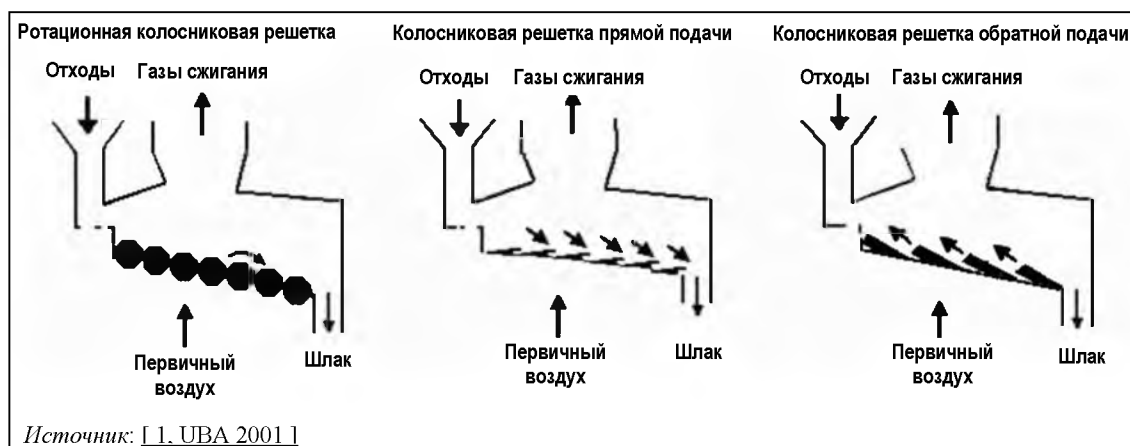


Рисунок 2.5: Различные типы колосниковых решеток

Охлаждение колосниковой решетки осуществляется для контроля температуры металла и, тем самым, увеличения срока службы решетки. Охлаждающей средой может быть воздух или вода (также могут быть использованы другие жидкости, такие как масла или другая теплопроводящая жидкость). Поток жидкой охлаждающей среды идет от более холодных зон к более горячим, чтобы увеличить теплопередачу. Тепло, поглощаемое жидкой охлаждающей средой, может использоваться в процессе сжигания или подаваться на внешний процесс.

Использование колосниковых решеток с воздушным охлаждением в Европе очень распространено: приблизительно 90% сжигаемых ТКО обезвреживают на заводах с использованием решеток с воздушным охлаждением. Воздух подается под решеткой и проходит через промежутки между решетками. Основная функция этого воздуха – обеспечить необходимый для окисления кислород, а скорость потока рассчитывается в соответствии с этим требованием. Одновременно этот воздух охлаждает решетки. Когда вводится избыточное количество воздуха, то обеспечивается дополнительное охлаждение, но выделяется большее количество дымовых газов.

Водяное охлаждение чаще всего применяется там, где теплота сгорания отходов выше, например, >12–15 МДж/кг для ТКО. Конструкция системы с водяным охлаждением является более сложной, чем системы с воздушным охлаждением.

Внедрение системы водяного охлаждения может позволить контролировать температуру металлической решетки и температуру локального сгорания с большей независимостью от первичной подачи воздуха (обычно между колосниковыми решетками). Впоследствии это может позволить оптимизировать температуру и подачу воздуха (кислорода) в соответствии с конкретными требованиями к сжиганию на решетке и, таким образом, улучшить характеристики сгорания. Для контроля реакций, происходящих в слое отходов над решеткой, может быть использована температура жидкости (некоторые являются эндотермическими, некоторые экзотермическими и в разной степени). Затем эти реакции можно контролировать, изменяя количество воздуха, подаваемого через секцию решетки в отходы, находящиеся выше. Такое

разделение функций охлаждения и подачи воздуха повышает контроль над процессом. Более строгий контроль температуры решетки может позволить сжигать отходы с более высокой теплотой сгорания без часто возникающих проблем эксплуатации и обслуживания.

Различные системы колосниковых решеток различаются по способу перемещения отходов через различные зоны в камере сжигания. Каждая из них должна соответствовать требованиям, касающимся подачи первичного воздуха, скорости подачи и разрыхления, а также смешивания отходов. Другие параметры могут включать в себя дополнительные элементы управления или более прочную конструкцию, чтобы противостоять жестким условиям в камере сжигания.

2.3.1.2.1 Качающиеся колосниковые решётки

Решетчатые секции расположены по всей ширине печи. Чередующиеся ряды механически поворачиваются или качаются для создания движения вверх и вперед, продвигая и перемешивая отходы. [4, IAWG 1997]

2.3.1.2.2 Наклонно-переталкивающая колосниковая решётка

Эта конструкция состоит из секций, которые охватывают ширину печи, но расположены друг над другом. Чередующиеся решетчатые секции скользят вперед и назад, а соседние секции остаются неподвижными. Отходы сбрасываются с неподвижной части, переворачиваются и перемешиваются по мере движения вдоль решетки. Существуют многочисленные варианты решеток такого типа, некоторые с чередующимися неподвижными и подвижными секциями, другие с комбинациями нескольких движущихся секций к каждой неподвижной секции. В последнем случае секции могут перемещаться вместе или в разное время цикла.

Существуют две основные разновидности наклонно-переталкивающих колосниковых решёток:

1. Обратная наклонно-переталкивающая колосниковая решётка

Колосниковые решетки раскачиваются назад и вперед в обратном направлении к потоку отходов. Решетка наклонена от конца загрузочного желоба к концу золоотвода и состоит из неподвижных и движущихся ступеней решетки.

2. Колосниковая решетка прямой подачи

Колосниковые решетки образуют серию из множества ступеней, которые раскачиваются горизонтально и толкают отходы в направлении золоотвода.

2.3.1.2.3 Подвижные колосниковые решётки

Этот тип решетки состоит из непрерывного металлического ленточного конвейера или взаимосвязанных звеньев, которые движутся по всей длине печи. Сниженный потенциал перемешивания отходов (они смешиваются только при перемещении с одной ленты на другую) привел к тому, что этот тип редко используется на современных объектах. [4, IAWG 1997]

2.3.1.2.4 Роликовые колосниковые решетки

Эта конструкция состоит из перфорированного ролика, который пересекает ширину области решетки. Несколько роликов установлены последовательно, и в точке, где отходы сбрасываются с роликов, происходит перемешивание. [4, IAWG 1997]

2.3.1.3 Система удаления зольного остатка

Система удаления зольного остатка используется для охлаждения и выгрузки твердого остатка (золы), который накапливается на краю решетки. Она также служит в качестве воздушного уплотнения для печи, предотвращая выбросы дымовых газов и неконтролируемое попадание воздуха в печь.

Заполненные водой конструкции поршневого типа и ленточные конвейеры обычно используются для извлечения зольного остатка, а также любых крупногабаритных объектов.

Вода, используемая для охлаждения, отделяется от зольного остатка на выходе и может рециркулироваться в систему удаления зольного остатка. Для поддержания достаточного уровня воды в системе удаления обычно требуется система подачи воды. Дополнительная подача воды заменяет воду, удаленную с зольным остатком и потерями на испарение. Кроме того, для предотвращения накопления солей может потребоваться слив воды – такие системы отбора помогут снизить содержание соли в остатках, если скорости потока будут специально отрегулированы для этих целей. Колодец для системы удаления зольного остатка, как правило, огнестойкий и сконструирован таким образом, чтобы избежать спекания зольного остатка.

Зольный остаток может быть выгружен в сухом виде с помощью поршневой системы удаления без использования воды. В этом случае воздушное уплотнение печи достигается за счет накопления зольного остатка в секции подачи. Зольный остаток охлаждается воздухом без повышения температуры поверхности устройства выгрузки. [82. Germanv 2014]

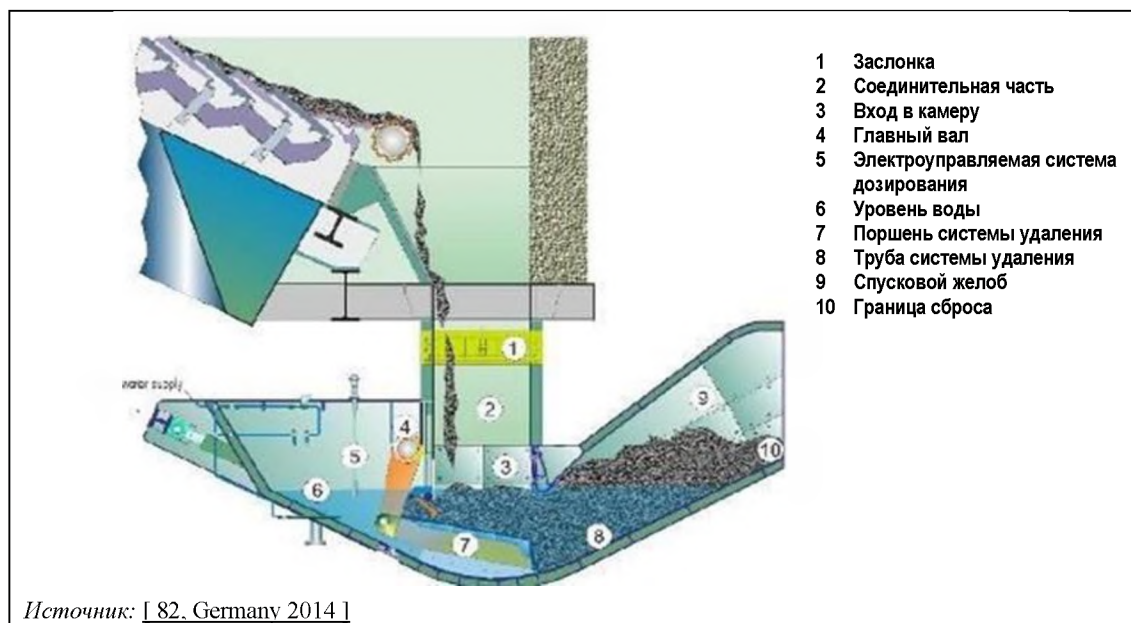


Рисунок 2.6: Пример поршневой системы удаления зольного остатка, используемой на мусоросжигательной установке с колосниковой решёткой

2.3.1.4 Камера сжигания и котел

Камера сжигания (рис. 2.7) обычно состоит из решетки, расположенной внизу, охлажденных и неохлажденных стенок по бокам печи, а также потолочного или поверхностного нагревателя котла в верхней части. Коммунальные отходы, как правило, содержат большое количество высоколетучих веществ, поэтому летучие газы удаляются и сгорают над решеткой, при этом лишь небольшая часть фактического сжигания происходит на решетке или рядом с ней.

На конструкцию камеры сжигания влияют следующие требования:

- форма и размер колосниковой решетки – размер решетки определяет размер поперечного сечения камеры сжигания, перемешивание и однородность потока дымовых газов – полное смешивание дымовых газов необходимо для качественного сжигания дымового газа;
- достаточное время пребывания дымовых газов в горячей печи – достаточное время реакции при высоких температурах, чтобы обеспечить полное сгорание;
- частичное охлаждение дымовых газов путем подачи вторичного воздуха – чтобы избежать расплавления горячей летучей золы в котле, и не допустить превышения верхнего предела температуры дымовых газов на выходе из камеры сжигания.

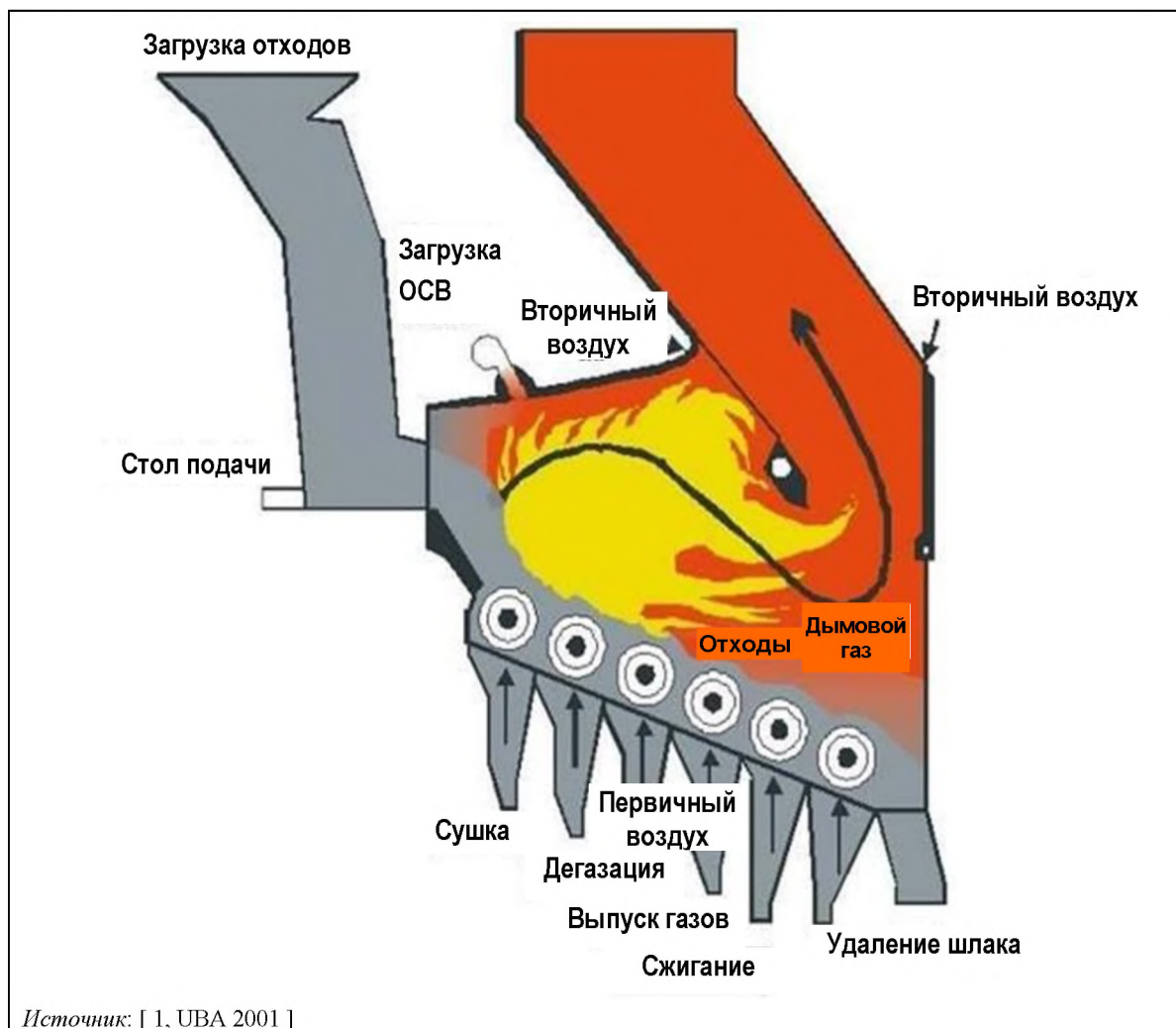


Рисунок 2.7: Пример камеры сжигания

Детальное проектирование камеры сжигания обычно связано с типом решетки. Ее детальная конструкция требует определенных компромиссов, поскольку требования к процессу меняются в зависимости от характеристик топлива.

Несоответствующая конструкция может привести к слабому удержанию горючих газов в зонах горения, недостаточному выгоранию газовой фазы и повышенным выбросам.

В целом, можно выделить три разных типа конструкции. Наименование происходит из направления потока дымовых газов относительно потока отходов: однонаправленный ток; противоток и средний ток (см. рисунок 2.8).

Печь с однонаправленным, прямым или параллельным током

В прямоточном устройстве сгорания первичный воздух для горения и отходы направляются прямоточным потоком через камеру сжигания. Соответственно, выход дымовых газов расположен на краю решетки. Между газообразными продуктами сгорания и отходами на решетке происходит только сравнительно небольшой обмен энергии.

Преимущество принципа работы системы однонаправленного тока заключается в том, что дымовой газ имеет наибольшее время пребывания в зоне горения и проходит через зону максимальной температуры. Для облегчения возгорания первичный воздух предварительно нагревается.

Противоточная печь

В этом случае первичный воздух для горения и отходы направляются в устройстве противотока через камеру сжигания, и выход дымового газа расположен на переднем конце решетки. Горячие

дымовые газы облегчают сушку и возгорание отходов.

Особое внимание следует уделить возможному прохождению несгоревших газовых потоков. Как правило, концепции противотока требуют более высоких добавок вторичного или верхнего воздуха.

Среднетоковая или центробежная печь

Состав твердых коммунальных отходов значительно варьируется, и принцип среднего тока является компромиссом для широкого спектра поступающих объемов. Хорошее смешивание всех потоков дымовых газов должно учитываться с помощью смешивающих контуров, способствующих перемешиванию, и/или подачи вторичного воздуха. В этом случае выход дымовых газов происходит в середине решетки.

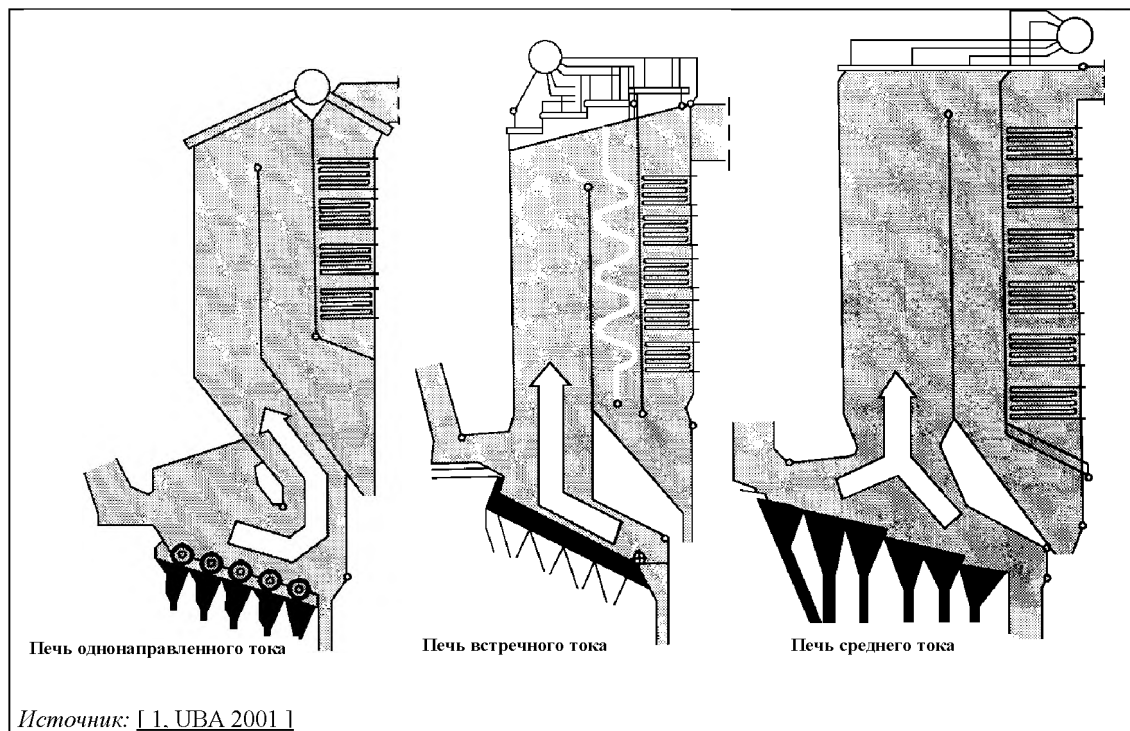


Рисунок 2.8: Различные конструкции печей с разным направлением дымовых газов и потока отходов

В таблице 2.6 сравниваются различные типы конструкций камеры сжигания с точки зрения геометрических характеристик, возможности применения для сжигания различных типов отходов и дополнительных требований, касающихся конкретных требований к подаче воздуха.

Таблица 2.6: Сравнение характеристик различных конструкций камер для сжигания

Тип	Особенности конструкции	Комментарии
Прямоток или параллельный поток	- Выход в камеру сжигания в конце печи - Потоки газа и отходов движутся в одном направлении	- Подходит для отходов с более высокой НТС - Все выделяющиеся газы должны проходить через зону максимальной температуры и иметь длительное время удерживания - Требуется подогрев первичного воздуха в зоне воспламенения
Противоток	- Выход в камеру сжигания в начале печи - Поток газа в направлении, противоположном отходам	- Подходит для отходов с низкой НТС/высоким содержанием влаги/высоким содержанием золы (поскольку горячие газы из зоны испарения проходят над зоной сушки) - Более высокие требования к вторичному воздуху для обеспечения выгорания газа

Тип	Особенности конструкции	Комментарии
Средний ток или центральный поток	Выход в камеру сжигания в середине печи	- Компромисс вышесказанного для широкого спектра отходов - Конфигурация печи/вторичный воздух важны для обеспечения выгорания газа
Раздельный поток	Выход из камеры сжигания в среднем положении, но разделен центральной секцией	- Центральная секция способствует удержанию газов и позволяет вводить вторичный воздух из дополнительных мест - В основном используется для очень больших печей
Источник: [1, UBA 2001], [2, InfoMil 2002], [4, IAWG 1997], [15, Segers 2002]		

Системы разделенного потока в основном применяются для больших печей из-за дополнительного смешивания вторичного воздуха, которое происходит в центральных участках печи. В небольших печах надлежащее перемешивание может быть достигнуто с помощью подачи вторичного воздуха из боковой стенки.

Сбалансированная конструкция камеры сжигания обеспечивает тщательное перемешивание газов, выделяющихся из отходов, и их нахождение при достаточной температуре в камере сжигания, что позволяет полностью завершить процесс сгорания. Этот принцип применим ко всем процессам сжигания.

2.3.1.5 Подача воздуха для сжигания

Воздух для сжигания выполняет следующие задачи:

- подача окислителя;
- охлаждение;
- предотвращение образования шлака в печи;
- смешивание дымовых газов.

Воздух подается в различные участки камеры сжигания. Обычно его называют первичным или вторичным, хотя также используются третичный воздух и рециркулирующие дымовые газы.

Первичный воздух обычно отбирается из бункера для отходов, что поддерживает небольшое отрицательное давление в бункерном отсеке и устраняет большинство запахов и выбросов пыли из бункерной зоны. Первичный воздух выдувается вентиляторами в области под решеткой, где его распределение может тщательно контролироваться с помощью нескольких аэродинамических устройств и распределительных клапанов.

Воздух можно предварительно нагреть, чтобы высушить отходы с низкой теплотой сгорания. Первичный воздух продувается через слой решетки в топливный слой. Он охлаждает решетку и переносит кислород в слой для сжигания.

Вторичный воздух вдувается в камеру сжигания с высокой скоростью, например, через трубки для вдувания или из внутренних конструкций. Это необходимо для обеспечения полного сжигания и отвечает за интенсивное смешивание дымовых газов и предотвращение свободного прохождения несгоревших газовых потоков.

2.3.1.6 Температура сжигания, продолжительность пребывания и содержание кислорода

Мусоросжигательные установки разработаны и используются для обеспечения качественного выгорания газообразных продуктов сгорания путем обеспечения минимальной температуры в течение минимального времени пребывания при минимальном содержании кислорода. Типичными значениями являются минимальная температура от 850°C до 1 100°C (более высокие температуры обычно связаны с некоторыми опасными отходами) в течение не менее 2 секунд при содержании кислорода не менее 6%.

Содержание угарного газа в дымовых газах является ключевым показателем качества сгорания.

2.3.1.7 Вспомогательные горелки

При запуске печи вспомогательные горелки используются для ее нагрева до заданной температуры перед поступлением каких-либо отходов. Во время работы горелки включаются автоматически, если температура падает ниже указанного значения. Во время остановки горелки используются для поддержания температуры печи на необходимом уровне до тех пор, пока в печи больше не останется несгоревших отходов. [74, TWG 2004]

2.3.2 Вращающиеся печи

Вращающиеся печи отличаются прочностью, и в них могут быть сожжены практически любые отходы, независимо от типа и состава. В частности, вращающиеся печи очень широко применяются для сжигания опасных отходов, большинство опасных медицинских отходов сжигается на мусоросжигательных установках с высокотемпературными вращающимися печами. [64, TWG 2003]

Температура рабочего процесса вращающихся печей варьирует от 500°C (для газификатора) до 1 450°C (в высокотемпературной печи для плавления золы). Иногда используются более высокие температуры, но обычно в установках по сжиганию других материалов (не отходов). При использовании для обычного окислительного сжигания температура в печи обычно выше 850°C. Температуры печи в диапазоне 900–1 200°C являются типичными для сжигания опасных отходов.

Как правило, а также в зависимости от типа поступающих отходов, чем выше рабочая температура, тем больше риск загрязнения и повреждения огнеупорной футеровки печи от тепловой нагрузки. В некоторых печах имеется «охлаждающая рубашка» (с использованием воздуха или воды), которая помогает продлить срок службы огнеупоров и, следовательно, время между отключениями на техническое обслуживание.

Водяное охлаждение обычно используется при более высоких температурах в печи. Система водяного охлаждения вращающейся печи состоит из двух контуров охлаждения. Первичный контур водяного охлаждения подает первичную воду для охлаждения поверхности вращающейся печи и распределяет ее равномерно, чтобы обеспечить одинаковый охлаждающий эффект по всему корпусу печи. Затем вода собирается в резервуарах для сбора воды, расположенных под печью, откуда она поступает в водосборный бак. Вода циркулирует обратно через фильтр и теплообменник с циркуляционным насосом. Испарение компенсируется дополнительной подпиточной водой, в которую автоматически добавляется NaOH для предотвращения коррозии.

Вторичный контур отводит тепло от первичного контура через теплообменники и передает его для использования.

Система подает воду для охлаждения через сотни распылительных форсунок, расположенных по всему корпусу печи, поддерживая температуру корпуса на уровне 80–100°C, тогда как для воздушного охлаждения температура стального корпуса обычно на несколько сотен градусов выше. Охлаждение во вращающейся печи снижает теплообмен через огнеупор настолько, чтобы снизить скорость химической эрозии до минимума.

Теплопередача через печь в воду для охлаждения варьируется от 0,5 до 3,0 МВт, в зависимости от размера вращающейся печи и толщины огнеупора. Толщина огнеупора включает в себя кирпичную облицовку и затвердевший слой зольного остатка.

Схематическое изображение установки сжигания с вращающейся печью показано ниже.

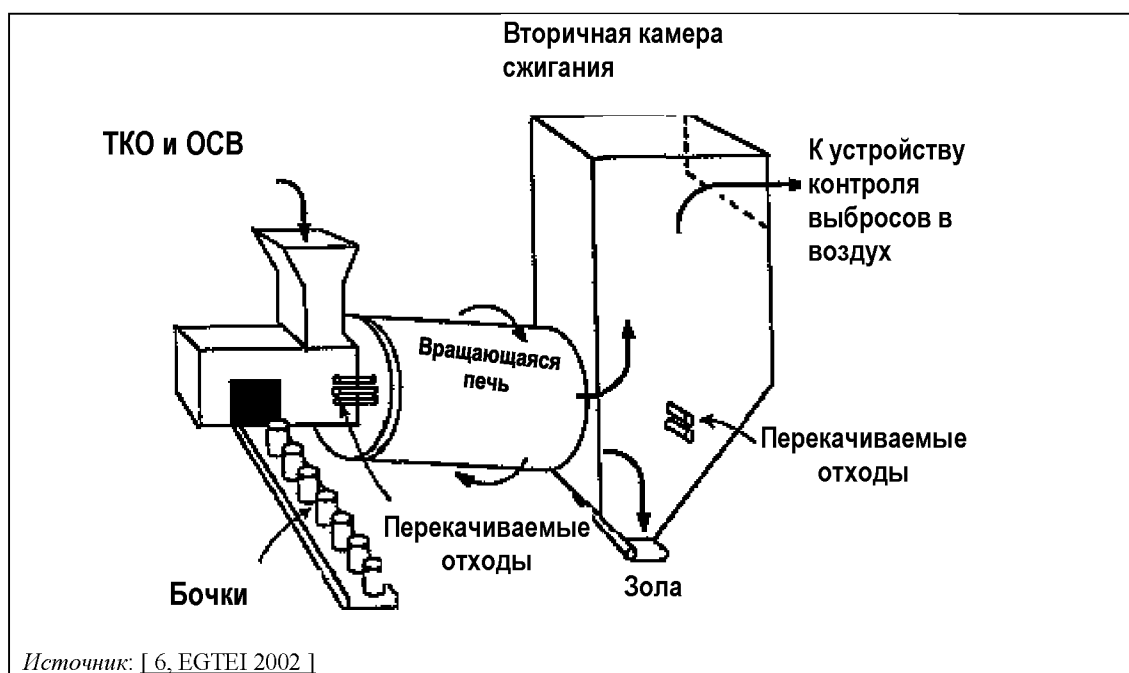


Рисунок 2.9: Схема установки сжигания с вращающейся печью

Вращающаяся печь состоит из цилиндрического бака, слегка наклоненного по горизонтальной оси. Бак обычно установлен на роликах, что позволяет печи вращаться или раскачиваться вокруг своей оси (возвратно-поступательное движение). Отходы транспортируются через печь под действием силы тяжести при вращении. Прямой впрыск используется, в частности, для жидких, газообразных или вязких (перекачиваемых) отходов, особенно там, где они представляют угрозу безопасности и требуют особой осторожности для уменьшения воздействия на оператора установки.

Время пребывания твердого материала в печи определяется горизонтальным углом бака и скоростью вращения: для достижения хорошего выгорания отходов обычно достаточно 30–90 минут.

Во вращающихся печах могут сжигаться твердые, жидкие, газообразные отходы и осадки. Твердые отходы обычно подают через невращающийся бункер; жидкие отходы могут впрыскиваться в печь через форсунки; перекачиваемые отходы и осадки могут вводиться в печь через трубку с водяным охлаждением.

Чтобы снизить выбросы токсичных соединений, обычно используется камера дожигания. Для поддержания температур, требуемых для обеспечения полного разрушения соединений в выхлопных газах, может проводиться дополнительное сжигание с использованием жидких отходов или вспомогательного топлива.

2.3.2.1 Вращающаяся печь с камерой дожигания для сжигания опасных отходов

Для сжигания опасных отходов доказана эффективность сочетания вращающихся печей и камер дожигания, так как это позволяет обезвреживать твердые, вязкие, жидкие и газообразные отходы (см. рис. 2.10).

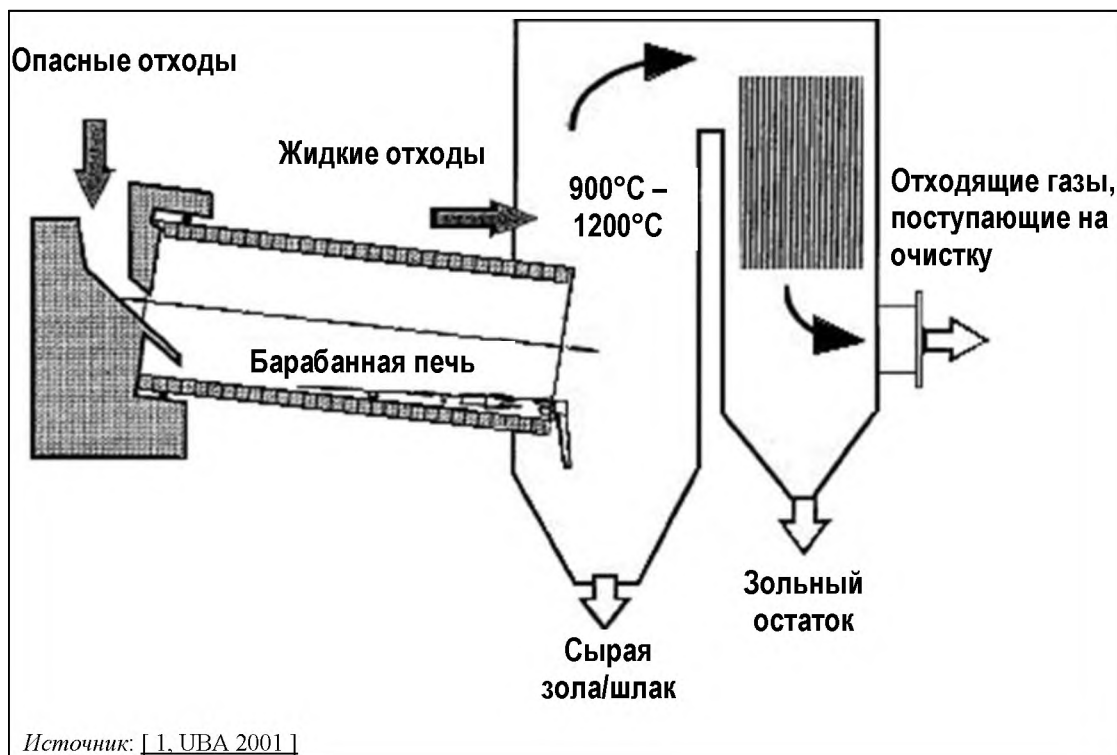


Рисунок 2.10: Вращающаяся (барабанная) печь с камерой дожигания

Как правило для сжигания опасных отходов используются вращающиеся печи длиной от 10 до 15 метров, с отношением длины к диаметру от 3 до 6 и внутренним диаметром от 1 до 5 метров.

Некоторые вращающиеся печи имеют производительность до 140 000 тонн в год. Для печей, где осуществляется регенерация тепла, выработка пара напрямую связана со средней теплотой сгорания отходов. Вращающиеся печи очень универсальны с точки зрения загружаемых отходов, их типичные пределы производительности для следующих типов отходов:

- твердые отходы: 10–70%;
- жидкие отходы: 25–70%;
- вязкие отходы: 5–30%;
- отходы в бочках: до 15%.

Рабочая температура печи обычно составляет от 850 до 1300°C. Температура может поддерживаться путем сжигания отходов с высокой теплотой сгорания (например, жидких), отработанных масел, печного топлива или газа. Печи с более высокой температурой могут быть оснащены системами охлаждения на водной основе. Работа при более высоких температурах может привести к образованию расплавленного (витрифицированного) зольного остатка (шлака), в то время как при более низких температурах зольный остаток спекается.

Для защиты вращающихся печей от воздействия температур вплоть до 1 200°C их облицовывают огнеупорным кирпичом с высоким содержанием Al_2O_3 и SiO_2 . Решение относительно выбора подходящих для облицовки кирпичей зависит от состава отходов. На кирпичи могут воздействовать соединения щелочных металлов (образование легкоплавких эвтектических сплавов), а также соединения фторводорода (образование SiF_4). В целях защиты огнеупорного кирпича от химического и механического воздействия от подаваемых бочек, в начале использования обычно образуется слой затвердевшего шлака путем подачи отходов с хорошими шлакообразующими свойствами или смесей стекла и/или песка. В дальнейшем работа печи регулируется таким образом, чтобы этот слой шлака поддерживался на постоянном уровне, контролируя температуру, содержание минеральных веществ в отходах и иногда используя добавки, такие как песок. [74, TWG 2004]

Были протестированы другие типы поверхностей, но ни впрыскиваемые, ни штампованные огнеупорные массы не оказались эффективными. Обработка вращающихся печей специальной легированной сталью была эффективной лишь в некоторых случаях. Срок службы огнестойкой

поверхности зависит от поступающих отходов. Стандартным считается срок службы от 4 000 до 16 000 часов.

Вращающиеся печи наклонены к камере дожигания. Это, наряду с медленным вращением (примерно 3–40 оборотов в час), облегчает транспортировку твердых опасных отходов, которые подаются в верхний участок, а также образующегося зольного остатка, в направлении камеры дожигания. Затем они удаляются вместе с золой из камеры дожигания через систему удаления зольного остатка водного типа. Время пребывания твердых отходов обычно превышает 30 минут.

Камера дожигания обеспечивает необходимое время для сгорания в ней образующихся дымовых газов, а также для сгорания впрыскиваемых жидких и газообразных отходов. Размер камеры дожигания и газовых потоков определяет фактическое время пребывания. Сокращение времени пребывания может увеличить риск неполного выгорания газа.

Температура в камере дожигания обычно варьирует от 900°C до 1200°C в зависимости от установки и поступающих отходов. Большинство установок имеют возможность впрыскивать вторичный воздух в камеру дожигания. Благодаря высоким температурам и подаче вторичного воздуха отходящие газы полностью сжигаются, что обеспечивает полное разрушение органических соединений (например, низкомолекулярные углеводороды, ПАУ, ПХД и диоксины).

Схема мусоросжигательного завода с вращающейся печью мощностью 45 000 тонн в год показана на рисунке 2.11, он делится на три основных зоны:

- вращающаяся печь с камерой дожигания;
- котел-утилизатор для выработки пара;
- многоступенчатая система очистки дымовых газов.

Кроме того, имеется инфраструктура для хранения отходов и топлива, системы подачи, а также хранения, обработки и удаления отходов и сточных вод (от очистки влажного газа), образующихся при сжигании.

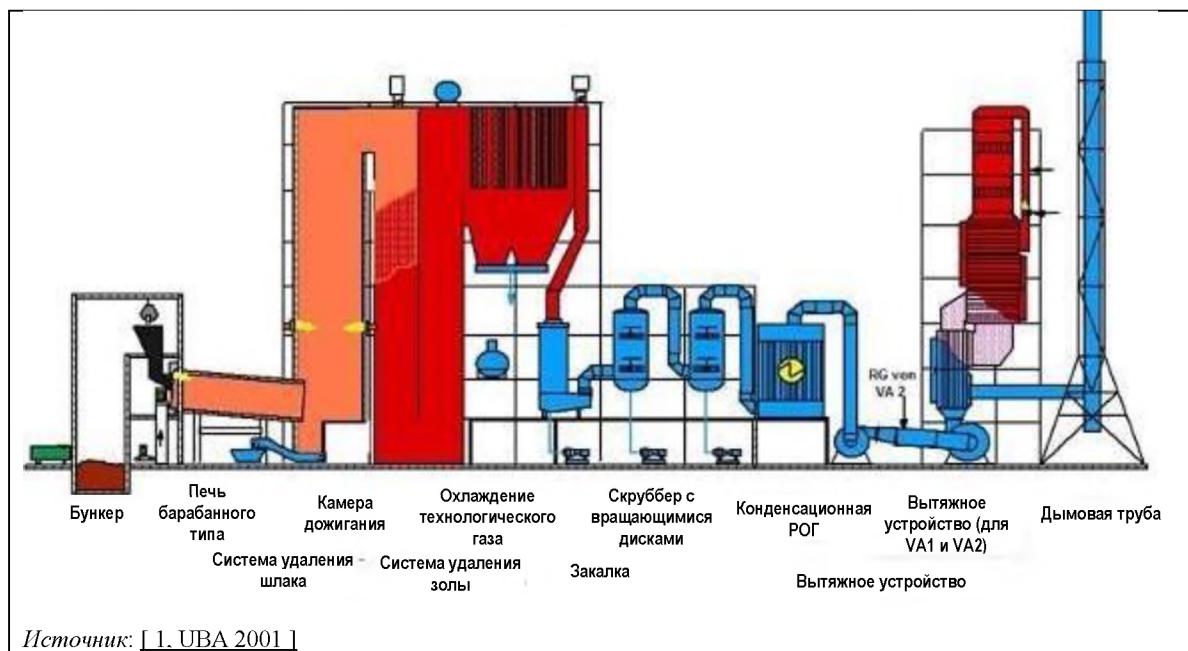


Рисунок 2.11: Пример установки с вращающейся (барабанной) печью для сжигания опасных отходов

2.3.3 Установки с кипящим слоем

Установки с кипящим слоем широко применяются для сжигания тонкоизмельченных отходов типа RDF-топлива или осадков сточных вод. Установки с кипящим слоем уже много десятилетий

применяются для сжигания однородного топлива, такого как уголь, необработанный лигнит (бурый уголь), осадок сточных вод и биомасса.

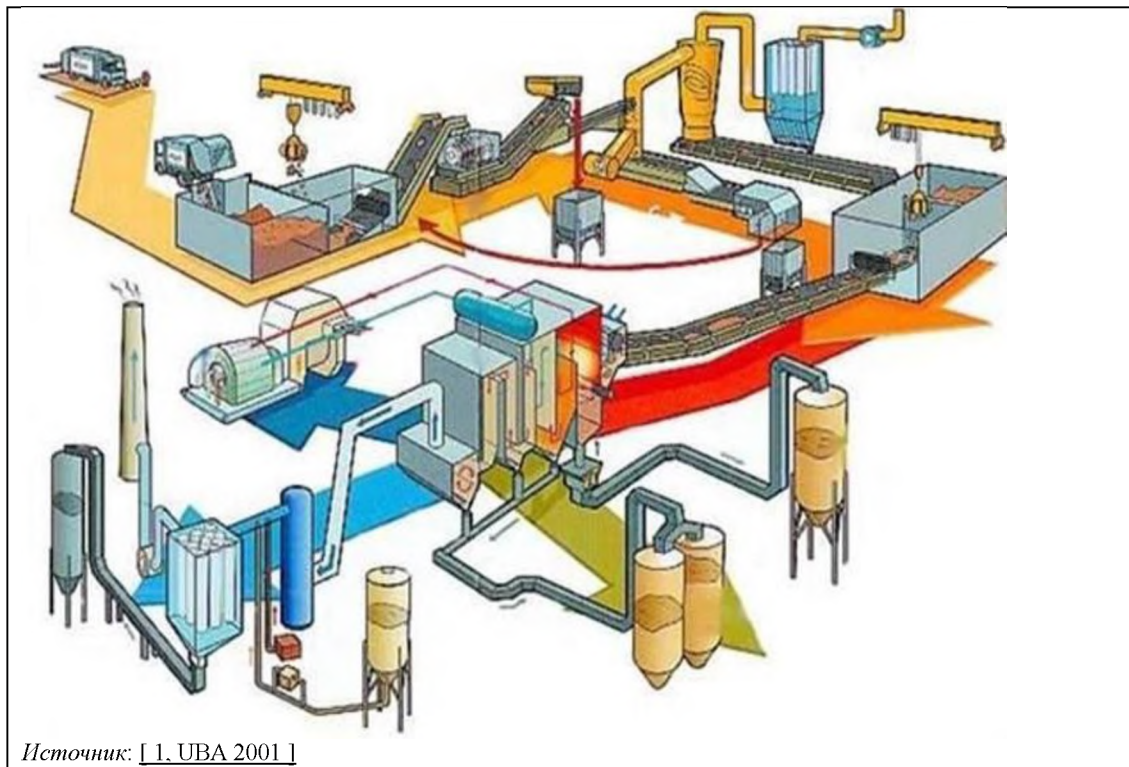
Установка с кипящим слоем представляет собой футерованную камеру сжигания, обычно в форме вертикального цилиндра. В ее нижней части слой из инертного материала (например, песка или золы), помещенного на решетку или распределительную пластину, псевдоожижается предварительно подогретым воздухом. Отходы, подлежащие сжиганию, непрерывно подаются на кипящий слой из песка/золы сверху или сбоку с помощью насосных, секторных, шнековых, пластинчатых питателей или утяжеленной ленты. [66, UllmansEncyclopaedia 2001] [7, TWG 2017]

В кипящем слое отходы подсушиваются с выделением летучих веществ, воспламеняются и сгорают. Температура над кипящим слоем (в свободном пространстве) обычно составляет от 850°C до 950°C. Над кипящим слоем свободное пространство предусматривается для удержания газов в зоне горения. В самом слое температура ниже и обычно составляет 650°C.

Благодаря хорошему перемешиванию в реакторе, системы с кипящим слоем обычно характеризуются однородным распределением температуры и кислорода, что обеспечивает стабильность процесса. Если в установках с кипящим слоем предполагается сжигать неоднородные отходы, необходима их предварительная подготовка для обеспечения соответствия требованиям к их крупности. [64, TWG 2003] [74, TWG 2004]

Предварительная подготовка обычно состоит из сортировки и измельчения более крупных инертных частиц и измельчения. Также может потребоваться удаление черных и цветных металлов. Размер частиц отходов должен быть небольшим, чаще с максимальным диаметром 50 мм. Однако сообщается, что средние приемлемые диаметры для вращающегося кипящего слоя составляют 200–300 мм. [74, TWG 2004]

На схеме ниже показана установка, которая предварительно подготавливает смешанные ТКО для сжигания в установке с кипящим слоем. Показаны несколько этапов предварительной обработки, включая механическое измельчение и пневматическую сортировку, а также заключительные этапы сжигания, очистку дымовых газов и хранение остатков.



Источник: [1, UBA 2001]

Рисунок 2.12: Схема предварительной обработки ТКО до сжигания в кипящем слое

Во время сжигания в кипящем слое накапливаются несгоревшие отходы и образовавшаяся зола. Остаток золы обычно удаляется на дне печи. [1, UBA 2001] [33, Finland 2002]

Тепло, выделяемое при сгорании, может быть рекуперировано устройствами, встроенными в кипящий слой или на выходе газов сгорания, или с помощью сочетания обеих конструкций.

Относительно высокая стоимость процессов предварительной подготовки, необходимых для некоторых отходов, ограничивает коммерческое использование этих систем крупномасштабными проектами. В некоторых случаях данное ограничение удалось преодолеть благодаря разделному сбору некоторых отходов и разработке стандартов качества RDF-топлива. Сочетание подготовки отходов с контролируемым качеством и сжигания в кипящем слое может позволить улучшить управление процессом сгорания и создать возможность для упрощенной и, следовательно, менее дорогой стадии очистки дымовых газов.

В следующей таблице приведены свойства различных отработанных фракций, которые обрабатываются в кипящем слое.

Таблица 2.7. Свойства различных фракций RDF-топлива обрабатываемых в кипящем слое

Характеристика	Единица	Промышленные отходы	Предварительно подготовленные строительные отходы	Сортированные и предварительно подготовленные коммунальные отходы
Чистая теплота сгорания	МДж/кг МВтч/т	16–20 4.4–5.6	14–15 3.8–4.2	13–16 3.6–4.4
Влажность	% масс.	10–20	15–25	25–35
Зола	% масс.	5–7	1–5	5–10
Сера	% масс.	< 0.1	< 0.1	0.1–0.2
Хлор	% масс.	< 0.1–0.2	< 0.1	0.3–1.0
Способности к длительному хранению	% масс.	Хорошая	Хорошая	Хорошая в виде осадка
Источник: [33, Finland 2002]				

Различают следующие конструкции печи с кипящим слоем в зависимости от скорости газа и конструкции соплового сегмента:

- **Стационарный (или пузырьковый) кипящий слой** (атмосферный и находящийся под давлением): инертный материал перемешивается, но фактическое движение твердых частиц вверх незначительно (рисунок 2.13).
- **Вращающийся кипящий слой** является разновидностью стационарного кипящего слоя: кипящий слой вращается, что приводит к увеличению времени пребывания в камере для сжигания. С 1990-х годов установки с вращающимся кипящим слоем используются для смешанных коммунальных отходов.
- **Циркулирующий кипящий слой:** материал слоя рециркулирует с помощью горячего циклона. Более высокие скорости газа в камере сжигания обуславливают частичное удаление топлива и материала слоя, который подается обратно в камеру сжигания через контур рециркуляции (рисунок 2.14).

Для запуска процесса сжигания кипящий слой должен быть нагрет хотя бы до минимальной температуры воспламенения отработанного исходного сырья (или выше, если это предусмотрено законодательством). Это может быть достигнуто путем предварительного нагрева воздуха с помощью масляных или газовых горелок, которые остаются в рабочем состоянии до тех пор, пока сжигание не сможет происходить независимо от них. Отходы попадают в кипящий слой, где они измельчаются при абразивной обработке и сжигании. Обычно большая часть золы транспортируется потоком дымовых газов и требует обработки в системе очистки дымовых газов, хотя фактическое соотношение зольного остатка (удаляемого из основания слоя) и летучей золы зависит от технологии работы кипящего слоя и типа поступающих отходов. [1, UBA 2001]

Проблемы загрязнения, характерные для котлов, используемых при сжигании отходов, могут быть решены путем контроля качества отходов (в основном путем поддержания концентраций хлора, калия, натрия и алюминия на низком уровне), а также с помощью конструирования котла и печи. Из-за более стабильных температур и наличия слоя, печи с кипящим слоем позволяют использовать некоторые конструкции котлов, не применимые к печам с колосниковой решеткой.

2.3.3.1 Установка со стационарным кипящим слоем (СКС) для сжигания осадков сточных вод

Стационарный или пузырьковый кипящий слой обычно используется для сжигания осадков сточных вод и других промышленных осадков, например, осадков нефтехимической и химической промышленности. Реактор стационарного кипящего слоя состоит из камеры сжигания с цилиндрической или прямоугольной футеровкой, соплового слоя и пусковой горелки, расположенной внизу (см. рис. 2.13).

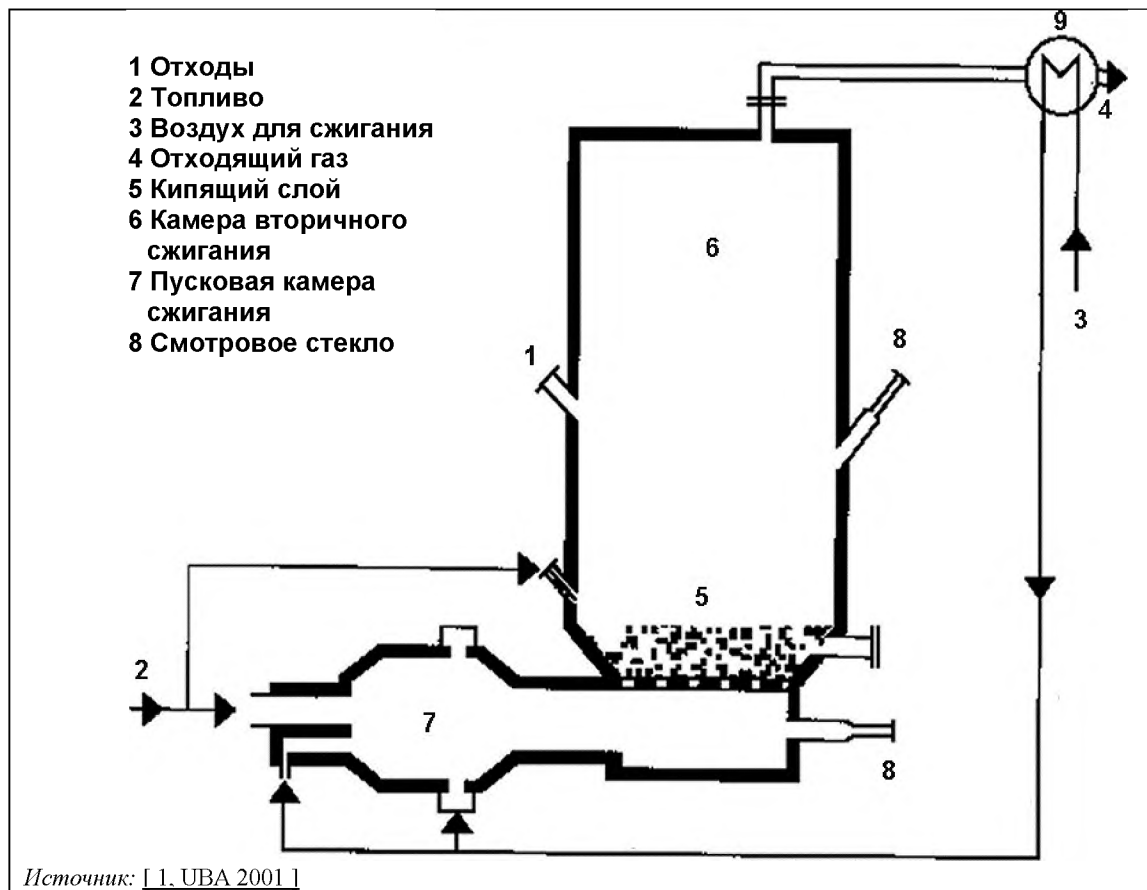


Рисунок 2.13: Основные компоненты стационарного/пузырькового кипящего слоя

Предварительно нагретый воздух проходит через распределительную пластину и псевдоожижает материал слоя. В зависимости от применения могут использоваться различные материалы слоя (кварцевый песок, базальт, муллит и т.д.) и размеры частиц материала слоя (приблизительно 0,5–3 мм).

[2. InfoMil 2002]. [64. TWG 2003]

Отходы могут быть загружены через головное отверстие, по бокам с помощью загрузочных устройств или напрямую подаваться в кипящий слой. В слое отходы измельчаются и смешиваются с материалом кипящего слоя, сушатся и частично сжигаются. Оставшиеся фракции (летучие и мелкие частицы) сжигаются над кипящим слоем надслоевого пространства. Оставшаяся зола удаляется вместе с дымовыми газами в верхней части печи.

Стадии предварительной обработки – обезвоживание и сушку – можно использовать таким образом, чтобы отходы сгорали без необходимости использования дополнительного топлива. Извлеченное тепло от процесса сжигания может использоваться для обеспечения энергии для сушки отходов.

Дополнительное топливо (нефть, газ и/или отработанное топливо) может использоваться при запуске установки или при низком качестве осадка (например, при если ОСВ старый или с большой долей вторичного осадка) для достижения заданной температуры печи (обычно 850°C). Для контроля температуры в печь может подавать вода.

Перед началом подачи отходов печь должна быть предварительно нагрета до рабочей температуры. Для этой цели пусковая камера сжигания (см. рисунок 2.13) может быть расположена ниже слоя форсунки. Это имеет преимущество перед воздушной горелкой, так как можно обеспечить подачу тепла непосредственно в кипящий слой. Топливные трубки, выступающие над слоем сопла в песчаный слой, могут обеспечить дополнительный предварительный нагрев.

Размер печи в значительной степени определяется требуемым испарением (поперечное сечение печи), теплообменом в печи (объем печи) и необходимым количеством воздуха.

Примерные рабочие параметры установки с кипящим слоем для сжигания осадков сточных вод приведены в таблице 2.8.

Таблица 2.8: Основные рабочие параметры для стационарных кипящих слоев

Параметр	Единица	Показатель
Содержание пара	кг/м ² ч	300–600
Количество подаваемого воздуха	Нм ³ /м ² ч	1 000–1 600
Тепловой оборот	ГДж/м ³ ч	3–5
Конечная температура сжигания	°С	850–950
Время пребывания, открытое пространство и камера дожигания	сек	мин. 2
Подогрев атмосферного кислорода	°С	400–600
Источник: [1, UBA 2001]		

Можно миновать необходимость предварительного нагрева воздуха путем использования топлива с высокой теплотой сгорания (например, высушенного осадка сточных вод, древесины, побочных продуктов животного происхождения). Тепло может быть отведено через мембранные стенки и/или погружные системы теплообмена.

Некоторые процессы включают сушку в качестве первого этапа. Пар для сушки может быть получен в котле, а затем использован в качестве теплоносителя без прямого контакта между паром и осадком. Пары осадка могут быть извлечены из сушилки и сжижены. Конденсат обычно имеет высокое химическое потребление кислорода (ХПК) (приблизительно 2000 мг/л) и содержание азота (приблизительно 600–2000 мг/л) и может содержать другие загрязняющие вещества (например, тяжелые металлы) из осадка сточных вод, в связи с чем часто необходима его предварительная очистка перед окончательным отводом. Оставшиеся неконденсаты могут быть сожжены. После сжигания дымовые газы могут быть охлаждены в теплообменнике, используемом для предварительного нагрева воздуха для сжигания до температуры приблизительно 300°С, а в некоторых случаях выше 500°С. Оставшееся тепло в паровом котле может быть рекуперировано и использовано для производства насыщенного пара (уровень давления приблизительно 10 бар), который, в свою очередь, может быть использован для частичной предварительной сушки осадка. [64, TWG 2003]

В дополнение к осадку сточных вод часто сжигают другие отходы процесса очистки сточных вод, например, плавающие нечистоты, осадки с фильтров и решеток и извлеченные жиры.

Заводам, получающим частично высушенный осадок, требуется меньше дополнительного топлива, чем заводам, получающим неподготовленный осадок. Теплота сгорания осадка для автотермического сжигания находится между 3,5 МДж/кг и 6,5 МДж/кг. При очистке неочищенных сточных вод со значениями между 2,2 МДж/кг и 4,8 МДж/кг образуется шлам. Приблизительно 3,5 МДж/кг осадка считается пределом для автотермического сжигания. Потребность в дополнительном топливе может быть уменьшена путем использования эффективных внутренних систем регенерации энергии, например, регенерация тепла из дымовых газов для нагрева воздуха для сжигания и/или использование тепла для сушки осадка.

Печное топливо и природный газ являются наиболее часто используемым дополнительным топливом в установках для сжигания осадка сточных вод. Также используются отобранные жидкие и твердые отходы, а также биогаз, если поблизости есть установки анаэробного сбраживания.

2.3.3.2 Циркулирующий кипящий слой (ЦКС) для сжигания осадка сточных вод

Циркулирующий кипящий слой (ЦКС, см. рис. 2.14 ниже) главным образом подходит для сжигания высушенного осадка сточных вод с высокой теплотой сгорания и предварительно обработанных твердых коммунальных отходов. Он отличается наличием тонкого кипящего слоя и высокими скоростями прохождения газов, которые удаляют большинство твердых частиц из камеры с кипящим слоем вместе с дымовыми газами. Затем частицы отделяются в последующем циклоне и возвращаются в камеру для сжигания.

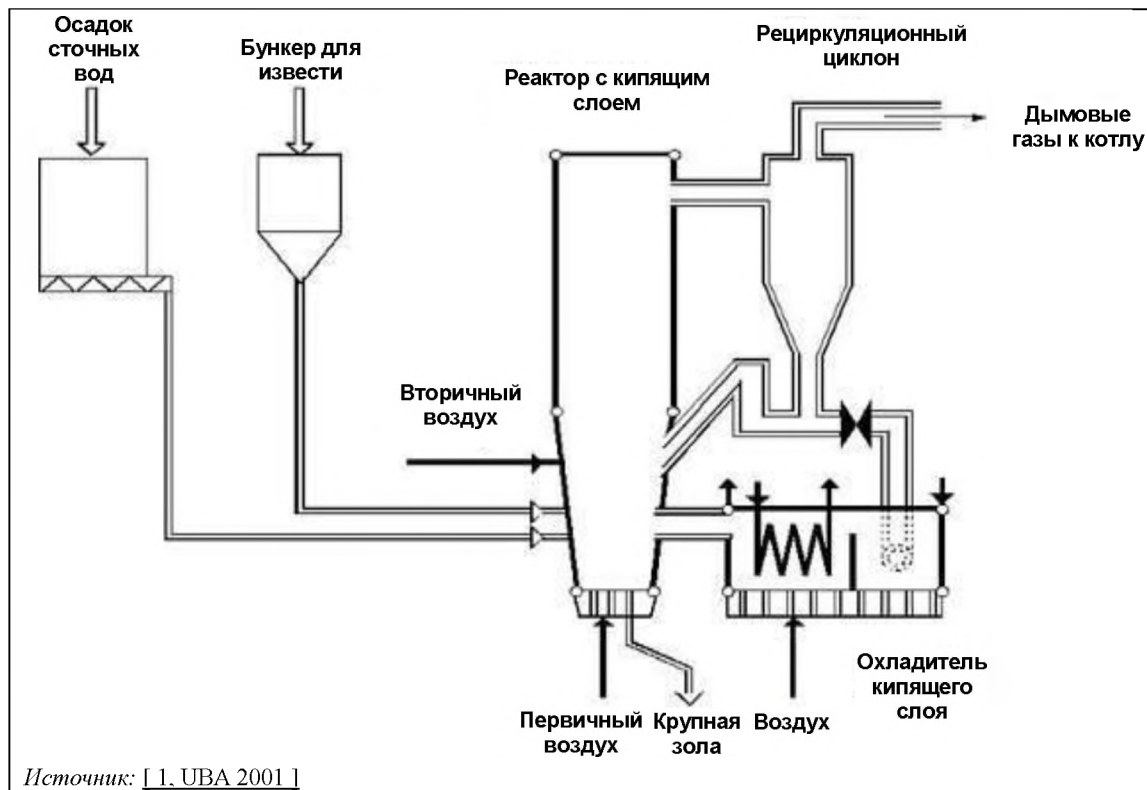


Рисунок 2.14: Основные компоненты циркулирующего кипящего слоя

Преимущество этого процесса состоит в том, что высокая теплоотдача и более равномерная температура во всем корпусе реактора могут быть достигнуты при небольшом объеме реакции. Зачастую заводы с ЦКС крупнее, чем заводы со СКС, и на них может быть обработан более широкий спектр отходов. Отходы закачиваются сбоку в камеру сжигания и сжигаются при 850–950°C. Избыточное тепло отводится через стенки мембраны и через теплообменники, расположенные между циклонами и циркулирующим кипящим слоем, которые охлаждают возвращаемую золу для контроля за системами отвода тепла.

2.3.3.3 Механическая топка с забрасывателями

Эту систему можно считать промежуточной системой между сжиганием на решетке и в кипящем слое.

Отходы (например, RDF-топливо, осадок) пневматически вдувают в печь на высоте нескольких метров. Мелкие частицы принимают непосредственное участие в процессе сжигания, в то время как более крупные частицы падают на подвижную решетку, которая движется в направлении, противоположном вводу отходов. Поскольку самые большие частицы занимают наибольшую площадь, они проводят на решетке больше времени, чтобы завершить процесс сжигания. Вторичный воздух подается, чтобы обеспечить необходимое смешение дымовых газов в зоне сжигания.

По сравнению со сжиганием на колосниковой решетке конструкция решетки менее сложна из-за относительно меньшей термической и механической нагрузки. В сравнении с системами с кипящим

слоем однородность размера частиц играет меньшую роль, а риск засорения ниже. [64, TWG 2003]

2.3.3.4 Вращающийся кипящий слой

Эта система представляет собой доработанный вариант стационарного кипящего слоя. Отличительными особенностями такой системы являются: наклонные пластины сопел, широкие желоба для извлечения золы и увеличенные шнеки подачи и извлечения. Регулирование температуры в камере сжигания с огнеупорной обкладкой (слое и надслоевом пространстве) осуществляется путем рециркуляции дымовых газов. Это позволяет сжигать топливо с широким диапазоном теплоты сгорания, например, совместно сжигать осадки и предварительно подготовленные отходов. [74, TWG 2004]

2.3.4 Системы пиролиза и газификации

2.3.4.1 Введение в газификацию и пиролиз

[9, VDI 2002] Альтернативные технологии термической обработки отходов были применены к отдельным потокам отходов и в гораздо меньших масштабах, чем обычное термическое обезвреживание с помощью сжигания.

Эти технологии стремятся разделить компоненты реакций, которые происходят в обычных установках для сжигания отходов, путем регулирования температуры и давления в специально разработанных камерах (см. таблицу 2.9).

Таблица 2.9. Типичные условия реакции и продукты процессов сгорания, пиролиза и газификации

	Сгорание	Пиролиз	Газификация
Температура реакции (°C)	800–1450	250–700	500–1 600
Давление (бар)	1	1	1–45
Атмосфера	Воздух	Инертный/азот	Газификационный агент: O ₂ , H ₂ O
Стехиометрическое соотношение	> 1	0	< 1
Продукты процесса			
• Газовая фаза:	CO ₂ , H ₂ O, O ₂ , N ₂	H ₂ , CO, углеводороды, H ₂ O, N ₂	H ₂ , CO, CO ₂ , CH ₄ , H ₂ O, N ₂
• Твердая фаза:	Зола, шлак	Зола, кокс	Шлак, зола
• Жидкая фаза:		Пиролиз нефти и воды	
Источник: на основе [9, VDI 2002]			

Наряду со специально разработанными технологиями пиролиза/газификации обычные технологии сжигания (например, решетки, кипящие слои, вращающиеся печи и т.д.) могут быть адаптированы для работы в условиях пиролиза или газификации, то есть с пониженным уровнем кислорода (ниже стехиометрического), или при более низких температурах. Часто системы пиролиза и газификации совмещены с последующим сжиганием полученного синтез-газа (см. раздел 2.3.4.4, посвященный комбинированным процессам).

Помимо общих целей сжигания отходов (то есть эффективного обезвреживания отходов), дополнительными целями процессов газификации и пиролиза являются:

- преобразование определенных фракций отходов в технологический газ (называемый синтез-газом);
- снижение требований к очистке газа за счет уменьшения объемов дымовых газов.

И пиролиз, и газификация отличаются от сжигания тем, что они могут быть использованы для восстановления химической ценности отходов (а не их энергетической ценности). Полученные химические продукты могут в некоторых случаях использоваться в качестве сырья для других процессов. Однако применительно к отходам процессы пиролиза, газификации и сжигания чаще всего объединяются, зачастую на одной площадке, как часть совмещенного процесса. В этом случае установка рекуперирует энергетическую ценность отходов как обычная мусоросжигательная установка.

В некоторых случаях твердые остатки, образующиеся в результате таких процессов, содержат загрязняющие вещества, которые в системе сжигания будут переноситься в газовую фазу, а затем, при эффективной очистке дымовых газов, удаляться вместе с остатком очистки дымовых газов. [64, TWG 2003]

2.3.4.2 Газификация

Газификация – это частичное сжигание органических веществ с образованием газов, которые можно использовать в качестве сырья (через некоторые процессы преобразования) или в качестве топлива. [64, TWG 2003]

Существует несколько доступных или разрабатываемых различных процессов газификации, которые, в целом, подходят для обработки коммунальных отходов, некоторых опасных отходов и высушенного осадка сточных вод. [1, UBA 2001]

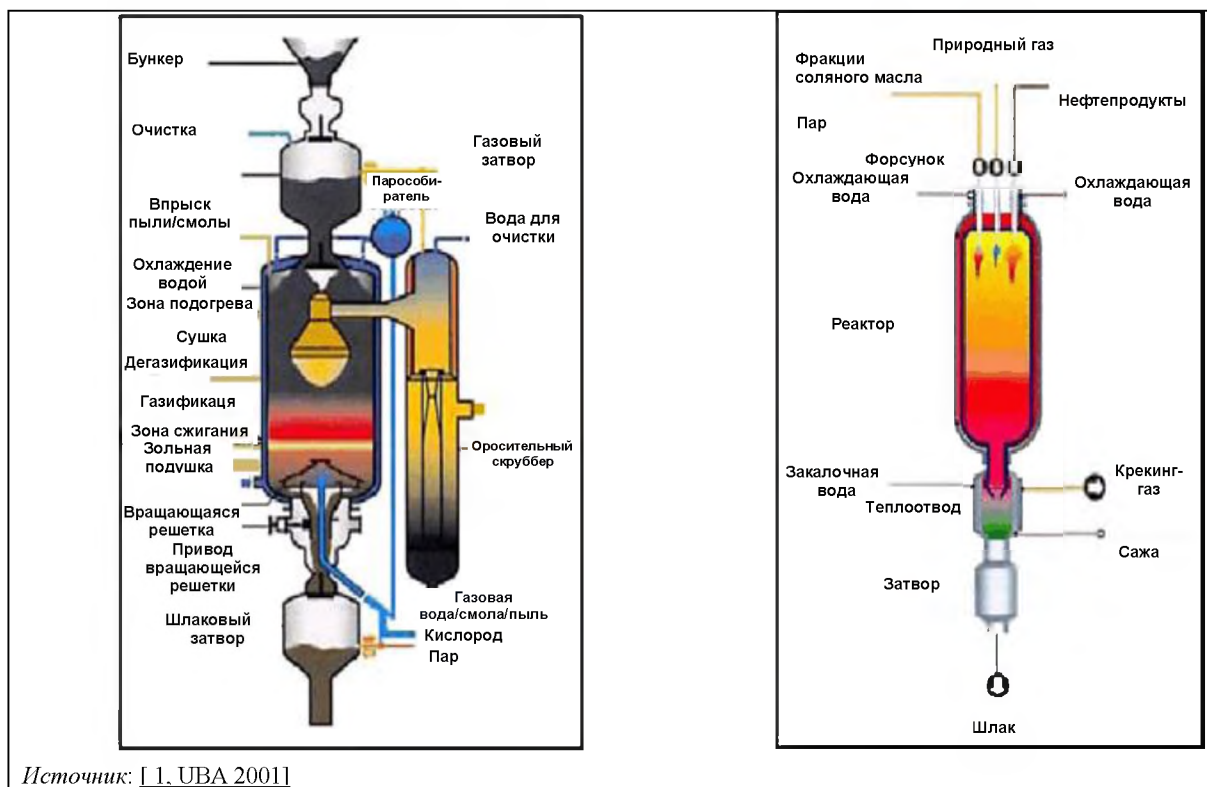
Важно, чтобы характеристики отходов находились в определенных, предварительно установленных количествах. Это часто требует специальной предварительной подготовки коммунальных отходов.

Особенностями процесса газификации являются:

- меньший объем газа по сравнению с объемом дымовых газов при сжигании (до 10 раз при использовании чистого кислорода);
- преобладающее образование CO, а не CO₂;
- высокое рабочее давление (в некоторых процессах);
- накопление твердых остатков в виде шлака (в высокотемпературных шлакообразующих газификаторах);
- небольшие и компактные агрегаты (особенно при газификации под давлением);
- использование синтез-газа для энергетических и производственных нужд;
- в результате очистки синтез-газа образуется меньшее количество сточных вод.

Используются следующие газогенераторы:

- газогенератор с кипящим слоем;
- проточный газогенератор;
- циклонный газогенератор;
- газогенератор с уплотненным слоем.



Источник: [1, UBA 2001]

Рисунок 2.15: Схема газогенератора с уплотненным слоем и проточного газогенератора

Для обезвреживания в поточных, циклонных газогенераторах или газогенераторах с кипящим слоем подаваемый материал должен быть мелко измельчен. Поэтому необходимо проведение предварительной подготовки, особенно для коммунальных отходов. Опасные отходы, с другой стороны, если они жидкие, вязкие или мелко измельченные, могут быть газифицированы без предварительной обработки.

2.3.4.3 Пиролиз

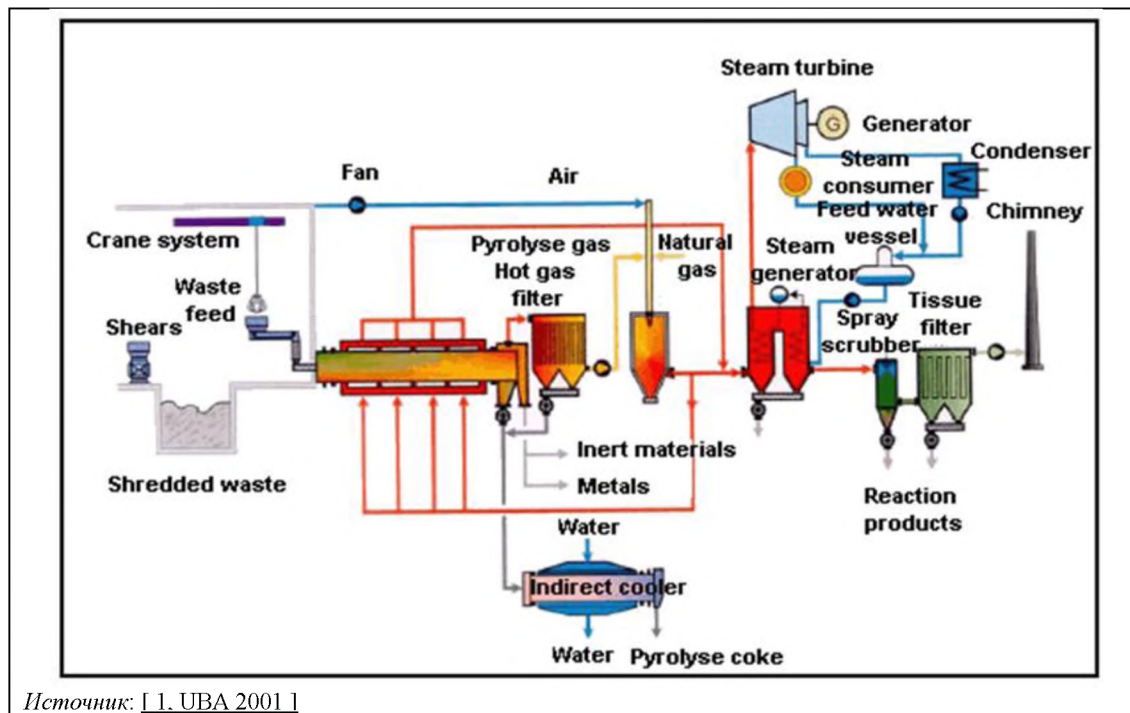
[1, UBA 2001] Пиролиз – это дегазация отходов в отсутствие кислорода, при которой образуются горючий пиролизный газ (пирогаз) и твердый кокс. Тепловая мощность пиролизного газа обычно составляет от 5 МДж/м³ до 15 МДж/м³ из коммунальных отходов и от 15 МДж/м³ до 30 МДж/м³ из RDF-топлива. В более широком смысле «пиролиз» – это общий термин, включающий ряд различных технологических комбинаций, которые, как правило, представляют собой следующие технологические этапы:

- **Процесс тления:** образование газа из летучих отходов при температуре от 400°C до 600°C.
- **Пиролиз:** термическое разложение органических молекул отходов при температуре от 500°C до 800°C, в результате чего образуется газ и твердая фракция.
- **Газификация:** преобразование части углерода, остающейся в пиролизном коксе, при температуре от 800°C до 1000°C с помощью газифицирующего вещества (например, воздуха или пара) в технологическом газе (CO, H₂).
- **Сжигание:** в зависимости от сочетания технологий газ и пиролизный кокс сжигаются в камере сжигания.

Технологическая цепь пиролизического способа переработки отходов обычно включает в себя следующие основные стадии:

1. Подготовка и измельчение: измельчитель усредняет качественные характеристики поступающих отходов и, таким образом, способствует лучшему теплообмену.
2. Сушка (зависит от процесса): отдельная стадия сушки улучшает НТС неочищенных технологических газов и повышает эффективность реакций между газом и твердым веществом во вращающейся печи.
3. Пиролиз отходов: процесс, в котором помимо пиролизного газа накапливается твердый

- углеродсодержащий остаток, который также содержит минеральные и металлические частицы.
4. Вторичная обработка пиролизного газа и пиролизного кокса путем конденсации газов для извлечения энергетически полезных нефтяных смесей и/или сжигания газа и кокса для разрушения органических компонентов и одновременного использования энергии.



Crane system – крановая система
Waste feed – питатель отходов
Shears – ножницы
Shredded waste – измельченный отходы
Fan – вытяжка
Air – воздух
Pyrolyse gas – пиролизный газ
Hot gas filter – фильтр для очистки горячих газов
Natural gas – природный газ
Inert materials – инертный материал
Metals – металлы
Water – вода

Indirect cooler – не прямой охладитель
Water - вода
Pyrolyse coke – пиролизный кокс
Steam turbine – паровая турбина
Generator – генератор
Condenser – конденсатор
Steam consumer – потребитель пара
Feed water vessel – бак с питательной водой
Chimney – дымовая труба
Steam generator – генератор пара
Spray scrubber – оросительный скруббер
Tissue filter – тканевый фильтр
Reaction products – продукты реакции

Рисунок 2.16: Пиролизная установка для переработки коммунальных отходов

Обычно температура на стадии пиролиза составляет от 400 до 700°C. При более низких температурах (приблизительно 250°C) могут возникать побочные реакции. Этот процесс иногда называют преобразованием (например, преобразование осадка сточных вод).

В дополнение к термической обработке некоторых коммунальных отходов и осадков сточных вод, процессы пиролиза также используются для:

- удаления загрязнений из почвы;
- обезвреживания синтетических отходов и использованных шин;
- обезвреживания остатков проводных кабелей, а также материалов из металла и пластика для восстановления вещества (получения ВМР).

Потенциальные преимущества процессов пиролиза могут включать:

- возможность восстановления материальной ценности органической фракции, например, в виде метанола;
- возможность увеличения выработки электроэнергии с использованием газовых двигателей или газовых турбин (вместо паровых котлов);

- уменьшение объемов дымовых газов после сжигания, что может в некоторой степени снизить капитальные затраты на очистку дымовых газов;
- возможность соответствия требованиям внешнего использования произведенного полуккокса путем промывки (например, содержание хлора).

[64, TWG 2003] [74, TWG 2004]

2.3.4.3.1 Пример процесса пиролиза

[2, InfoMil 2002]

По приведенному примеру обрабатываются твердые промышленные осадки и измельченные отходы лакокрасочных материалов/химической упаковки.

Пиролизная установка объединена с установкой термической обработки загрязненной почвы, в которой в качестве топлива используется синтез-газ из установки пиролиза. Пиролизная установка состоит из двух параллельных реакторов. Оба оснащены шнековыми загрузочными устройствами, которые транспортируют исходный материал через реакторы. К сырьевым материалам относятся осадок и отложения других очистных сооружений, а также лакокрасочные отходы. Среднее содержание органического материала варьируется от 25% до 85%, а среднее содержание воды составляет приблизительно 25%.

При запуске реакторы нагревают природным газом примерно до 500°C. Затем начинается подача отходов и использование природного газа прекращается. Количество воздуха поддерживается ниже стехиометрического уровня потребности, что приводит к процессу газификации. Температура газификации составляет примерно 900–1200°C. Производительность каждого реактора составляет примерно 4 тонны/час.

Синтез-газ охлаждают в охлаждающем конденсаторе. Оставшийся синтез-газ (НТС приблизительно 7 МДж/Нм³) используется в качестве топлива в другой установке для термической обработки загрязненной почвы. Сжигание и очистка дымовых газов осуществляются в соответствии с нормами Нидерландов по выбросам. Конденсированная вода охлаждения очищается в отстойнике для отделения углерода, а затем используется для увлажнения остаточных отходов реактора.

Остаточные отходы реактора (с температурой приблизительно 500°C) проходят систему магнитного разделения для удаления железа из отходов краски и упаковки. Оставшуюся фракцию охлаждают и увлажняют конденсированной водой для захоронения на полигоне.

Общая схема процесса, включая основные массовые потоки, приведена на рисунке ниже.

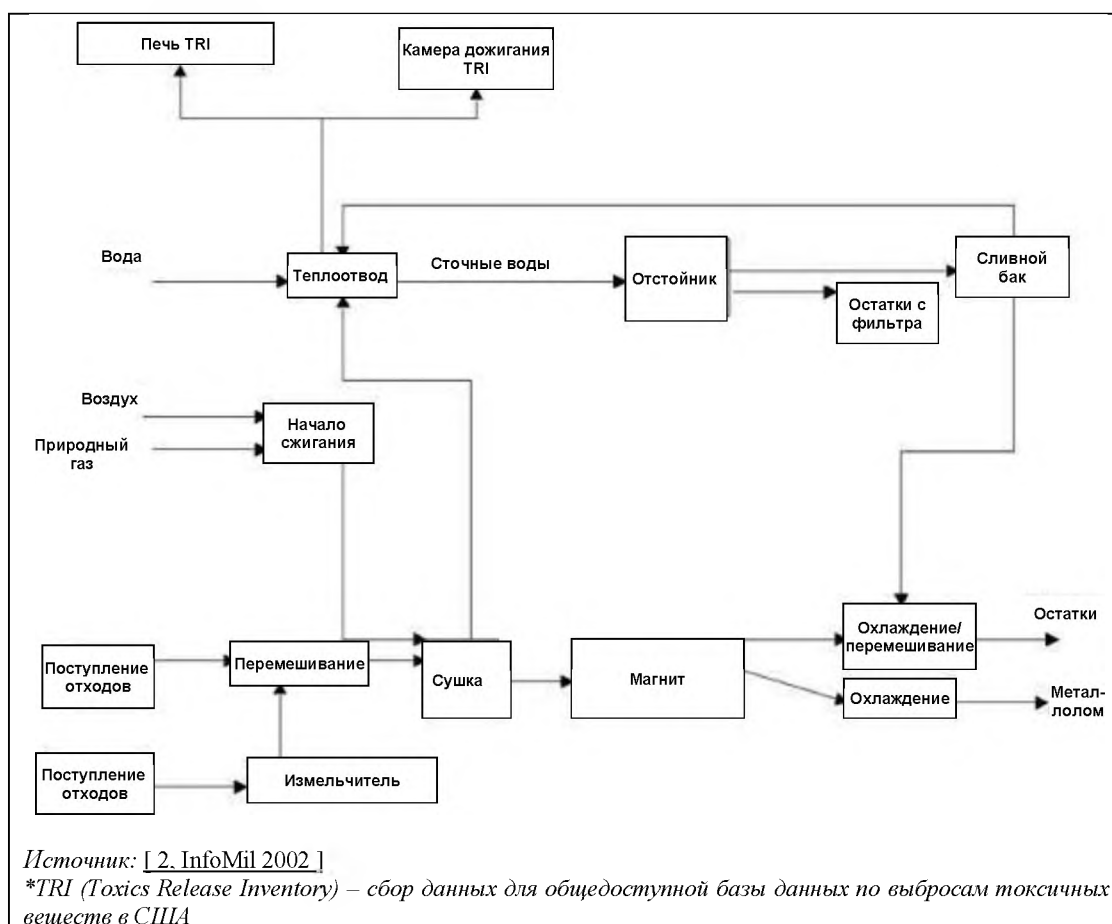


Рисунок 2.17: Технологическая схема автоматической пиролизной установки

Основным преимуществом этой пиролизной установки является то, что избыток НТС, присутствующий при обезвреживании осадка, отстоя и лакокрасочных отходов, может использоваться непосредственно в установке термического обезвреживания загрязненной почвы. Следовательно, эффективность использования энергии, по крайней мере, сопоставима с эффективностью сжигания отходов. Кроме того, фракция железного лома (15%) удаляется для повторного использования, тогда как объем обработанных отходов уменьшается примерно на 50%. Остальные остатки могут быть частично обработаны на автоматических устройствах. Накладные расходы снижаются за счет того, что в ней используются мусоросжигательная печь и очистка сильно загрязненной почвы от дымовых газов и очистные сооружения.

2.3.4.4 Комбинированные процессы

Этот термин используется для процессов, состоящих из комбинации различных термических процессов (пиролиз, газификация, сжигание).

2.3.4.4.1 Пиролизное сжигание

[1. UBA 2001]

В настоящее время следующие технологии находятся на разных стадиях разработки:

1. Пиролиз во вращающейся печи с последующим высокотемпературным сжиганием пиролизного газа и пиролизного кокса. В Германии полный ввод в эксплуатацию завода такого типа не был завершен.
2. Пиролиз во вращающейся печи с последующей конденсацией газообразных гудронов и масел и последующим высокотемпературным сжиганием пиролизного газа, пиролизной нефти и пиролизного кокса.
3. Пиролиз на решетке с непосредственным высокотемпературным сжиганием.

Твердые остатки от этих процессов представляют собой гранулы, что может быть преимуществом для последующей повторной утилизации или удаления. Осадок сточных вод (обезвоженный или высушенный) может быть обезврежен вместе с фракциями коммунальных отходов.

Технологический процесс 2 (выше) в принципе похож на Процесс 1, но отличается в двух основных аспектах:

- пиролизные газы охлаждаются на выходе из вращающейся печи для осаждения масла, пыли и воды;
- охлаждение пиролизных газов сопровождается окислительной высокотемпературной обработкой в специальной агрегатной печи, где продукты пиролиза, смесь масло-вода-пыль, пиролизный кокс и пиролизный газ сжигаются, а твердые остатки превращаются в жидкий расплав.

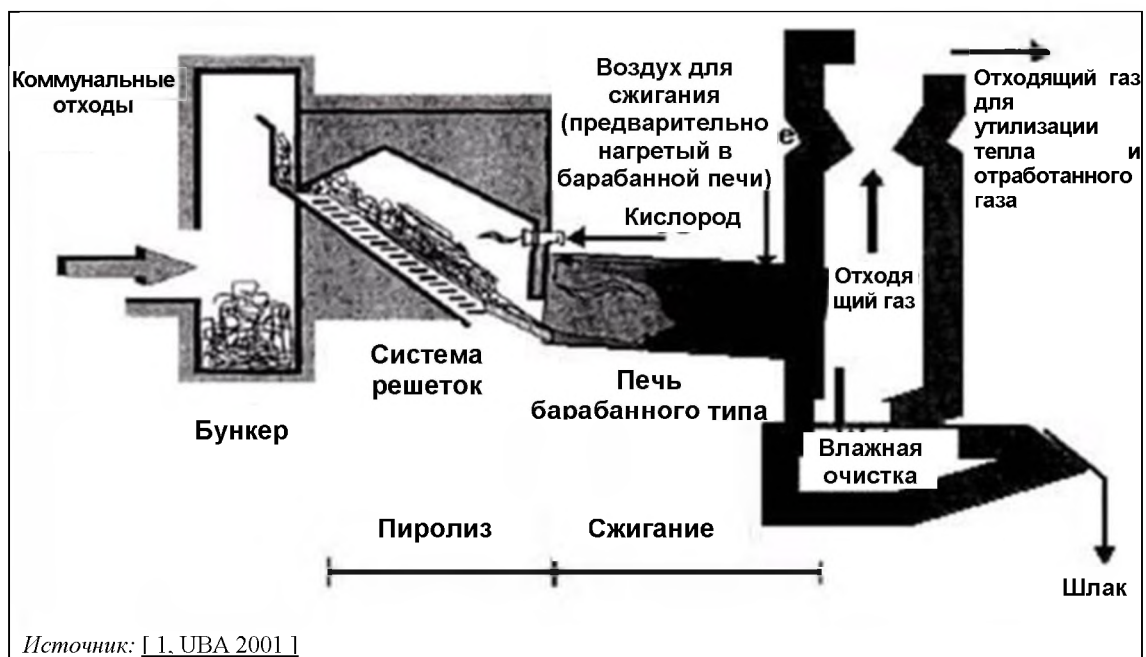


Рисунок 2.18: Пиролиз на решетке с непосредственным высокотемпературным сжиганием

Пиролиз на решетке с непосредственным высокотемпературным сжиганием (см. рис. 2.18) был разработан на основе обычного сжигания на решетке, но с целью получения расплава. Отходы сначала подвергаются пиролизу на решетке прямым нагревом. Это тепло возникает от частичного сгорания пиролизных газов с чистым кислородом. На втором этапе продукты, пиролизный газ, кокс и инертные вещества сжигаются или расплавляются, соответственно, при высоких температурах в непосредственно соединенной вращающейся печи. Накапливающийся остаток расплава содержит стекло, камни, металлы и другие инертные материалы и отличается от соответствующего продукта, образующегося в результате технологического процесса 1 выше.

Технологии очистки дымовых газов, применяемые для трех названных выше комбинированных процессов пиролиза, в принципе не отличаются от систем, используемых на мусоросжигательных заводах. Накапливаются аналогичные отходы и продукты реакции. Их тип и состав в основном зависят от выбранной системы очистки дымовых газов. Однако, в отличие от сжигания коммунальных отходов, пыль с фильтров может быть направлена в плавильную камеру.

Пример установки для пиролизного сжигания медицинских отходов в Нидерландах

[2, InfoMil 2002]

Неспецифические медицинские отходы регулярно собираются в больницах и других медицинских учреждениях, включая отходы, поступающие от врачебных, стоматологических и ветеринарных учреждений. Отходы собираются в специальные 30- или 60-литровые емкости, которые использовались в учреждениях и которые не нужно открывать снова. Затем отходы сжигаются, включая сами мусорные контейнеры, которые выполняют роль вспомогательного топлива.

Немедицинские отходы от больниц и учреждений здравоохранения собираются и обрабатываются как обычные коммунальные отходы.

Собранные отходы хранятся в закрытых транспортных контейнерах. Емкости собираются и транспортируются полуавтоматически в установку для сжигания, которая находится в закрытом здании. Воздух на установку подается через воздушный шлюз, чтобы предотвратить ошибочное попадание воздуха для сжигания.

Сжигание происходит в два этапа (см. рисунок 2.19). В нижнем помещении для сжигания происходит контролируемый пиролиз с последующим сжиганием с первичным воздухом по мере прохождения отходов через установку. В конце отходы оказываются в заполненной водой системе удаления зольного остатка, из которой зола удаляется цепной системой конвейеров.

Дымовые газы сжигаются с вторичным воздухом и, при необходимости, с вспомогательным топливом при температуре около 1000°C. Затем их охлаждают в бойлере с насыщенным паром (температура пара 225°C, давление 10 бар), теплообменнике и скруббере. Пар подается на соседнюю установку по сжиганию коммунальных отходов, которая использует пар, и возвращает питательную воду в котел.

Скруббер представляет собой двухступенчатую систему удаления кислотных соединений. Очищенный дымовой газ нагревается (в теплообменнике и в теплообменнике парового дымового газа) перед прохождением пылесборного рукавного фильтра с впрыском адсорбента, (активированный уголь и гашеная известь) и установки СКВ de-NO_x для удаления диоксинов. Концентрации выбросов дымовых газов соответствуют Нидерландским стандартам. Дымовые газы выбрасываются через дымовую трубу высотой 55 метров.

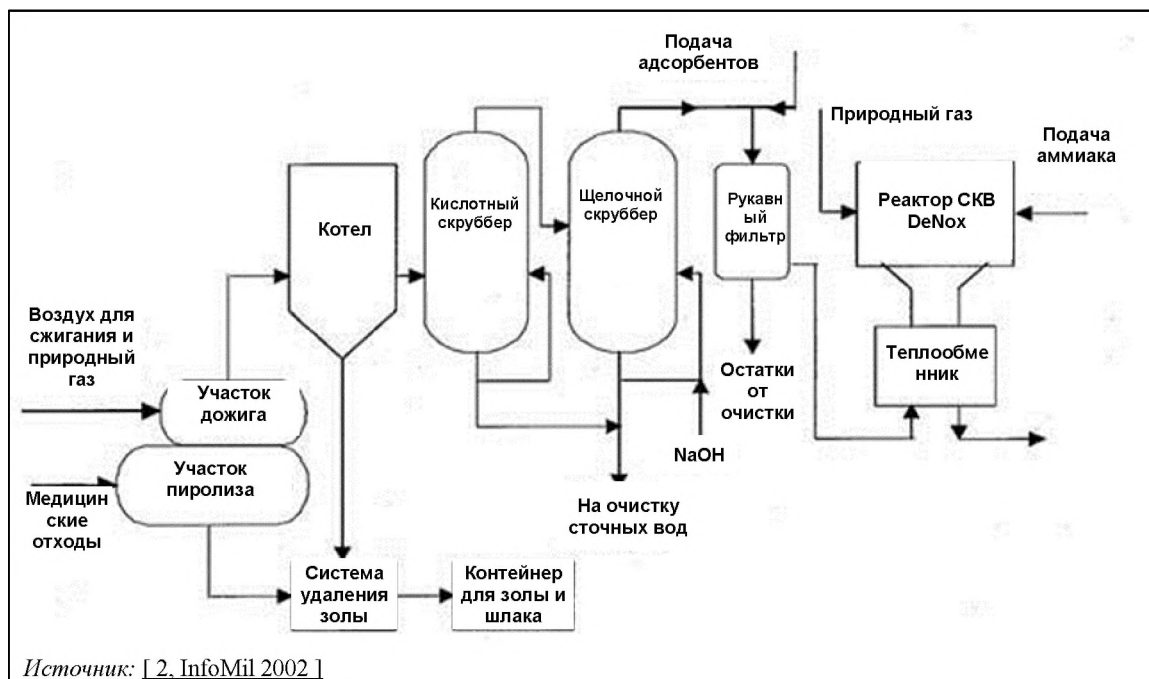


Рисунок 2.19: Пример установки для совместного пиролиза и сжигания медицинских отходов, ZAVIN, Нидерланды

2.3.4.4.2 Пиролиз-газификация

[1. UBA 2001]

Можно выделить два разных типа процессов пиролитической газификации:

- несопряженный (пиролиз с последующей газификацией = процесс преобразования); а также
- прямосоединенный.

Процесс преобразования

В процессе преобразования металлы и, если требуется, инертный материал могут быть удалены после стадии пиролиза. Поскольку пиролизный газ и кокс требуют повторного нагрева в процессе газификации, технические и энергетические требования к этому процессу выше. Конденсированные пары выхлопных газов обрабатываются как сточные воды и сбрасываются.

В процессе преобразования отходы необходимо измельчить и высушить, прежде чем их можно будет использовать на первой тепловой стадии. Эта стадия более или менее соответствует стадии «тления». Последующие этапы:

- пиролиз в печи;
- удаление твердых остатков;
- отделение мелкой фракции, обогащенной углеродом;
- сортировка металла и инертной фракции.

Пиролизный газ охлаждают для конденсации паров отработанных газов и пиролизного масла. Затем его подают вместе с пиролизным маслом и мелкой фракцией на вторую термическую стадию, которая протекает в проточном газификационном реакторе. Масло и мелкая фракция газифицируются в текущем потоке при высоком давлении и температуре 1300°C. Полученный синтез-газ очищается, а затем сжигается для рекуперации энергии. Твердые остатки удаляются в виде расплавленного гранулированного материала через водяной термостат. По типу и количеству они соответствуют таковым из процесса «тления».

При прямом соединении могут быть улучшены скорости выработки электроэнергии, но металлы и инертный материал превращаются в расплав, для которого до настоящего времени не найдено применения.

Совмещенный процесс пиролитической газификации и плавления

В таких процессах (см. рис. 2.20) неизмельченные отходы сушат в выталкивающей печи и частично подвергают пиролизу. Из этой печи они передаются напрямую и непрерывно в газификатор с неподвижным уплотненным слоем. Здесь они газифицируются (в нижней части) при температуре до 2000°C с добавлением кислорода. Чистый кислород также добавляют в верхнюю часть реактора, чтобы разрушить оставшиеся органические компоненты в генерируемом синтез-газе посредством реакций окисления, газификации и расщепления.

Хотя сообщается, что такой процесс способен обрабатывать более широкий спектр отходов, в основном он используется для коммунальных и неопасных промышленных отходов. Таким путем также могут быть обезврежены отходы с НТС 6–18 МДж/кг и содержанием влаги до 60%. Автомобильные измельченные отходы с содержанием хлора до 3,5% обезвреживаются примерно в том же количестве что и ТКО [69, Thermoselect 2003].

Синтез-газ подвергается процессу очистки газа, а затем сжигается для рекуперации энергии. Первоначально твердые остатки покидают реактор в расплавленном состоянии. Во время испытаний установки на тонну загруженных отходов образовывалось примерно 220 кг донной золы с 30 кг металла.

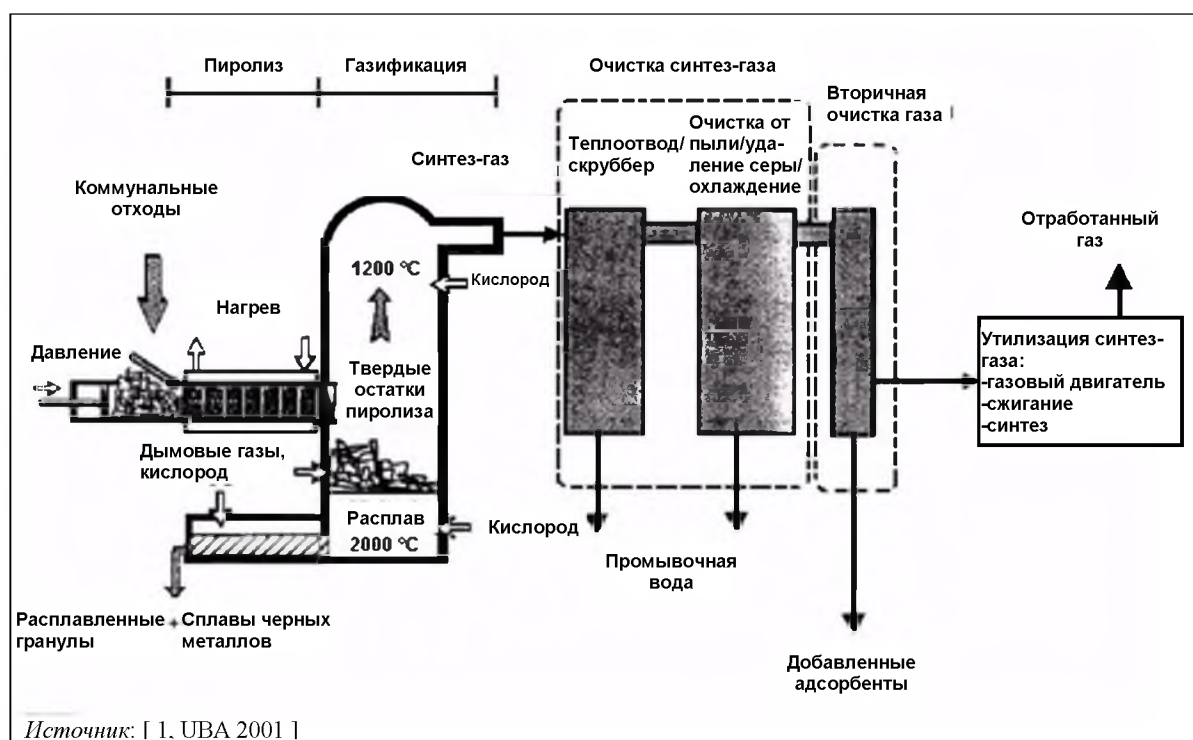


Рисунок 2.20: Схематическое изображение пиролизной установки типа «push pyrolyser» (установка на схеме эксплуатируется компанией Thermoselect)

Начиная с 2003 года в Японии работали два завода этого типа. Два завода такого типа также были построены в Европе, но через несколько лет прекратили работу. [47. TWG 2018].

2.3.4.4.3 Газификация-сжигание

Можно выделить два разных типа процессов газификации-сжигания:

- газификатор с кипящим слоем и печь для плавки золы (две отдельные стадии);
- шахтная печь (совмещенный процесс).

Газификатор с кипящим слоем и печь для плавки золы

Пример комбинации газогенератора с кипящим слоем и печи плавления золы показан на рисунке 2.21.

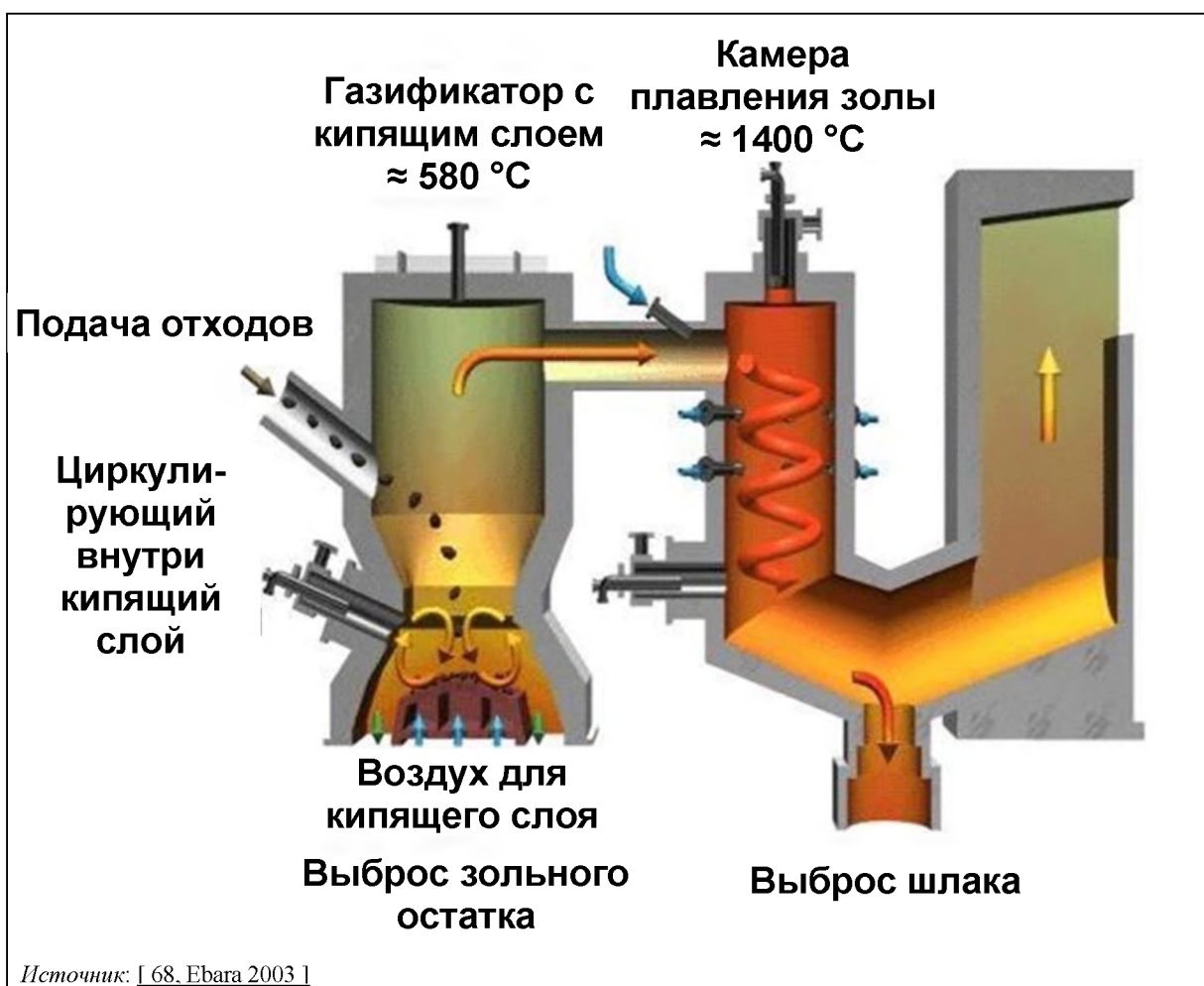


Рисунок 2.21: Комбинированная газификация с кипящим слоем и высокотемпературный процесс горения

В этом типе установки измельченные остатки, отходы пластика или измельченные ТКО газифицируются в циркулирующем внутри реактора пузырьковом кипящем слое, рабочая температура которого около 580°C. Более крупные инертные частицы и металлы удаляются вниз и отделяются от материала слоя. Материал слоя возвращается в газификатор. Мелкая зола, мелкие частицы полукоса и горючий газ поступают в циклонную камеру плавления золы, куда добавляется воздух для достижения желаемой температуры плавления золы (обычно 1 350–1 450°C).

Камера плавления золы является неотъемлемой частью парового котла для выработки энергии.

Продуктами этого процесса, помимо энергии или пара, являются металлические фрагменты, витрифицированный шлак (низкощелочной и устойчивый) и металлические концентраты, полученные из вторичной золы.

В отличие от других процессов газификации, для протекания этого процесса необходимо атмосферное давление и присутствие воздуха, а не кислорода. Предварительное измельчение ТКО необходимо для уменьшения размера частиц до 300 мм в диаметре. Отходы, размер частиц которых не превышает указанный размер, могут поступать на обезвреживание без измельчения. На различных действующих заводах в дополнение к ТКО обрабатываются другие отходы, такие как осадок сточных вод, костяная мука, медицинские отходы и промышленные шлаки и шламы. [68, Ebara 2003]

Шахтная печь

По сравнению с процессом газификации и плавления, описанными на рисунке 2.21, структура этого процесса (см. рисунок 2.26) проще, так как газификация и плавление осуществляются в одной печи.

Горючие фракции из не измельченных ТКО будут газифицированы при высокой температуре печи и превращены в синтез-газ, который затем будет использоваться для выработки электроэнергии. Негорючие вещества (металлические и минеральные компоненты) будут плавиться в зоне плавления на дне печи и превращаться в металл и витрифицированный шлак.

Предварительное измельчение ТКО не требуется, если размер пластиковых пакетов ТКО составляет не менее 600 x 600 x 600 мм.

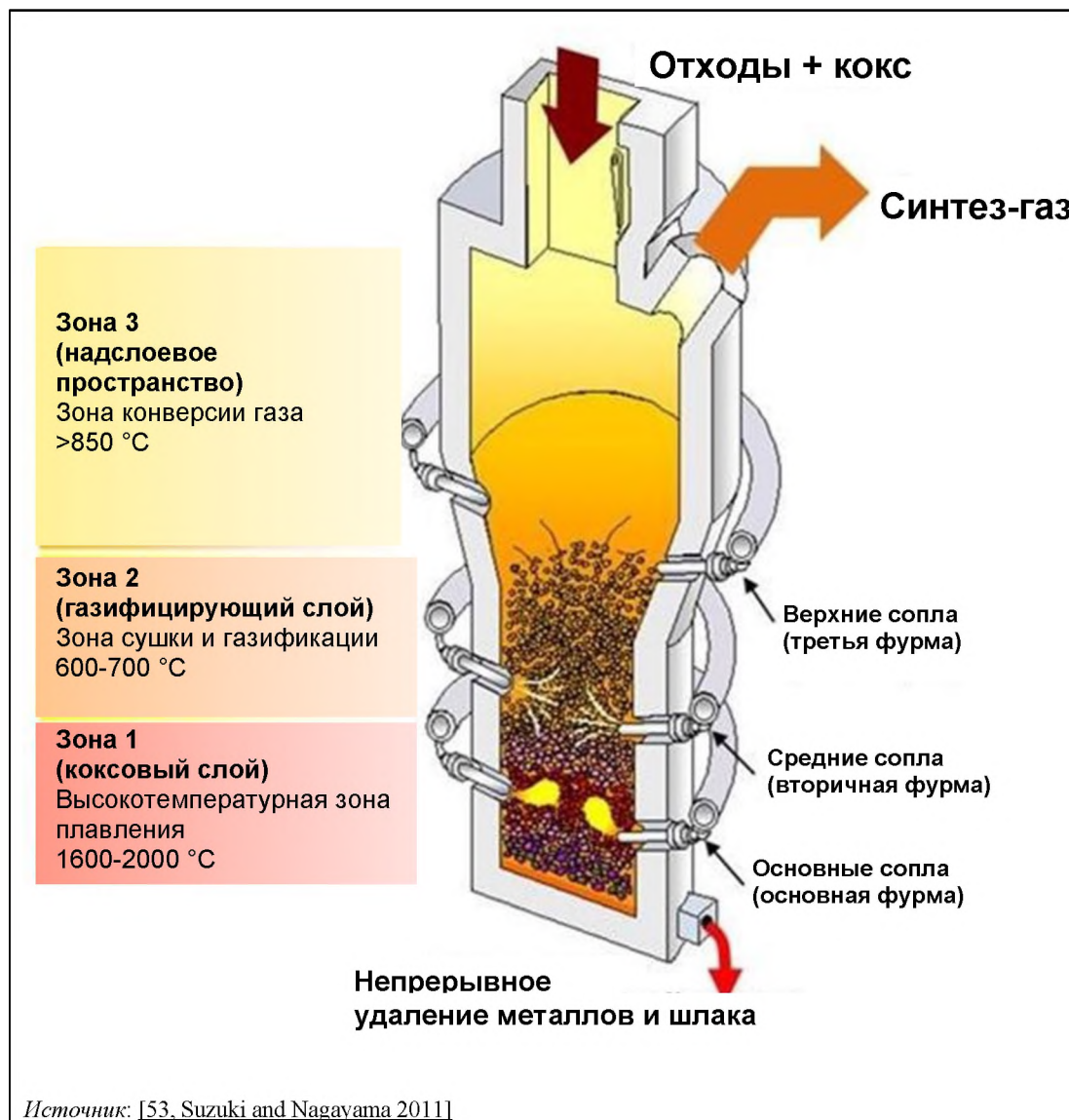


Рисунок 2.22: Шахтная печь для совмещенной газификации отходов и плавления золы

Отходы поступают в печь вместе с коксом (примерно 5% масс. и 15% энерг. отходов) и известняком (примерно 3 % масс. отходов) из верхней части печи. Поскольку печь работает в восстановительной газовой среде, металлы испаряются до газообразной фазы, а расплавленная зола превращается в остеклованный шлак. Расплавленная зола со дна печи охлаждается на водопитающем конвейере для превращения в остеклованный шлак и металлы.

Печь можно разделить на три зоны:

- Первая зона заполнена коксом, а углерод кокса и отходов сжигается воздухом, обогащенным кислородом (приблизительно 35% O₂), подаваемым через основное сопло в нижнюю часть печи. Воздух вводится в печь через основное, среднее и верхнее сопла, расположенные вдоль стенки печи. Температура в первой зоне превышает 2 000°C. При такой высокой температуре несгораемые вещества в отходах расплавляются, а затем

непрерывно удаляются через систему удаления шлака на дне печи, при том, что они остаются расплавленными при температуре около 1 600°C. Вырабатываемый CO₂ восстанавливается до CO в результате реакции взаимодействия кокса с диоксидом углерода в восстановительной зоне, и CO поднимается в следующую зону (2) при температуре около 1000°C.

- Во 2-ой зоне газ, полученный в нижней зоне, частично сжигается и удерживается при температуре около 700°C с воздухом, подаваемым через второе отверстие, с одновременным поддержанием отходов, кокса и известняка, которые загружаются из верхней части печи, в псевдоожигенном состоянии. В этой зоне отходы предварительно нагреваются и термически разлагаются.
- В 3-ей зоне часть полученного газа сжигается в восстановительной атмосфере при температуре выше 850°C воздухом, направляемым через третье сопло. Время пребывания, равное двум секундам или более, усиливает пиролиз смолы и предотвращает образование диоксинов. Этот процесс улучшает качество получаемого синтез-газа.

Синтез-газ, выходящий из печи, вводится во вторичную камеру сжигания перед котлом, где синтез-газ подвергается полному сгоранию.

Первый завод по переработке ТКО с использованием этой технологии был запущен в коммерческую эксплуатацию в 2003 году. В Японии действуют 11 установок такого типа. [53, Suzuki and Nagayama 2011]

2.3.5 Другие технологии

2.3.5.1 Камеры для сжигания жидких и газообразных отходов

Камеры для сжигания предназначены специально для сжигания жидких и газообразных отходов, а также твердых частиц, диспергированных в жидкостях (см. рис. 2.23). В химической промышленности широко распространено применение камер для сжигания отходов и сжигания отходящих газов. В случае хлоридсодержащих отходов, HCl может быть извлечен для дальнейшего использования.

Все камеры дожигания в установках для сжигания опасных отходов в основном являются непосредственно камерами для сжигания. На одном из заводов (Равенна, Италия) камера дожигания настолько велика, что там может происходить весь процесс термического обезвреживания.

Рабочие температуры обычно выбираются для обеспечения качественного уничтожения отходов, подаваемых в камеру. В некоторых случаях для конкретных потоков отходов используются каталитические системы; они работают при пониженных температурах 400–600°C. Как правило, для некаталитических камер выбираются температуры, превышающие 850°C. Для поддержания устойчивых условий сгорания часто используется вспомогательное топливо. Для подачи горячей воды/пара через систему котла может использоваться регенерация тепла.

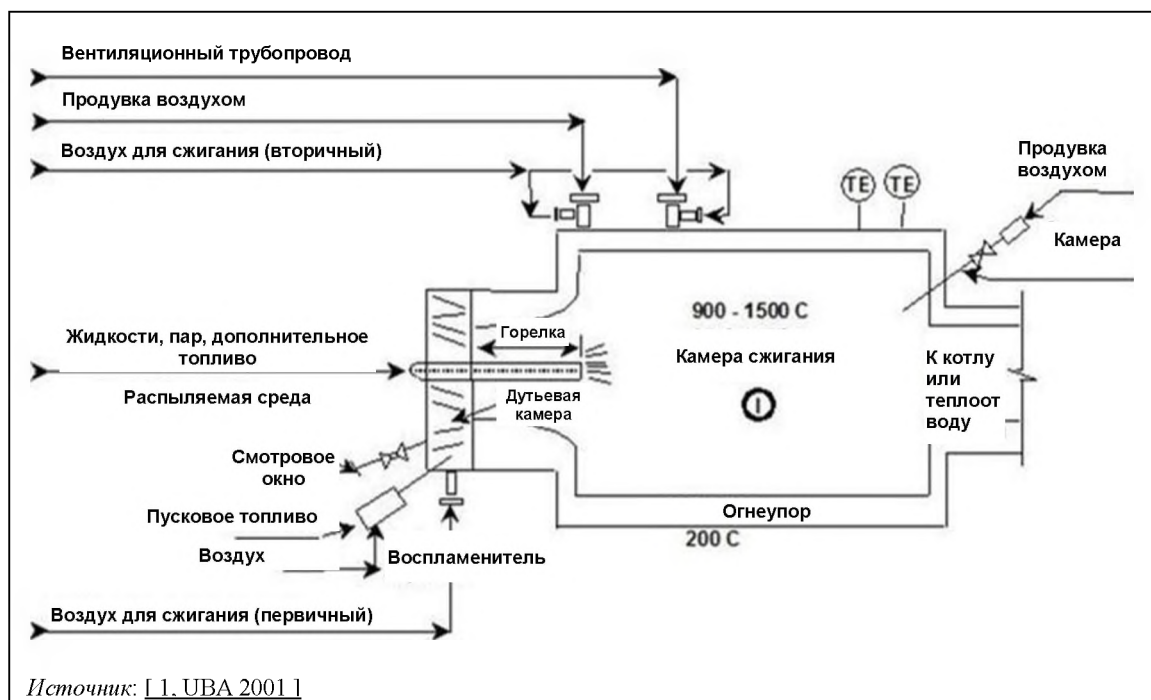


Рисунок 2.23: Типичная конструкция камеры для сжигания жидких и газообразных отходов

2.3.5.2 Сжигание жидких и газообразных хлорсодержащих отходов с извлечением HCl

[1. UBA 2001] Основные компоненты данного процесса:

- камера сжигания;
- парогенератор;
- очиститель дымовых газов в сочетании с регенерацией соляной кислоты; а также
- дымовая труба (см. рис. 2.24).

На заводе перерабатывают жидкие и газообразные хлорированные отходы с использованием тепла и производят соляную кислоту.

Тепло преобразуется в пар в парогенераторе (212°C, 20 бар) и передается для использования. Твердые частицы в дымовых газах, образующихся при сжигании, отделяются для получения максимально возможной концентрации соляной кислоты на установке очистки дымовых газов. Удаление и утилизация соляной кислоты обычно происходит в пределах завода.

Остаточные газообразные вещества (дымовые газы) поступают на установку восстановления через трубопроводы. Каждый поток дымовых газов перед сжиганием проходит через отдельный осадочный контейнер, в котором жидкие частицы отделяются от потока дымовых газов. Линии подачи оснащены соответствующими защитными ограждениями в соответствии с классификацией дымовых газов. Количество линий подачи зависит от механизмов контроля. Объемный расход рассчитывается путем измерения параметров потока/расхода с компенсацией давления и температуры. Дымовые газы поступают в камеру сжигания через регулятор давления с контролем максимального предела давления. Кроме того, все линии дымовых газов в камере сжигания оснащены автоматическими клапанами аварийного отключения.

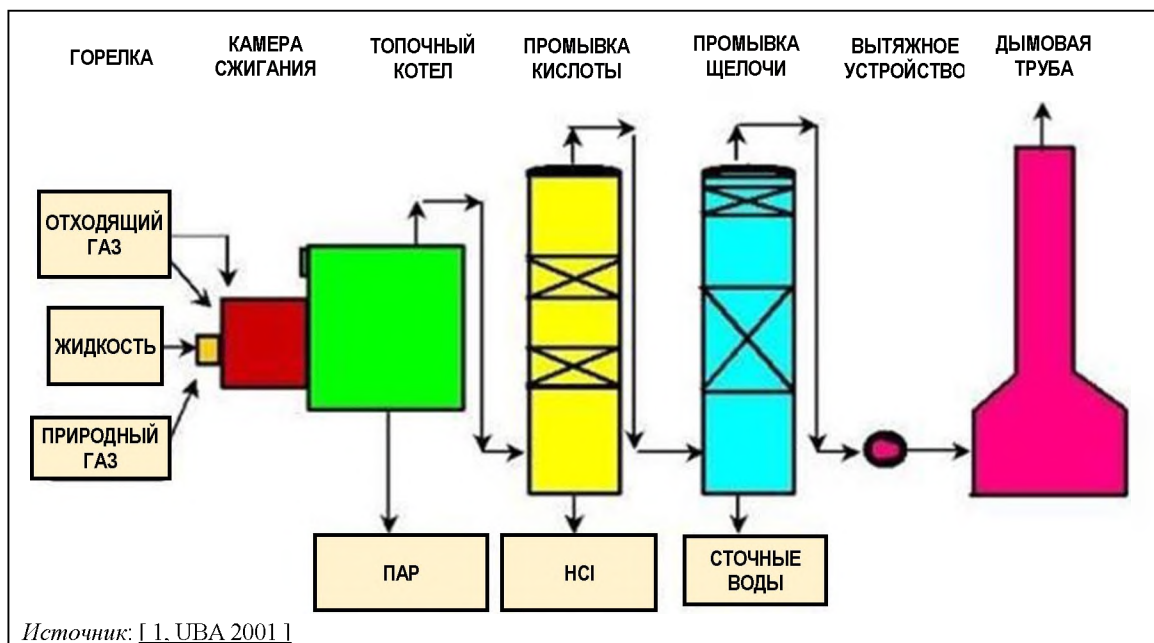


Рисунок 2.24: Схема установки для регенерации HCl из отходящих газов и жидких галогенсодержащих отходов

Трубопроводы перекачки жидких отходов также оснащены автоматическими клапанами аварийного отключения. Все жидкие отходы направляются в многокомпонентную горелку, которая расположена в передней части камеры сжигания. Испарение этих жидкостей происходит с воздухом и/или паром который подавался в горелку при отдельном контроле количества газа под давлением. Кроме того, в многокомпонентную горелку через фурмы подают различные потоки дымовых газов. Каждая фурма состоит из концентричных труб. Таким образом, несколько потоков дымовых газов могут подаваться отдельно в камеру сжигания. Для охлаждения и во избежание коррозии фурмы непрерывно обдувают воздухом через наружный круговой зазор.

Первичная топливо (природный газ) требуется для запуска установки и поддержания требуемой температуры в камере сжигания. Природный газ также подается в многокомпонентную горелку с помощью отдельного воздухоподводящего рукава. Поток природного газа регулируется с помощью компьютерной системы дозирования и подается в горелку с помощью регулятора давления в зависимости от температуры в камере сжигания. Природный газ также необходим для растопочного факела, который разжигает многокомпонентную горелку. В линии подачи природного газа к многокомпонентной горелке и к растопочному факелу есть два автоматических клапана аварийного отключения с автоматическим высвобождением газа.

Для контроля пламени горелки установлены два независимых индикатора погасания пламени (УФ и ИК). Кроме того, пламя горелки можно наблюдать через смотровые окна и с помощью телевизионной камеры, установленной на задней стенке котла-утилизатора. Количество воздуха регистрируется соответствующими датчиками, а также давлением, создаваемым вентилятором.

Цилиндрическая камера сжигания сконструирована таким образом, чтобы обеспечить достаточное время пребывания отходов и их полное сжигание при рабочей температуре выше 1100°C при НУЭ. Камера сжигания рассчитана на температуру 1600°C. Рабочая температура постоянно контролируется. Чтобы выдержать эту высокую температуру, вся камера для сжигания, вплоть до входа в паровую котельную, облицована огнеупорным кирпичом. Корпус камеры сжигания выполнен из котельной листовой стали. Влажная очистка дымовых газов происходит в двух промывных башнях с одновременным извлечением подлежащей повторному использованию соляной кислоты с максимально возможной концентрацией. Сжигание хлорсодержащих отходов может позволить получить примерно 5–20% соляной кислоты.

2.3.5.3 Сжигание жидких хлорсодержащих отходов с регенерацией хлора

[2. InfoMil 2002]

Представленная установка для сжигания жидких отходов с высоким содержанием хлора (хлорированных углеводородов) расположена на промышленной площадке. Общая мощность завода составляет около 36 000 т/год. Обезвреживаемые отходы как образуются на производственной площадке, так и поступают от внешних клиентов. Отходы ограничены по содержанию твердых веществ (<10 г/кг), фтора, серы и тяжелых металлов. Также обезвреживаются ПХД.

Сжигание происходит в двух печах при температуре $1\,450\text{--}1\,550^\circ\text{C}$ (время пребывания газа $0,2\text{--}0,3$ секунды). Этот уровень температуры обычно можно поддерживать без вспомогательного топлива. Вода вводится для того, чтобы снизить образование Cl_2 . После выхода из печи дымовой газ проходит через секцию охлаждения, где температура снижается примерно до 100°C . Нерастворимые вещества и соли тяжелых металлов удаляются из циркулирующей жидкости в охлаждающей емкости. Дымовой газ проходит через изотермический и адиабатический абсорбер. Восстановленная соляная кислота перегоняется при повышенном давлении и температуре, после чего газ охлаждается до -15°C , чтобы снизить содержание воды практически до нуля. Извлеченную безводную соляную кислоту перерабатывают на предприятиях винилхлоридных мономеров (VCM).

Дымовые газы проходят через щелочной скруббер и фильтр с активированным углем (для абсорбции диоксинов). Проводится постоянный мониторинг концентраций TOC , HCl , NO_x , O_2 , CO и пыли. Концентрация диоксинов и ПХД в выбросах ниже $0,1$ нг ТЭ/Нм³.

Стоки из теплоотвода и скруббера подвергаются очистке в физико-химической установке и в установке биологической очистки сточных вод. Содержание диоксина составляет $<0,006$ нг ТЭ/л. ПХД ниже предела обнаружения (<10 нг/л).

Схема процесса приведена на рисунке 2.25.

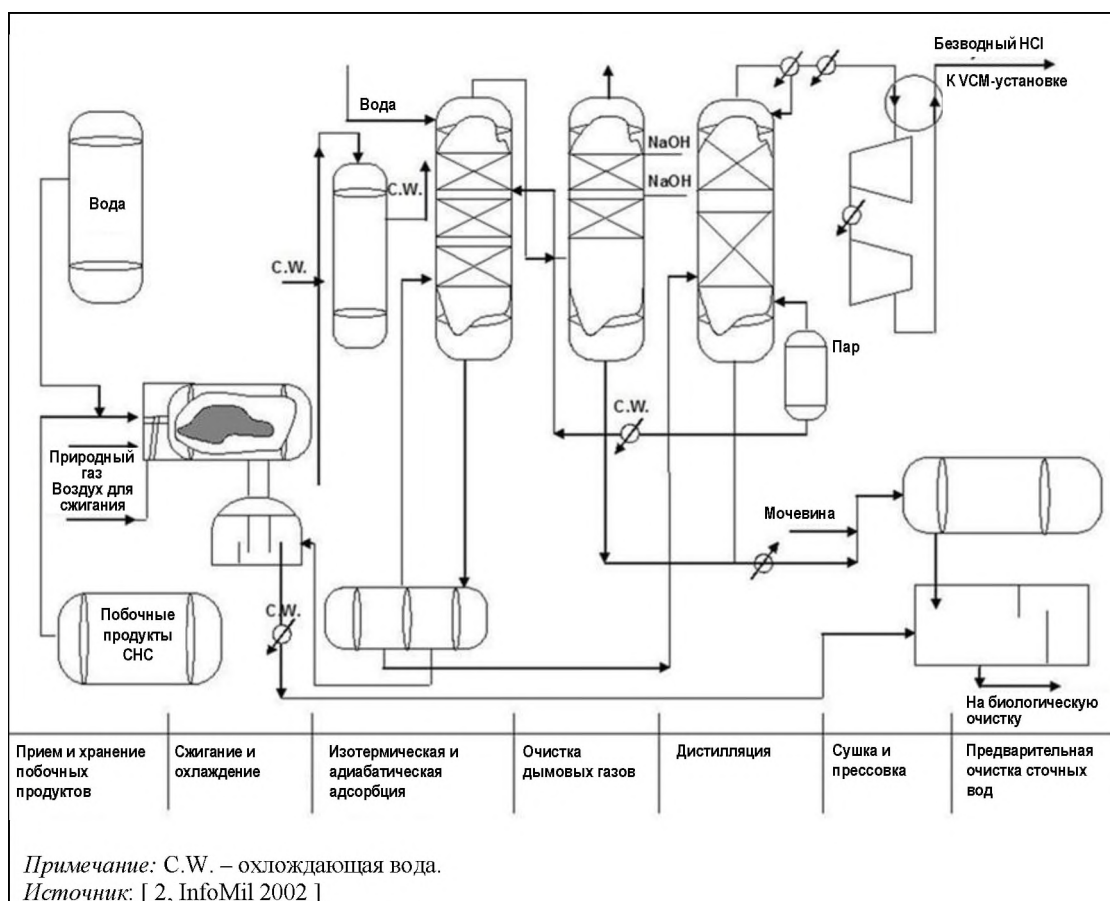


Рисунок 2.25: Технологическая схема установки по переработке хлора, эксплуатируемой компанией AkzoNobel

Основным преимуществом этой специальной установки для сжигания является возможность восстановления хлора из отходов. Кроме того, в этом случае накладные расходы снижаются за счет того, что она является частью более крупного химического завода.

2.3.5.4 Сжигание сточных вод

[1. UBA 2001]

Сточные воды могут быть очищены в результате сжигания органических материалов. Это специальная технология для очистки промышленных сточных вод, где органические и иногда неорганические материалы химически окисляются с помощью атмосферного кислорода с испарением воды при высоких температурах. Термин «газофазное окисление» используется для отделения этого типа сжигания от других технологий, таких как мокрое окисление. Процесс газофазного окисления используется, если органические вещества в воде не могут быть повторно использованы, если их восстановление неэкономично или если нет возможности применить другой метод.

Самостоятельное сжигание может происходить только в том случае, если содержание органических веществ достаточно для самостоятельного испарения содержащейся воды и максимального нагрева. Теплотворная способность воды обычно слишком низкая для самостоятельного сжигания, и в этом случае потребуются совместное сжигание или использование вспомогательного топлива. Снижение потребности в дополнительной энергии может быть достигнуто за счет снижения содержания воды. Этого можно достичь путем ввода в действие предварительно подключенной или многоступенчатой конденсационной установки. Кроме того, частичная рекуперация тепла (котел) может быть установлена для регенерации пара для конденсации из тепла, производимого в печи.

В зависимости от конкретного содержания органических и неорганических веществ в сточных водах и различных местных условий разрабатываются различные конструкции установки.

Сточные воды и топливо подаются через горелки или фурмы в нескольких местах в камере сжигания. Атмосферный кислород также подается в нескольких местах (первичный воздух = атмосферный кислород в смеси с топливом, вторичный воздух = смешанный воздух).

Пример установки для сжигания сточных вод с узлом концентрирования сточных вод (выпаривания) показан на рисунке ниже. [74. TWG 2004]

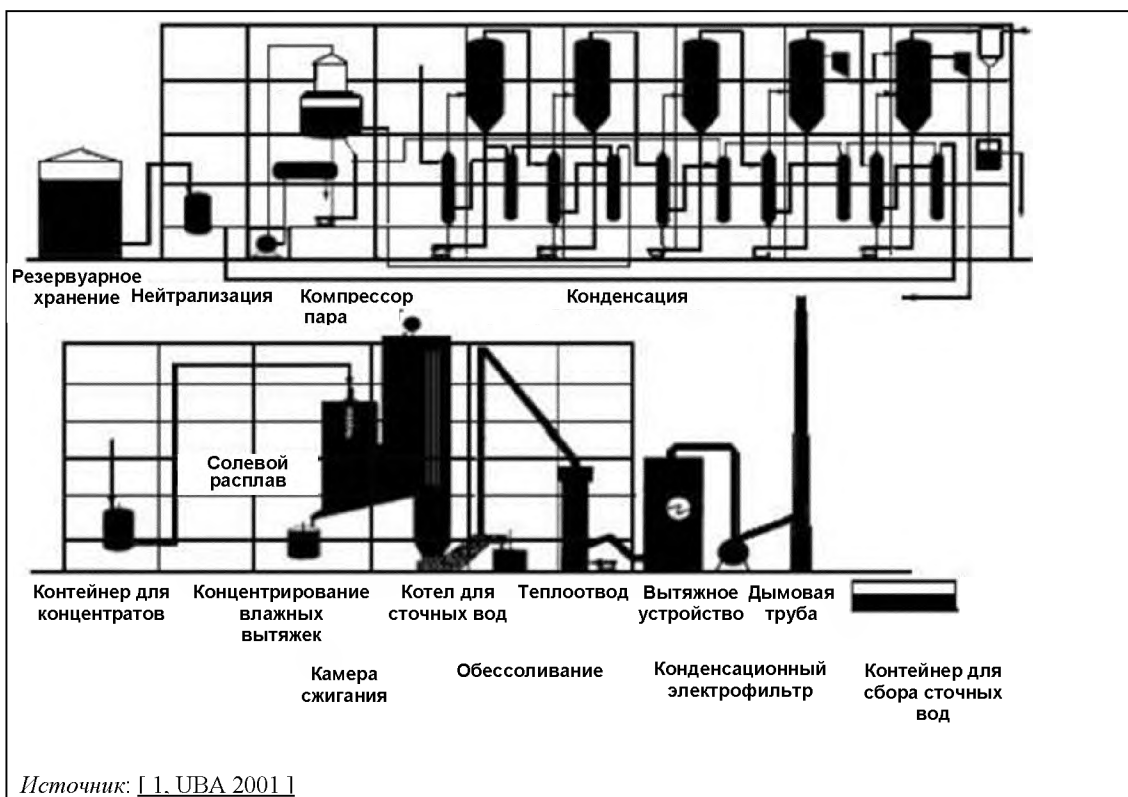


Рисунок 2.26: Пример установки для сжигания сточных вод с установкой выпаривания (концентрирования) сточных вод

Пример установки для сжигания щелочных сточных вод

[2, InfoMil 2002]

Щелочная вода является специфическим потоком сточных вод от заводов по переработке моностиролпропиленоксида. Эта вода образуется в результате нескольких стадий отмывки в технологическом процессе. В ней содержится приблизительно 10–20% органических компонентов и большое количество натрия (в основном NaCl).

Высокое содержание органических компонентов и натрия затрудняют или даже делают невозможным использование биологической очистки воды. Теплота сгорания этой воды слишком низкая для самостоятельного сжигания, поэтому необходимо совместное сжигание или использование вспомогательного топлива. Высокое содержание натрия в сочетании с большими количествами воды может создавать проблемы при совместном сжигании в мусоросжигательных установках.

Применимыми технологиями обработки являются мокрое окисление и сжигание. Для этой цели в этом показанном ниже примере используются четыре статические вертикальные установки (общая мощность приблизительно 350–400 кт/год), которые работают с 1999-2000 года.

Отходы с низкой теплотой сгорания (щелочная вода с 10–20% органических веществ) могут быть пропущены через выпарной аппарат с падающей пленкой. Этот выпарной аппарат работает на избыточном давлении, который поступает от охлаждения стенки установки сжигания, таким образом, используя меньше топлива в установке сжигания.

Оставшаяся жидкость и образующийся пар обезвреживаются в статических вертикальных установках для сжигания, работающих по принципу «сверху вниз», с использованием природного газа и/или жидкого топлива с высокой теплотой сгорания (отходы или топочное масло). Получающиеся дымовые газы частично охлаждаются мембранной стенкой (водяной завесой), производя пар при давлении 27 бар. Затем дымовые газы охлаждают для очистки газов от солей натрия и других водорастворимых примесей.

На участке регенерации тепла циркулирующая вода распыляется над дымовыми газами. Эта циркулирующая вода мгновенно испаряется в испарительной камере, генерируя приблизительно 30 т/ч пара на установку.

После рекуперации тепла дымовые газы проходят через скруббер Вентури и мокрый электрофильтр, где удаляются аэрозоли и пыль.

Установки для сжигания работают при температуре 930–950°C с ограниченным доступом воздуха (3–4% O₂). В зависимости от концентрации органических веществ пропускная способность щелочной воды составляет 10–15 т/ч на установку.

Вода из теплообменного устройства очищается на ионообменной установке для удаления тяжелых металлов. Специальные ионообменные смолы концентрируют молибден (катализатор в реакции с моностиролпропиленоксидом) с возможностью повторного использования.

Основным преимуществом этих установок является способность сжигать большие количества отходов с низкой теплотой сгорания и одновременно высокой концентрацией соли.

На следующей схеме показан пример установки для этого процесса.

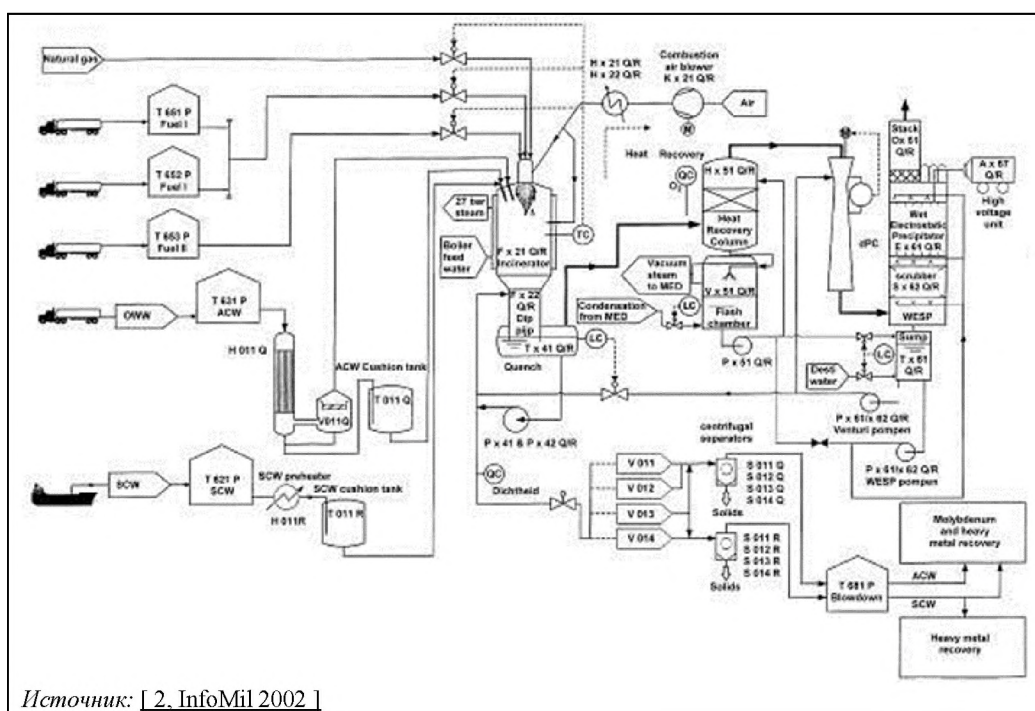


Рисунок 2.27: Технологическая схема установки для очистки щелочной воды, используемая компанией AVR

2.3.5.5 Плазменные процессы

Плазма представляет собой смесь электронов, ионов и нейтральных частиц (атомов и молекул). Этот высокотемпературный ионизированный проводящий газ может быть создан путем взаимодействия газа с электрическим или магнитным полем. Плазма является источником активных веществ, а высокие температуры способствуют быстрым химическим реакциям.

В плазменных процессах используются высокие температуры (от 5000 до 15 000°C), возникающие в результате преобразования электрической энергии в тепло для производства плазмы. Они включают пропускание сильного электрического тока через поток инертного газа.

В этих условиях опасные загрязняющие вещества, такие как ПХД, диоксины, фураны и пестициды, распадаются на их атомные составляющие путем подачи в плазму. Процесс используется для обработки органических веществ, металлов, ПХБ (включая малогабаритное оборудование) и гексахлорбензола. Во многих случаях может потребоваться предварительная обработка отходов.

Необходимость системы очистки отработанного газа обычно зависит от типа обрабатываемых отходов, а остаток представляет собой остеклованное твердое вещество или золу. Плазменные процессы обеспечивают высокую эффективность разрушения, >99,99%. Хотя плазменный процесс является признанной коммерческой технологией, он может быть очень сложным, дорогостоящим и трудоемким.

Высокотемпературная плазма может генерироваться путем пропускания постоянного или переменного электрического тока через газ между электродами, путем применения радиочастотного (РЧ) магнитного поля без электродов или микроволн. Различные виды плазменных технологий представлены ниже.

1. Аргонная плазменная дуга

Данная технология применяется «в процессе», то есть отходы смешиваются непосредственно с плазменной струей аргона. В качестве плазмообразующего газа выбран аргон, поскольку он инертен и не реагирует с компонентами горелки.

Сообщается, что показатель ЭУУ (эффективность уничтожения и удаления отходов) превышает 99,9998% для уничтожения озоноразрушающих веществ (ОРВ) при скорости 120 кг/ч и электрической мощности 150 кВт.

Преимущество этой технологии по сравнению с некоторыми другими плазменными системами заключается в том, что в течение нескольких лет она демонстрирует высокоэффективное разрушение как хлорфторуглеродов (ХФУ), так и галонов в промышленном масштабе. Установка также показала низкие выбросы ПХДД/Ф. Валовые выбросы загрязняющих веществ также низки из-за относительно небольшого объема дымовых газов, образующихся в процессе. Кроме того, очень высокая плотность энергии приводит к очень компактному процессу, который можно легко перемещать.

2. Индуктивно-связанная радиочастотная плазма (ИСРП)

При применении ИСРП используются плазменные горелки с индуктивно-связанной плазмой, а связь энергии с плазмой осуществляется через электромагнитное поле индукционной катушки. Отсутствие электродов позволяет работать с большим количеством газов, включая инертные, кислые или щелочные среды, что более надежно, чем процессы плазменной дуги.

Плазменный процесс ИСРП продемонстрировал показатель ЭУУ (эффективность удаления и уничтожения отходов) больше 99,99% при разрушении ХФУ со скоростью 50–80 кг/ч.

Этот процесс был продемонстрирован в промышленных масштабах для достижения высокого уровня уничтожения ХФУ и низкого уровня выбросов загрязняющих веществ. ИСРП не требует аргона и поэтому может стоить дешевле, чем другие подобные системы. Кроме того, низкий объем газа, получаемого в результате процесса, приводит к низким уровням массовых выбросов загрязняющих веществ.

3. Плазма переменного тока (АС)

Плазма переменного тока производится непосредственно с помощью высоковольтной энергии мощностью 60 Гц, но в остальном она аналогична индуктивно-связанной радиочастотной плазме. Система электрически и механически проста, и поэтому считается очень надежной. Процесс не требует аргона и может использовать широкий спектр рабочих газов, включая воздух или пар, в качестве газов плазмы, и считается, что он устойчив к загрязнению нефтепродуктами ОРВ.

4. Плазменная дуга с углекислым газом

Высокотемпературная плазма генерируется путем передачи мощного электрического разряда в инертный атмосферный газ, такой как аргон. Как только плазменное поле сформировано, оно поддерживается обычным сжатым воздухом или определенными атмосферными газами в зависимости от трамбуемых параметров процесса.

Температура плазмы значительно превышает 5000°C в точке генерации, в которую непосредственно подаются жидкие или газообразные отходы. Температура в верхнем реакторе составляет около 3 500°C и снижается в реакционной зоне до точно контролируемой температуры около 1 300°C.

Особенностью процесса является использование CO₂, образующегося в результате реакции окисления, в качестве газа для поддержания плазмы.

Процесс продемонстрировал высокую эффективность удаления и уничтожения отходов с веществами, трудно поддающимися переработке, при достаточно высокой скорости демонстрационных испытаний. Массовые выбросы загрязняющих веществ, представляющих интерес, являются низкими, в основном из-за малого объема дымовых газов, образующихся в процессе.

5. Микроволновая плазма

Этот процесс передает микроволновую энергию с частотой 2,45 ГГц в специально сконструированный коаксиальный резонатор для генерации тепловой плазмы под атмосферным давлением. Аргон используется для получения плазмы, но в остальном процесс не требует газа для поддержания плазмы.

Для процесса микроволновой плазмы показатель ЭУУ (эффективность уничтожения и удаления отходов) превышает 99,99% при обезвреживании ХФУ-12 с производительностью 2 кг/ч.

Процесс обладает высокой степенью очистки и способен достигать высоких рабочих температур за очень короткое время, что обеспечивает гибкость работы и сокращает время простоя.

Для технологии не требуется инертный газ, что повышает энергоэффективность, снижает эксплуатационные расходы и уменьшает объем образующегося дымового газа. Кроме того,

установка очень компактна.

6. Азотная плазменная дуга

В этом процессе используется плазменная горелка без передачи постоянного тока, работающая на электродах с водяным охлаждением и использующая азот в качестве рабочего газа для генерации тепловой плазмы.

Процесс достиг показателя ЭУУ (эффективность уничтожения и удаления отходов) – 99,99% при обезвреживании ХФУ, ГХФУ и ГФУ с производительностью 10 кг/час.

Основным преимуществом этой технологии является то, что оборудование очень компактно по размеру. Системе требуется только 9 м х 4,25 м для установки, которая включает в себя место для установки осаждения и осушки побочных продуктов (CaCl_2 и CaCO_3). Таким образом, система может перевозиться на грузовом автомобиле для обезвреживания отходов на месте их образования.

2.4 Стадия рекуперации энергии

2.4.1 Введение и общие принципы

[28, FEAD et al. 2002]

Горение – это экзотермический (вырабатывающий тепло) процесс. Большая часть энергии, вырабатываемой при сгорании, передается дымовым газам. Охлаждение дымовых газов способствует:

- извлечению энергии из горячих дымовых газов;
- очистке дымовых газов перед их выбросом в атмосферу.

В установках без рекуперации тепла газы обычно охлаждаются за счет подачи воды, воздуха или того, и другого.

Большинство установок осуществляют рекуперацию тепла с помощью котла, который имеет две взаимосвязанные функции:

- охлаждать дымовые газы;
- передавать тепло от дымовых газов другой жидкости, обычно воде, которая чаще всего превращается внутри котла в пар.

Характеристики пара (давление и температура) или горячей воды определяются местными потребностями в энергии и эксплуатационными ограничениями.

Конструкция котла будет в основном зависеть от:

- характеристик пара;
- характеристик дымовых газов (коррозионность, эрозионность и загрязненность).

В свою очередь характеристики дымовых газов сильно зависят от состава отходов. Например, опасные отходы зачастую очень сильно отличаются по составу и иногда имеют очень высокие концентрации коррозионных веществ (например, хлоридов) в неочищенном газе. Это оказывает значительное влияние на то, какие возможные технологии рекуперации энергии могут быть использованы. В частности, котел может подвергаться значительной коррозии при высоких температурах, поэтому он обычно рассчитан на работу при более низкой температуре, которая приводит к образованию пара под низким давлением.

- Аналогичным образом, тепловой цикл (пароводяной цикл) для каждой установки будет зависеть от относительной важности производства электроэнергии, пара и/или горячей воды.

Для охлаждения газообразных продуктов сгорания в пустых (например, в теплообменных узлах) пространствах котла широко используются водяные стенки (стенки камеры сжигания состоят из заполненных водой теплообменных труб – обычно с защитным покрытием какого-либо типа). Первый газоход, как правило, должен быть пустым, поскольку горячие газы слишком коррозионные, а пыль слишком липкая для эффективного использования теплообменных труб на этом участке.

В зависимости от характера сжигаемых отходов и конструкции камеры сжигания может быть выделено достаточное количество тепла, чтобы сделать процесс сгорания самоподдерживающимся (то есть не потребуются дополнительное топливо).

Основные виды использования подводимой к котлу энергии:

- производство и передача тепла (в виде пара или горячей воды);
- производство и передача электроэнергии;
- комбинации вышеперечисленного.

Переданная энергия может быть использована на месте (таким образом, заменив импортируемую энергию) и/или за пределами предприятия. Передаваемая энергия может быть использована для множества других процессов. Обычно тепло и пар используются в промышленных или

централизованных системах отопления, в качестве тепла и пара для производственных процессов, а иногда и в качестве основных источников для систем охлаждения и кондиционирования воздуха. Электричество часто передается в государственную энергосеть и/или используется для собственных нужд.

2.4.2 Внешние факторы, влияющие на энергоэффективность

2.4.2.1 Тип и состав отходов

Характеристики отходов, доставляемых на установку для сжигания, будут определять возможные технологии рекуперации энергии и степень, в которой энергия может быть эффективно рекуперирована.

На химические и физические характеристики отходов, поступающих на заводы или подаваемых в мусоросжигательную установку, могут влиять многие локальные факторы, включая:

- контракты с поставщиками отходов (например, добавление к ТКО промышленных отходов);
- проведение предварительной подготовки отходов на площадке или за ее пределами, а также системы сбора/разделения отходов;
- рыночные факторы, которые перенаправляют определенные потоки отходов для обезвреживания по другим технологиям.

В некоторых случаях оператор будет иметь очень ограниченные возможности для влияния на характеристики поставляемых отходов; в других случаях возможности разнообразны.

В таблице 2.10 приведены стандартные диапазоны чистой теплоты сгорания для некоторых типов отходов.

Таблица 2.10: Диапазоны и стандартные значения теплоты сгорания для некоторых отходов, поступающих в мусоросжигательную установку

Тип поступающих отходов	Комментарии и примеры	НТС в исходном веществе (влажность включена)	
		Диапазон (ГДж/т)	Среднее (ГДж/т)
Смешанные ТКО	Смешанные коммунальные отходы	6.3–10.5	9
Крупногабаритные отходы	Мебель и т.д., доставленная на установки сжигания ТКО	10.5–16.8	13
Отходы, приравненные к ТКО	Отходы, аналогичные коммунальным отходам, но возникающие в магазинах, офисах и т. д.	7.6–12.6	11
Остаточные ТКО после переработки	Отфильтрованные фракции от процессов компостирования и восстановления материала	6.3–11.5	10
Коммунальные отходы	Отдельно собранные части из магазинов и офисов и т. д.	10–15	12.5
Отходы упаковки	Отдельно собранная упаковка	17–25	20
RDF-топливо	Пеллеты или флокулянты, произведенные из коммунальных и аналогичных неопасных отходов	11–26	18
Конкретный продукт промышленных отходов	Например, остатки пластмассовой или бумажной промышленности	18 – 23	20
Опасные отходы	Также называемые химическими или специальными отходами	0.5–20	9.75
Осадки сточных вод	Возникающие в результате очистки сточных вод	См. ниже	См. ниже
	Необработанные (обезвоженные до содержания сухих веществ - 25%)	1.7–2.5	2.1
	Сброженные (обезвоженные до содержания сухих веществ - 25%)	0.5–1.2	0.8

Источник: [31, Energy subgroup 2003]



Рисунок 2.28: График, показывающий зарегистрированные изменения НТС отходов на установках сжигания ТКО за 4 года (кДж/т)

2.4.2.2 Влияние местоположения завода на рекуперацию энергии

В дополнение к качеству отходов и техническим аспектам, эффективность процесса сжигания отходов в значительной степени зависит от возможностей использования произведенной энергии. Процессы с возможностью подачи электричества, пара или тепла смогут использовать для этой цели больше тепла, выделяемого во время сжигания, и не потребуют охлаждения тепла, что в противном случае приведет к снижению эффективности.

Наибольшая эффективность использования энергии отходов обычно может быть достигнута, в случае, когда тепло, полученное в процессе сжигания, может поставляться непрерывно для использования в центральном отоплении, в качестве технологического пара и т.д. или в сочетании с выработкой электроэнергии. Однако применение таких систем сильно зависит от местоположения предприятия, в частности от наличия надежного потребителя поставляемой энергии. Обычным является производство только электричества (то есть без теплоснабжения) и это, как правило, обеспечивает способ извлечения энергии из отходов, который в меньшей степени зависит от местных условий.

В случае если нет внешнего спроса на энергию, на площадке часто используется правильное соотношение для обеспечения процесса сжигания и, таким образом, сокращается количество импортируемой энергии до очень низкого уровня. Для заводов по сжиганию коммунальных отходов такое внутреннее использование может составлять порядка 10% от энергии сжигаемых отходов.

Системы охлаждения используются для конденсации котловой воды для возврата в котел.

Процессы, которые удобно расположены для подключения к энергораспределительным сетям (или отдельным совместным потребителям энергии), увеличивают вероятность того, что установка сжигания достигнет более высокой общей эффективности.

2.4.2.3 Факторы, принимаемые во внимание при проектировании энергетического цикла

При выборе места для размещения новых мусоросжигательных установок следует учитывать следующие факторы [51. CNIM 2003].

Таблица 2.11: Факторы, принимаемые во внимание при выборе проекта энергетического цикла для мусоросжигательных заводов

Рассматриваемый фактор	Подробные аспекты для рассмотрения
Обеспеченность отходами	• Количество и качество • Изменение доступности, регулярности поставок, возможности доставки в зависимости от сезона • Возможность изменения как состава, так и объема поступающих отходов • Влияние разделения и переработки отходов.
Возможности продажи энергии	Тепло • Муниципалитетам, например, для теплоцентралей • Частным предприятиям • Использование тепла, например, промышленное использование, использование для отопления • Географические ограничения; технические возможности подающего трубопровода • Длительность спроса, длительность контракта на поставку • Обязательства по доступности источника, т.е. есть ли другой источник тепла, когда установка по сжиганию не работает • Параметры пара/горячей воды: давление (нормальное/ минимальное), температура, расход, есть ли возврат конденсата? • Кривая сезонного спроса • Субсидии, которые могут значительно повлиять на экономику • Вклады потребителей тепловой энергии в финансирование завода, то есть обеспечение договора поставки. Электричество • Государственная энергосистема или промышленная электрическая сеть (редко), собственное потребление предприятия, собственное потребление клиента (то есть на установке по обработке осадка сточных вод) • Цена на электроэнергию существенно влияет на инвестиции • Субсидии или кредиты по сниженным ставкам могут увеличить инвестиции • Технические требования: напряжение, мощность, наличие подключения к распределительной сети.
Местные условия	• Выбранная охлаждающая среда: воздух или вода • Метеорологические условия во времени: температура, гигрометрия, (мин., средний, макс., кривые) • Пригодность «струи» водяного пара (охлаждающая башня) • Наличие источника холодной воды: река или море - Температура, качество воды - Объемы воды, которые можно использовать в зависимости от сезона - Допустимое повышение температуры.
Сочетание тепла и мощности	• Распределение по сезону • Изменение распределения в будущем.
Другое	• Выбор между: увеличением выработки энергии, снижением инвестиционных затрат, сложностью эксплуатации, выполнимостью требований к доступности и т.д. • Приемлемый уровень шума (воздухоохладители) • Доступное пространство • Архитектурные ограничения.
Источник: [51, CNIM 2003]	

2.4.3 Энергоэффективность мусоросжигательных заводов

[29, Energy subgroup 2002]

Для того чтобы можно было сравнивать энергетические характеристики мусоросжигательных заводов, необходимо стандартизировать:

- границы проводимой оценки, т. е. какие технологические процессы включены/исключены;
- методы расчета;
- как работать с различными видами потребляемой и производимой энергии, например, тепло,

пар, топливо, производство электроэнергии и внутреннее использование электричества и пара.

В следующих разделах описываются типичные виды потребления и производства энергии на многих мусоросжигательных заводах.

2.4.3.1 Потребление энергии мусоросжигательными установками

[29, Energy subgroup 2002]

В дополнение к энергии, содержащейся в отходах, есть другие пути поступления энергии на установки по сжиганию, которые необходимо учитывать при рассмотрении энергетической эффективности установки в целом.

Потребление электричества

Электричество необходимо для запуска процесса. Источник может быть внешним или циркулирующим.

Потребление пара/тепла/горячей воды

В процессе может быть использован пар (или горячая вода или другой теплоноситель). Источник может быть внешним или циркулирующим.

Дополнительное топливо (не из отходов)

Дополнительное топливо используется для:

1. предварительного нагрева воздуха для горения;
2. повышения температуры в камере сжигания до необходимого уровня во время запуска, прежде чем установка будет загружена отходами;
3. поддержания требуемой температуры в камере сжигания во время работы установки;
4. поддержания температуры в камере сжигания на необходимом уровне во время отключения, пока в установке все еще остаются несгоревшие отходы;
5. нагрева дымового газа для обработки в определенных устройствах, таких как система селективного каталитического восстановления или рукавные фильтры;
6. нагрева дымового газа (например, после мокрых скрубберов), чтобы избежать коррозии рукавного фильтра и дымовой трубы, а также для уменьшения видимости дымовой струи.

При рассмотрении общей эффективности производства энергии из отходов важно отметить, что некоторые из этих видов использования дополнительного топлива могут способствовать производству пара, тогда как другие нет, такие как 5 и 6, потому что они добавляют тепло после котла. Это необходимо учитывать при расчете показателей энергоэффективности.

На установках для газификации отходов к отходам можно добавлять дополнительное топливо, такое как уголь или кокс, чтобы получить синтез-газ с желаемым химическим составом и теплотой сгорания.

2.4.3.2 Производство энергии мусоросжигательными установками

Электричество

Произведенное электричество легко измеряется. Сам процесс сжигания может использовать часть произведенной электроэнергии.

Топливо

Топливо (например, синтез-газ) производится на установках газификации/пиролиза и может экспортироваться или сжигаться на месте.

Пар/горячая вода

Тепло, выделяемое при сгорании отходов, часто рекупируется для практических целей, например, для использования в процессе образования пара или горячей воды для промышленных или муниципальных потребителей, или в качестве энергии для систем охлаждения.

Станции комбинированной тепловой и электрической энергии (ТЭЦ) производят тепло и электроэнергию.

2.4.4 Процессы, применяемые для повышения эффективности рекуперации энергии

2.4.4.1 Предварительная подготовка отходов

Существуют две основные категории методов предварительной подготовки, которые имеют отношение к рекуперации энергии:

- гомогенизация;
- извлечение/разделение.

Гомогенизация отходов сырья включает смешивание и иногда измельчение отходов, поступающих на установку, для обеспечения подачи в установку сырья с усредненными характеристиками.

Основными достигнутыми преимуществами являются улучшение стабильности процесса и более постоянное качество пара, что позволяет увеличить выработку электроэнергии. Общие преимущества в отношении энергоэффективности довольно ограничены, но при этом могут возникнуть экономия средств и другие эксплуатационные преимущества.

Извлечение/разделение включает удаление определенных фракций из отходов перед их подачей в камеру сжигания.

Методы варьируются от различных физических процессов для производства RDF-топлива и смешивания жидких отходов для соответствия определенным параметрам качества, до простого визуального обнаружения и удаления операторами крана крупных предметов, которые не подходят для сжигания, таких как бетонные блоки или крупные металлические предметы. Основные получаемые преимущества:

- повышенная однородность, особенно там, где используются более сложные методы предварительной подготовки (см. выше комментарии о преимуществах однородности);
- удаление громоздких предметов – таким образом снижается риск возникновения закупок оборудования и внеплановых остановок установки;
- возможное использование псевдооживленных слоев или других методов, которые могут повысить эффективность сгорания.

Извлечение, разделение и гомогенизация отходов могут значительно повысить энергоэффективность самой мусоросжигательной установки. Это связано с тем, что данные процессы могут существенно изменить характеристику отходов, которые в конечном итоге поступают в процесс сжигания, что, в свою очередь, позволяет разработать процесс сжигания с более узкими входными характеристиками отходов и привести к оптимизированной (но менее гибкой) производительности. Однако для более широкой оценки (выходящей за рамки этого документа) важно отметить, что технологии, которые используются для предварительной подготовки отходов, также потребляют энергию и приводят к дополнительным выбросам.

2.4.4.2 Котлы и теплообмен

Для производства пара и горячей воды из энергетического потенциала горячих дымовых газов обычно используются трубные водонагревательные котлы. Пар или горячая вода обычно вырабатываются в пучках труб при прохождении дымовых газов. Оболочка печи, следующие пустые газоходы и пространство, в котором расположены пучки труб испарителя и перегревателя, как правило, имеют мембраны (рубашку) с водяным охлаждением.

При генерации пара обычно можно различить три участка поверхности нагрева, показанные на рисунке 2.29.

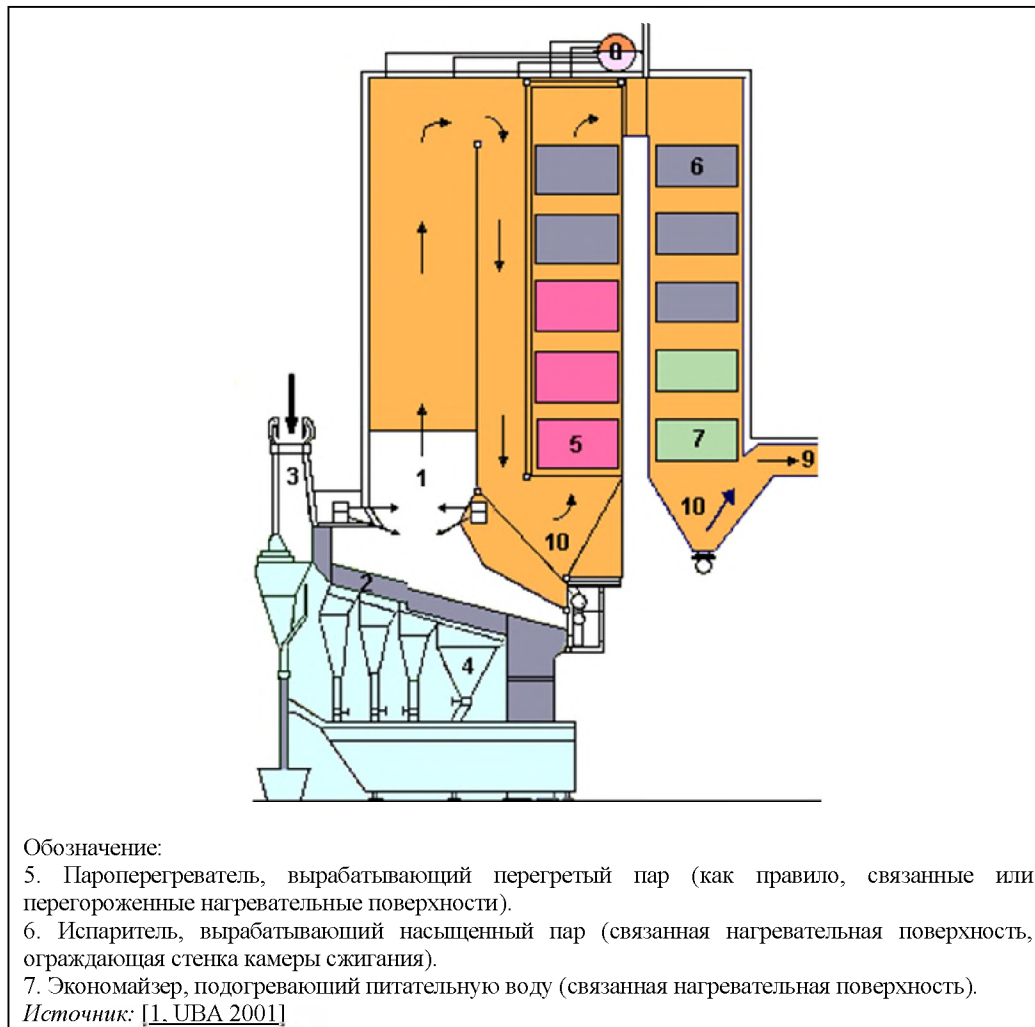


Рисунок 2.29: Схематическое изображение отдельных нагревательных поверхностей в парогенераторе

Различают следующие общепринятые системы испарения (см. рисунок 2.30):

- **С естественной циркуляцией:** массовый расход воды/пара в испарителе поддерживается из-за разной плотности среды в трубах с подогревом и без подогрева. Водно-паровая смесь поступает в барабан пароотделителя, а затем насыщенный пар проходит через перегреватель.
- **С принудительной циркуляцией:** процесс похож на естественную циркуляцию, но для увеличения циркуляции в испарителе используется циркуляционный насос.
- **С принудительным непрерывным потоком (прямоточный котел):** в этой системе питательная вода подается непрерывным потоком через экономайзер, испаритель и перегреватель.

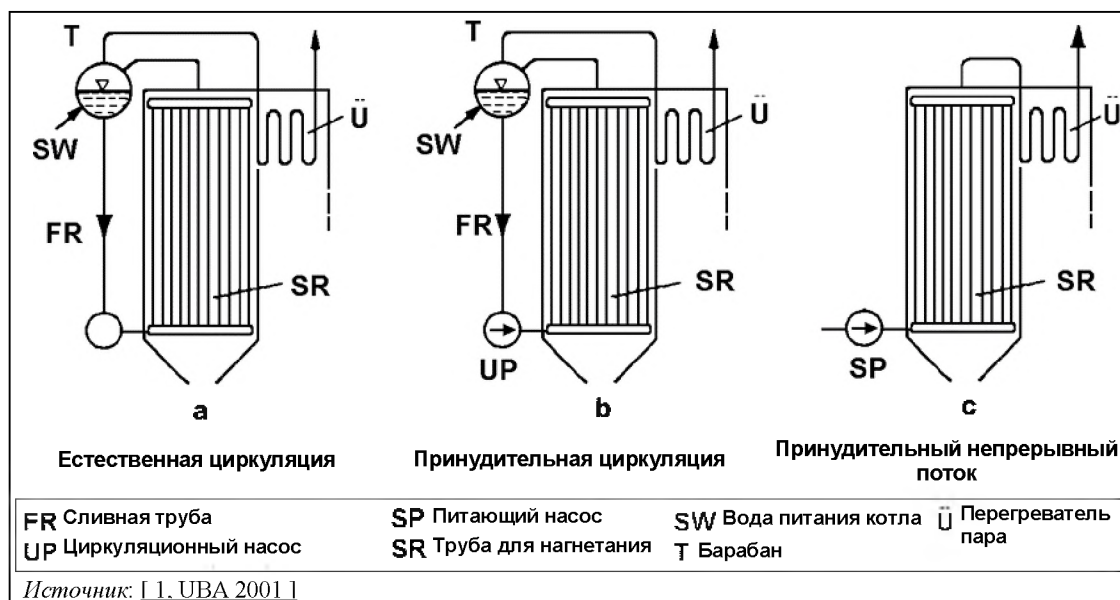


Рисунок 2.30: Основные системы регулирования потока в котле

Распылительные и поверхностные охладители используются в циркуляционных котлах, чтобы поддерживать точную требуемую температуру пара. Их функция заключается в выравнивании колебаний температуры пара, вызванных изменениями нагрузки, качества отходов и избытка воздуха, а также загрязнением поверхностей теплообмена.

Подготовка питательной воды и добавочной воды для котла имеет важное значение для эффективной работы и снижения коррозии внутри труб и риска повреждения турбины. Качество котловой воды должно быть выше при использовании повышенных параметров пара.

Компромисс необходим при определении параметров пара котлов, работающих на отходах. Выбор высоких температур и давлений пара позволит лучше использовать энергию, содержащуюся в отходах, когда конструкция установки в основном ориентирована на производство электроэнергии, но может привести к значительному увеличению коррозии, особенно на поверхностях перегревателя и в испарителе. В установках по сжиганию коммунальных отходов при получении электричества обычно установлены параметры пара 40 бар и 400°C, хотя применяются более высокие значения, особенно для предварительно подготовленных ТКО и подготовленного RDF-топлива (значения 60 бар и 520°C используются в сочетании со специальными мерами по предотвращению коррозии). В случае производства тепла может быть получен пар с более низкими параметрами или перегретая вода. Поскольку эти параметры пара являются относительно низкими по сравнению с типичными параметрами первичных топливных электростанций, на мусоросжигательных заводах практически повсеместно используются паровые котлы с естественной циркуляцией. Это позволяет избежать риска внезапного прерывания теплопередачи во время сжигания отходов в случае неисправности насоса питательной воды.

Важной особенностью сжигания отходов является высокое содержание пыли в дымовых газах. Гравитационное отделение пыли может быть улучшено за счет проектирования котельных с низкими скоростями дымовых газов и изгибами на пути потока газа.

Высокая содержание пыли в дымовых газах вызывает отложение пыли на поверхностях теплопередачи, снижая теплопередачу и общую производительность установки. Таким образом, очистка поверхностей теплообмена играет важную роль. Эту очистку можно выполнить вручную или автоматически с помощью насадок (подача сжатого воздуха или струи воды), мешалок, сажепродувателей с использованием пара, засыпания гранул (иногда дробеструйной очистки), звуковых и ударных волн или устройств для очистки резервуаров. Полученный твердый остаток извлекается на дне котла в виде котельной золы.

На мусоросжигательных заводах могут быть использованы различные конструкции котлов. На рисунке 2.31 они расположены слева направо:

- горизонтальные котлы;
- комбинирование вертикальных и горизонтальных котлов;
- вертикальные котлы.

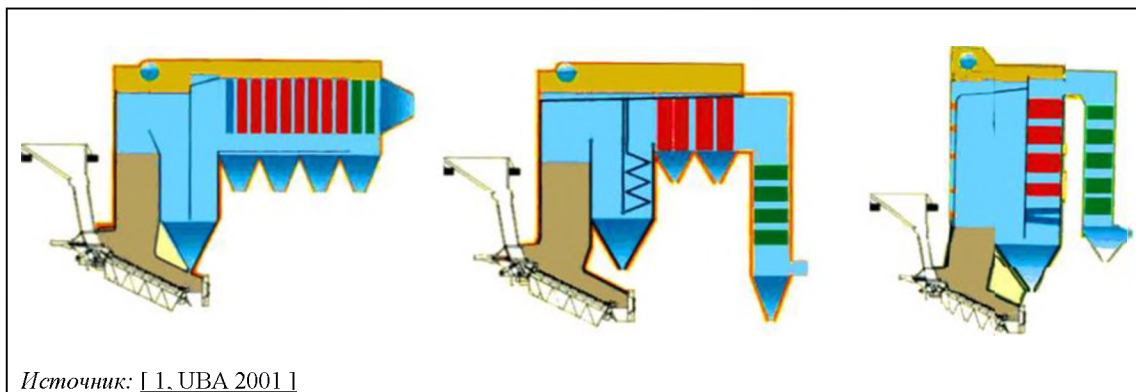


Рисунок 2.31: Обзор различных систем котлов: горизонтальных, комбинированных и вертикальных

В горизонтальных и вертикальных системах обычно за несколькими пустыми газоходами с испарительными стенками следует расположение пучков теплообменных устройств, то есть перегревателя, испарителя и экономайзера. Выбор системы для применения зависит от задания на проектирование здания, выбранных параметров пара и технического задания заказчика.

2.4.4.2.1 Коррозия в котлах

[1. UBA 2001]

Коррозия возникает в результате химического воздействия дымовых газов и частиц золы из печи. Наиболее подверженными коррозии компонентами котла считаются камера сжигания, водяной контур первого холостого (пустого) газохода и перегреватель.

Эрозия представляет собой истирание поверхностного материала в результате износа, и вызвана, прежде всего, частицами золы, присутствующими в дымовых газах. Эрозия проявляется в основном в зоне перенаправления потоков газа.

Износ труб обусловлен сочетанием коррозии и истирания. На чистых металлических поверхностях появляется коррозия. Если продукты коррозии осаждаются в виде пленки на поверхности трубы (оксидный слой), они функционируют как защитный слой и замедляют коррозию. Если этот защитный слой изнашивается в результате эрозии, и, если металлическая поверхность очищается, процесс коррозии начинается заново.

Комплексное рассмотрение коррозионных процессов затруднено, поскольку включает взаимодействие физических, химических, металлургических и кристаллографических параметров процесса сжигания.

Существуют различные виды коррозии дымовых газов:

- Сухой процесс: высокотемпературная коррозия.
- Первичная коррозия: ограниченное по времени образование хлорида железа до образования первого оксидного слоя на «чистой» стали во время запуска. Эта реакция происходит непрерывно после удаления пленки путем эрозии.
- Кислородно-дефицитная коррозия: происходит через образование FeCl_2 в бескислородной атмосфере дымовых газов, например, под пленками (такими как оксиды, загрязнения или огнеупорные материалы) и в зоне печи. FeCl_2 является достаточно летучим при температурах, являющихся рабочими для мусоросжигательной установки, и поэтому находится в подвижной форме. Индикатором такой коррозии является появление CO (это объясняет часто неправильно используемый термин углекислотная коррозия). Больше всего подвержен коррозии небольшой

участок на границе между материалом и пленкой. Эта коррозия наблюдается в отдельных случаях при давлении пара выше 30 бар, но чаще выше 40 бар. Скорость коррозии увеличивается с ростом температуры металла. Продукты коррозии появляются в виде хлопьевидных слоев.

- Высокотемпературная хлоридная коррозия: коррозия хлоридом, который выделяется при сульфатировании хлоридов щелочных металлов и воздействует на гидроксиды железа или свинца. Этот механизм коррозии наблюдается на мусоросжигательных заводах с температурой дымовых газов > 700°C и температурой стенок труб выше 400°C. Продукты коррозии можно распознать как плотные черные полые цилиндры, которые включают в себя гигроскопичный красный слой FeCl_3 в более толстых пленках.
- Коррозия солевым расплавом: дымовой газ содержит щелочь и аналогичные компоненты, которые могут образовывать эвтектические соединения, которые имеют более низкую температуру плавления, чем исходные отдельные компоненты. Эти расплавленные системы обладают высокой реакционной способностью и могут вызвать сильную коррозию стали. Они могут вступать в реакцию с огнеупорной футеровкой и приводить к внутреннему образованию таких соединений как кальсилит, лейцит и санидин, которые механически разрушают огнеупорные материалы. Они также могут образовывать низковязкие расплавы на поверхности, состоящие из отложившегося вещества и огнеупорного материала (коррозия огнеупора).
[64, TWG 2003] [74, TWG 2004]
- Электрохимическая коррозия: основана на выравнивании электродного потенциала различных металлов. Проводник может быть жидким или твердым, что показывает достаточную электропроводность при наблюдаемых температурах. Проводимость может возникать из точки росы воды, точки росы серной кислоты или из расплавленных солей.
- Коррозия в состоянии покоя: благодаря высокому содержанию хлоридов (особенно CaCl_2) отложения гигроскопичны. Влага в воздухе растворяет эти соединения и вызывает химическое растворение материала.
- Коррозия точки росы: когда температура падает ниже точки росы кислоты, на холодных поверхностях появляется влажная химическая коррозия. Этого повреждения можно избежать, повысив температуру или выбрав подходящий материал.

В действительности, с термодинамической точки зрения, определённая степень коррозии неизбежна. Защитные меры только помогают снизить коррозионное повреждение до приемлемого уровня. Причины коррозии требуют разработки мер защиты как во время проектирования, так и во время эксплуатации. Возможности улучшения защиты в основном обнаружены в парогенераторе. Низкие параметры пара, длительное время до контакта дымового газа с нагретыми поверхностями, снижение скорости дымового газа и выравнивание профиля скорости – все это может быть эффективным. Защитные оболочки, инструменты, штамповки и дефлекторы также могут быть использованы для защиты нагреваемых поверхностей.

Необходимо найти баланс в интенсивности очистки котла между наилучшей возможной теплопередачей (поверхность металлической трубы) и оптимальной защитой от коррозии.

2.4.4.3 Предварительный нагрев воздуха для горения

Предварительный нагрев воздуха для горения необходим для повышения эффективности сжигания отходов с высоким содержанием влаги. Предварительно подогретый воздух просушивает отходы, тем самым облегчая их воспламенение. Подаваемое тепло может быть получено от сжигания отходов с помощью систем теплообмена.

Предварительный нагрев первичного воздуха для горения может положительно влиять на общую энергоэффективность в случае производства электроэнергии.

2.4.4.4 Колосниковые решётки с водяным охлаждением

Водяное охлаждение колосниковых решеток используется для защиты решетки. Вода используется в качестве охлаждающей среды для отбора тепла из горящего слоя отходов и использования его в

других стадиях процесса. Обычно отводимое тепло используется в процессе предварительного нагрева воздуха для горения (первичного и/или вторичного воздуха) или нагрева конденсата. Другим вариантом является непосредственное включение водяного охлаждения в контур котла, используя его как испаритель.

Эти решетки применяются для отходов с более высокой НТС, обычно выше 10 МДж/кг. Повышение теплотворной способности коммунальных отходов, наблюдаемое в Европе, привело к распространению применения этой технологии.

Существуют и другие причины использования решеток с водяным охлаждением – они описываются в разделе 2.3.1.2.

2.4.4.5 Конденсация дымовых газов

[5, RVF 2002]

Вода в дымовых газах состоит из испаренной свободной воды из топлива и реакционной воды от окисления водорода, а также водяных паров в воздухе для горения. При сжигании отходов содержание воды в дымовых газах после котла и экономайзера обычно колеблется от 10 до 20 %об., что соответствует точкам росы воды около 50–60°C. При очистке котла паром содержание воды в дымовых газах увеличивается примерно до 25%.

Минимально возможная температура сухого газа в этой точке составляет 130–140°C при использовании обычных конструкционных материалов котла. Эта температура в основном связана с необходимостью быть выше температуры конденсации кислоты, которая связана с содержанием SO₃ и воды в дымовых газах.

Более низкие температуры приводят к коррозии. Тепловой КПД котла (пар или горячая вода из отходов), рассчитанный на основе теплотворной способности вводимых отходов, в этих условиях будет составлять около 85%. Однако, если в дымовых газах будет больше доступной энергии, то будет образовываться водяной пар, который имеет потенциальную удельную энергию около 2500 кДж/кг, и сухой газ с удельной теплотой около 1 кДж/(кг°C).

Возврат воды из центрального теплоснабжения при температуре 40–70°C (в зависимости от конфигурации системы) может использоваться непосредственно для охлаждения и конденсации водяных паров в дымовых газах. Эта система распространена на установках, работающих на биотопливе, которое обычно очень влажное и имеет температуру конденсации воды 60–70°C в дымовых газах.

Конденсация может быть эффективной только в том случае, если существует достаточно большая разница температур между точкой росы воды в дымовых газах и охлаждающей воде (обычно возвратная вода для централизованного теплоснабжения). Если это условие не выполняется, могут быть установлены тепловые насосы (см. раздел 2.4.4.6).

Следует отметить, что в этом случае возврат холодной воды из централизованного теплоснабжения стимулирует конденсацию дымовых газов. Такая ситуация характерна для регионов с более низкими температурами окружающей среды, в основном в северной Европе.

2.4.4.6 Тепловые насосы

[5, RVF 2002]

Основная цель тепловых насосов состоит в том, чтобы преобразовать энергию до более высокого уровня. На мусоросжигательных установках работают три различных типа тепловых насосов. Их описание с примерами приведены ниже.

2.4.4.6.1 Тепловые насосы с приводом от компрессора

Это самый широко известный тепловой насос. К примеру, он установлен в холодильниках, кондиционерах, охлаждающих установках, осушителях, наземных тепловых насосах и воздушных тепловых насосах. Обычно электрический двигатель приводит в действие насос, но для больших установок могут использоваться компрессоры с паровой турбиной.

В замкнутом контуре холодильный агент (например, R134a) циркулирует через конденсатор, детандер, испаритель и компрессор. Компрессор сжимает вещество, которое конденсируется при более высокой температуре и подает тепло в воду центрального теплоснабжения/теплофикационную воду. Там вещество расширяется с понижением давления, что заставляет его испаряться и поглощать тепло из воды из конденсатора дымовых газов, которая имеет более низкую температуру. Таким образом, энергия с низкой температурой в воде из конденсатора дымовых газов была передана в систему центрального теплоснабжения с более высокой температурой. При стандартных условиях сжигания соотношение между выходящим теплом и мощностью компрессора (отношение тепла к мощности) может достигать 5. Тепловой насос с приводом от компрессора может использовать очень большую долю энергии отходящих газов.

2.4.4.6.2 Абсорбционные тепловые насосы

Подобно насосам компрессорного типа, абсорбционные тепловые насосы были изначально разработаны для охлаждения. Коммерческие тепловые насосы работают с водой в замкнутом контуре через генератор, конденсатор, испаритель и абсорбер. Вместо сжатия циркуляция поддерживается за счет поглощения воды в солевом растворе, обычно бромиде лития, в абсорбере. Разбавленный водно-солевой раствор закачивается в генератор. Там вода испаряется при помощи горячей воды или пара низкого давления, а затем конденсируется в конденсаторе при более высокой температуре. Тепло передается к воде центрального теплоснабжения/теплофикационной воде. Концентрированный солевой раствор возвращается обратно в абсорбер. Процесс контролируется с помощью давления в системе – по отношению к давлению паров жидкостей, воды и бромида лития.

Потребление электроэнергии очень низкое, благодаря небольшому насосу между поглотителем и генератором, в котором мало движущихся частей. Соотношение между выходящим теплом и мощностью абсорбера обычно составляет около 1,6.

2.4.4.6.3 Открытые тепловые насосы

Принцип работы открытого теплового насоса заключается в уменьшении содержания воды в дымовых газах после конденсатора с использованием тепло- и влагообменника с использованием воздуха в качестве промежуточной среды.

Более высокое содержание воды в дымовых газах в конденсаторе означает более высокую температуру конденсации и большую разницу между точкой росы подводимой воды и точкой росы возвратной воды из системы центрального теплоснабжения.

2.4.4.6.4 Характеристики различных тепловых насосов

В следующей таблице собраны данные трех разных заводов в Швеции, каждый из которых использует тепловые насосы одного из типов, описанных выше.

Как видно из таблицы, использование тепловых насосов повышает потребление электроэнергии; следовательно, чистая электрическая мощность уменьшается. Однако тепловая мощность увеличивается.

Таблица 2.12: Пример данных, показывающих изменение выработки тепла и электроэнергии на трех разных станциях в Швеции при использовании различных видов тепловых насосов

	Пример 1	Пример 2	Пример 3
Тип теплового насоса	С приводом от компрессора	Абсорбционный тепловой насос	Открытый тепловой насос
Чистая тепловая мощность с использованием теплового насоса	82	80	81
Чистая тепловая мощность без теплового насоса	60	63	70

	Пример 1	Пример 2	Пример 3
Тип теплового насоса	С приводом от компрессора	Абсорбционный тепловой насос	Открытый тепловой насос
Изменение тепловой мощности	+37 %	+28 %	+16 %
Чистая выработка электроэнергии с использованием теплового насоса	15	15	0
Чистая выработка электроэнергии без теплового насоса	20	19	0
Изменение производства электроэнергии	-25 %	-21 %	0
Примечание: Данные относятся к потребляемой мощности в 100%, поэтому все числа выражены в процентах. Используемый тип в примере 3 не производит электричество.			
Источник: [5, RVF 2002]			

2.4.4.7 Рециркуляция дымовых газов

Некоторая часть (приблизительно 10–20% об.) (обычно очищенных) дымовых газов рециркулируется, обычно после предварительной очистки, для замены вторичного воздуха, подаваемого в камеру сжигания.

Данная технология позволяет снизить потери тепла с дымовыми газами и повысить энергоэффективность процесса примерно на 0,75–2%. Дополнительным преимуществом также является снижение образования NO_x.

Облицовка рециркуляционного воздуховода является эффективным средством от коррозии в этом участке.

2.4.4.8 Рекуперация тепла, используемого для подогрева дымовых газов, до рабочей температуры устройств очистки дымовых газов

Для эффективной работы некоторое газоочистное оборудование требует повторного нагрева дымовых газов. В качестве примеров можно привести конечные этапы процесса СКВ и рукавные фильтры, для которых обычно требуется температура около 200–250°C и 140–190°C соответственно.

Энергия для нагрева газов может быть получена из:

- внешних источников энергии (например, электрические нагреватели, газовые или масляные горелки);
- использования тепла или энергии, получаемых в процессе сжигания (например, отвод пара из турбины).

Использование теплообменников для отведения тепла от оборудования снижает потребность во внешнем потреблении энергии. Это реализуется там, где на следующей стадии процесса не требуется, чтобы температура дымовых газов была такой же высокой, как температура на выходе предыдущего участка технологической линии.

2.4.4.9 Модернизация пароводяного цикла: влияние на эффективность и другие аспекты

Выбор пароводяного цикла, как правило, будет оказывать гораздо большее влияние на энергоэффективность установки, чем улучшение отдельных элементов системы, и, следовательно, обеспечит возможность для более широкого использования энергии отходов.

В следующей таблице приведены примеры технологий, используемых для улучшения рекуперации энергии на заводе по переработке отходов, а также оценка их эффективности, преимуществ и

недостатков. Приведенные цифры были рассчитаны для одной типичной установки, которая производила только электричество [50, CNIM 2003].

Таблица 2.13: Модернизация пароводяного цикла: влияние на эффективность и другие аспекты

Метод	Увеличение полезной мощности (прибл.) и другие преимущества	Недостатки
Увеличение давления пара	3% для 60 бар вместо 40 бар	I. Увеличение инвестиционных затрат II. Незначительно увеличивается риск коррозии
Уменьшение вакуума на выходе турбины (например, для улучшения вакуума можно использовать гидроконденсатор)	1–2% для снижения на 20 мбар	III. Значительное увеличение инвестиционных затрат (площадь воздушного конденсатора: + 10% между 120 мбар и 110 мбар при температуре воздуха 15°C) IV. Увеличение размера и шума V. Неопределенность в отношении обязательств поставщиков для очень низкого давления
Нагрев вторичного воздуха	0.7–1.2 %	VI. Сложность и увеличение стоимости, для установки 2 воздушных вентиляторов
Подогрев воздуха в 2 этапа (то есть 2 выпуска на турбине)	1–1.5 %	VII. Увеличение стоимости VIII. Увеличение площади
Установка конденсатного нагревателя	0.5–1.2 %	IX. Стоимость оборудования и трубопроводов X. Не обязательно применимо для небольших турбогенераторов TG. XI. Проблема коррозии может возникнуть, в частности, на переходных этапах (запуск, отключение и т.д.)
Переработка части дымовых газов	0,75–2% для уменьшения на 1% сухого O ₂ ----- Снижение уровня NO _x прибл. на 100 мг/Нм ³	XII. Увеличение инвестиционных затрат XIII. Уменьшение содержания O ₂ снижает практическую заинтересованность к переработке дымовых газов. XIV. Проблема коррозии может возникнуть, в частности, на переходных этапах (запуск, отключение и т. д.)
Уменьшение температуры дымовых газов на выходе из котла	0,4–0,7% при температуре ниже 10°C между 190 и 140°C	XV. Температура на выходе из котла определяется в соответствии с типом системы очистки дымовых газов
Использование CHKB de-NO _x вместо СКВ	3–6% в зависимости от используемых процессов	XVI. Смотрите обсуждения о СКВ и CHKB de-NO _x
Оптимизация выбора системы турбогенератора	Мгновенная от 1 до 2%, но значительно большая разница в течение длительного периода времени при низкой доступности	XVII. Некоторые системы турбогенераторов имеют более высокую эффективность при нормальных условиях, но более низкую надежность, пригодность и/или гибкость при неполной нагрузке
Снижение содержания O ₂ в дымовых газах на 1% (в диапазоне 6–10%)	Увеличение на 1–2%	XVIII. При более низком содержании O ₂ , может увеличиться содержание CO XIX. Низкое содержание кислорода может увеличить риск коррозии

Источник: [50, CNIM 2003]

2.5 Применяемые системы очистки и контроля дымовых газов

2.5.1 Краткое описание применяемых технологий ОДГ

Системы очистки дымовых газов состоят из комбинации отдельных технологических установок, которые вместе обеспечивают общую систему очистки дымовых газов. Сочетание применяемых систем различен для разных потоков отходов. В этой главе представлено описание отдельных технологических единиц, систематизированных в соответствии с веществами, по которым проводится очистка.

Некоторые методы очистки дымовых газов также подробно разъясняются в Справочном документе по НДТ для очистки производственных сточных вод и отходящих газов/Системы менеджмента в химической промышленности (CWW), опубликованном в июле 2016 года.

В приведенной ниже таблице 2.14 приводится сводная информация о применении некоторых систем в секторе сжигания отходов на основе данных предприятий, участвовавших в сборе данных за 2016 год. [81, TWG 2016]

Таблица 2.14: Сводная информация об основных системах очистки дымовых газов, применяемых на контрольных линиях мусоросжигательных заводов, которые участвовали в сборе данных за 2016 год

Государство	Количество линий мусоросжигательных заводов с различными системами очистки дымовых газов											
	Уменьшение кислотности						Уменьшение пылеобразования			Уменьшение NO _x		
	ВСС	полу-МС	МС	ВСС и МС	полу-МС и МС	ВСС и полу-МС	ЭСФ	ЭСФ и РФ	РФ	СНКВ	СНКВ и СКВ	СКВ
Австрия	1	1	5	7	0	0	4	1	9	0	0	14
Бельгия	1	0	4	6	1	4	7	8	2	10	0	8
Чехия	0	0	0	0	0	2	0	0	2	2	0	0
Дания	2	0	1	4	0	0	0	3	3	7	0	0
Финляндия	3	0	0	4	0	1	0	3	5	7	0	1
Франция	30	2	18	8	4	8	19	17	38	33	0	30
Германия	22	5	39	32	0	11	39	25	46	43	3	53
Венгрия	0	2	0	0	0	0	0	0	2	2	0	0
Италия	26	0	2	5	0	0	0	13	20	9	13	11
Нидерланды	1	0	2	3	0	0	1	3	2	2	0	4
Норвегия	0	0	0	6	0	0	2	1	3	5	0	1
Польша	7	0	1	1	0	0	1	2	4	5	3	0
Португалия	0	0	0	0	0	7	0	0	7	7	0	0
Испания	4	1	1	0	0	12	1	1	16	8	0	10
Швеция	1	0	2	4	0	0	2	0	5	5	0	1
Великобритания	14	2	4	6	0	3	1	4	24	25	0	0
Всего линий	112	12	79	86	5	49	77	81	188	170	19	133
Примечание: ВСС = ввод сухого сорбента; полу-МС = полумокрый скруббер; МС= мокрый скруббер; РФ= рукавный фильтр, ЭСФ = электрофильтр. 2. Другие комбинации операций устройства очистки дымовых газов применяются, но не включены в таблицу Источник: [81, TWG 2016]												

2.5.2 Обзор вариантов комбинированных систем ОДГ

Для обеспечения эффективной работы общей системы очистки от загрязняющих веществ, которые содержатся в дымовых газах, отдельные установки очистки дымовых газов объединяются в одну систему. Существует множество отдельных компонентов и конструкций, и они могут комбинироваться разными способами. Схема ниже показывает примерные варианты и их возможную комбинацию. Видно, что в этой оценке в общей сложности 408 различных комбинированных систем.

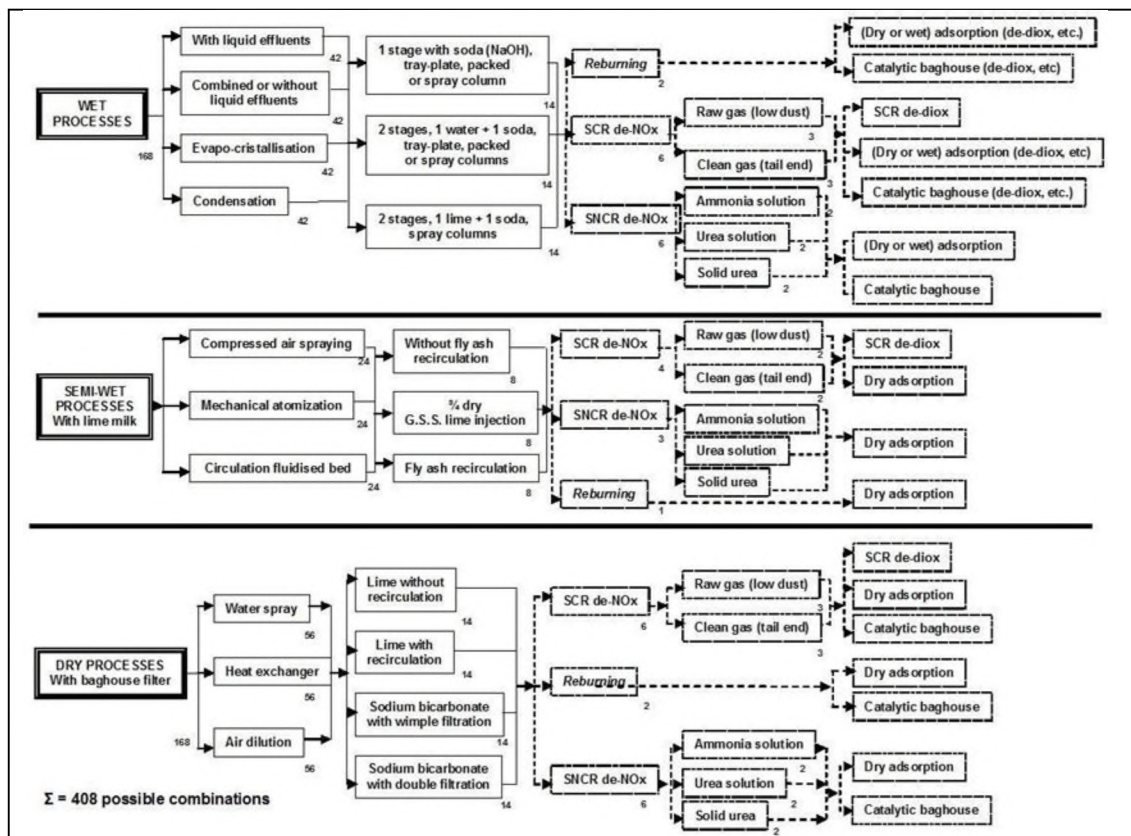


Рисунок 2.32: Обзор возможных комбинаций систем очистки дымовых газов

2.5.3 Методы снижения выбросов пыли

[1. UBA 2001] Выбор оборудования для очистки от пыли от дымовых газов в основном определяется:

- содержанием пыли в потоке газа;
- средним размером частиц;
- распределением частиц по размерам;
- расходом газа;
- температурой дымовых газов;
- совместимостью с другими компонентами всей системы очистки дымовых газов (т.е. общая оптимизация);
- требуемыми концентрациями на выходе.

Некоторые параметры практически всегда неизвестны (например, распределение частиц по размерам или средний размер частиц) и являются эмпирическими показателями. Доступные варианты обработки или удаления осажденных веществ также могут влиять на выбор системы очистки дымовых газов, т.е. если имеется выводное устройство для обработки и использования летучей золы, ее можно собирать отдельно, а не с другими остатками очистки дымовых газов.

[74. TWG 2004]

2.5.3.1 Электростатические фильтры

[1. UBA 2001]

Электростатические фильтры иногда называют электростатическими осадителями. Эффективность удаления пыли с помощью электростатических фильтров в основном зависит от удельного электрического сопротивления пыли. Если удельное сопротивление пылевого слоя возрастает до значений выше приблизительно от 10^{11} до 10^{12} Ом, то эффективность удаления снижается. На удельное сопротивление пылевого слоя влияет состав отходов. Таким образом, оно может быстро меняться с изменением состава отходов, особенно при сжигании опасных отходов. Сера в отходах (и содержание воды при рабочих температурах ниже 200°C [64. TWG 2003]) часто снижает удельное сопротивление пылевого слоя за счет образования SO_2 (SO_3) в дымовых газах и, следовательно, способствует осаждению в электрическом поле.

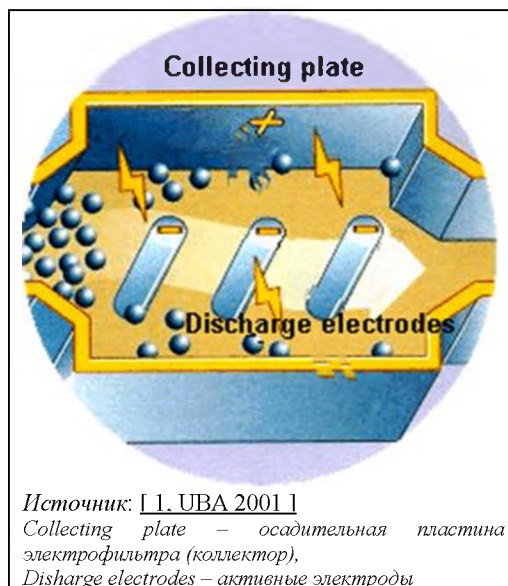


Рисунок 2.33: Принцип действия электростатического осадителя

Для осаждения мелкой пыли и аэрозолей устанавливаются устройства, которые поддерживают воздействие электрического поля путем образования капель в дымовых газах (предварительно установленные конденсационные и мокрые электрофильтры, конденсационные электрофильтры, электродинамические скрубберы Вентури, ионизирующие распыляющие охладители) и могут повысить эффективность удаления.

Стандартные рабочие температуры для электрофильтров – $160\text{--}260^{\circ}\text{C}$. Эксплуатации фильтров при более высоких температурах (например, выше 250°C) обычно избегают, поскольку это может увеличить риск образования ПХДД/Ф.

2.5.3.2 Мокрые электрофильтры

Мокрые электрофильтры основаны на том же технологическом принципе работы, что и электростатические фильтры. Однако при такой конструкции осажденная пыль на пластинах коллектора смывается жидкостью, обычно водой. Это может осуществляться непрерывно или периодически. Данный метод эффективен в случаях, когда в электрофильтр попадает влажный или холодный дымовой газ. [1. UBA 2001]

2.5.3.3 Конденсационные электрофильтры

Конденсационный электрофильтр используется для осаждения очень мелких, твердых, жидких или липких частиц, например, в дымовых газах от установок по сжиганию опасных отходов. В отличие от обычных мокрых электрофильтров, поверхности сбора конденсационных электрофильтров состоят из вертикальных пластиковых труб, расположенных в виде пучков, которые снаружи охлаждаются водой. [1. UBA 2001]

Дымовой газ, содержащий пыль, сначала охлаждается до температуры точки росы при охлаждении путем прямого впрыска воды, а затем насыщается паром. При дальнейшем охлаждении газов в коллекторных трубах, на внутренней поверхности труб в результате конденсации пара образуется тонкий слой жидкости. Такой слой электрически заземлен и, таким образом, служит пассивным электродом.

Частицы осаждаются под воздействием электрического поля между разрядными электродами, закрепленными на осях труб, и слоем конденсата в непрерывном потоке. В то же время слой конденсата также обуславливает непрерывное удаление осажденных частиц из зоны осаждения. Смываются даже нерастворимая в воде пыль и плохо впитывающая влагу сажа. Постоянное смачивание предотвращает появление сухих пятен и налипаний, которые могут вызвать искрение (электрические разряды между электродами). Избежание искрения позволяет повысить напряжение осаждения, что, в свою очередь, приводит к улучшенным и стабильно высоким показателям осаждения (см. рис. 2.34).

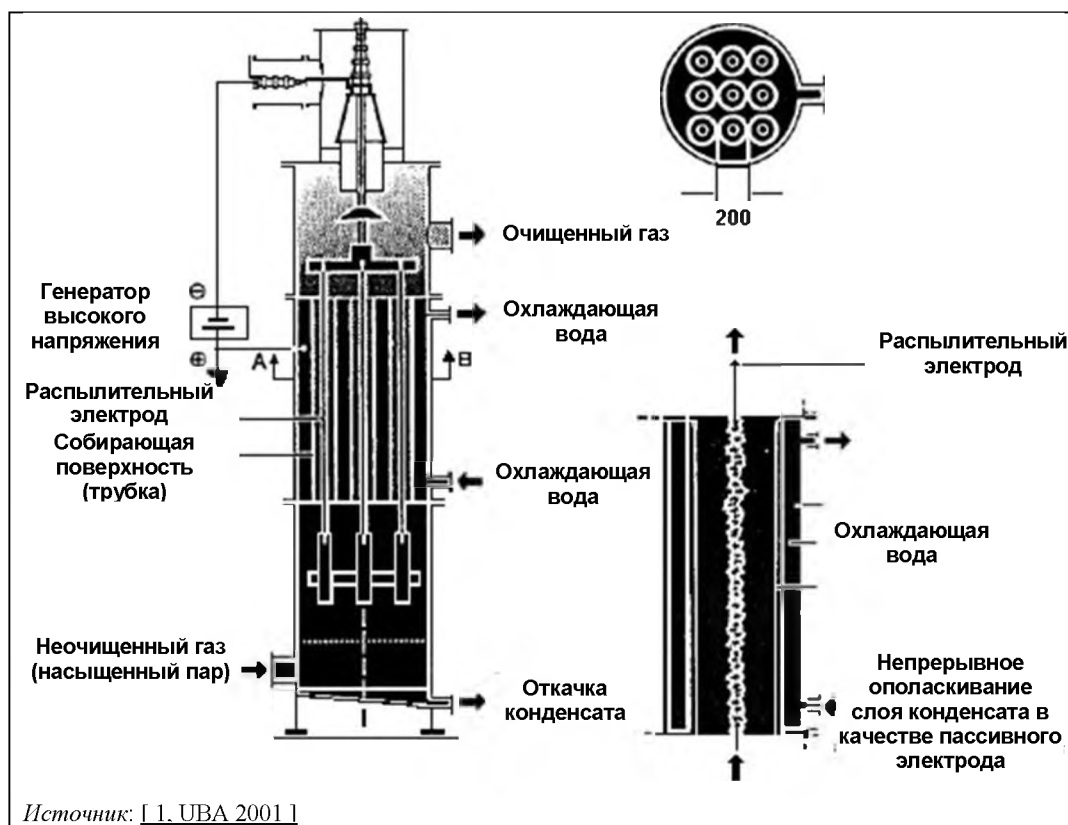


Рисунок 2.34: Конденсационный электрофильтр

2.5.3.4 Ионизирующие мокрые скрубберы

Задача ионизирующего мокрого скруббера (ИМС) состоит в удалении различных загрязняющих веществ из потока дымовых газов [1. UBA 2001]. Ионизирующий мокрый скруббер сочетает в себе следующие технологические принципы:

- электростатическая зарядка частиц, электростатическое притяжение и осаждение аэрозолей (менее 5 мкм);
- вертикальное осаждение крупных, жидких и твердых частиц (более 5 мкм); а также
- поглощение опасных, едких и пахучих газов.

Ионизирующий мокрый скруббер представляет собой комбинацию электростатического фильтра и скруббера с насадкой. Он потребляет мало энергии и обладает высокой эффективностью осаждения частиц не только в субмикронном, но и в микронном диапазоне.

Зона высокого напряжения устанавливается перед каждой ступенью насадочной башни. Функция

зоны высокого напряжения заключается в ионизации частиц (пыль, аэрозоли, субмикронные частицы), содержащихся в дымовых газах. Отрицательно заряженные частицы создают противоположные заряды на нейтральной поверхности смачиваемого насадочного материала и падающих капель воды. В результате они притягиваются к поверхностям жидкости и затем вымываются в насадочной секции. Это называется силой, создаваемой зеркальным изображением заряда (IF- притяжение), то есть притяжением посредством сдвига электронов. Опасные, едкие и дурнопахнущие газы также абсорбируются в одной жидкости скруббера и объединяются для сброса в стоки скруббера.

Другой тип ионизирующего мокрого скруббера включает трубку Вентури. Изменения давления, происходящие в трубке Вентури, позволяют мелким частицам укрупняться, и электрод заряжает их. Затем они собираются в плотный слой капель воды, благодаря насадке, служащей в качестве собирающего электрода. [74, TWG 2004]

2.5.3.5 Рукавные фильтры

Рукавные фильтры, также называемые мешочными фильтрами или тканевыми фильтрами, очень широко используются на мусоросжигательных заводах. Эффективность фильтрации очень высока в пределах широкого диапазона размеров частиц. При размерах частиц ниже 0,1 микрон эффективность снижается, но доля этих частиц в потоке дымовых газов от мусоросжигательных заводов является относительно низкой. С помощью этой технологии достигаются низкие выбросы пыли. Эта технология может также применяться после электростатического фильтра и мокрых скрубберов. [74, TWG 2004]

Для эффективной работы важна совместимость фильтрующего материала с характеристиками дымовых газов и пыли, а также рабочая температура фильтра. Фильтрующий материал должен обладать подходящими свойствами для термической, физической и химической стойкости (например, гидролиз, кислота, щелочь, окисление). Скорость потока газа определяет необходимую поверхность фильтрации, то есть скорость фильтрации.

Механические и термические нагрузки на фильтрующий материал определяют срок службы, требования к энергии и техническому обслуживанию.

При непрерывной работе происходит постепенное снижение давления возле фильтрующего материала из-за отложения частиц. Когда используются сухие системы очистки, образование осадка на поверхности материала способствует удалению кислот. Как правило, перепад давления на фильтре используется для контроля необходимости очистки. Периодическая замена требуется, когда заканчивается срок службы или в случае повреждения (например, возрастающее снижение давления может быть вызвано отложением мелкой пыли на фильтрующем материале). Несколько параметров помогают контролировать срок службы фильтров: скорость падения давления, визуальный или микроскопический анализ и т.д. Также будут обнаруживаться возможные повреждения в рукавном фильтре, которые можно будет обнаружить по увеличению выбросов или нарушению параметров процесса [64, TWG 2003].

Системы рукавных фильтров обычно состоят из нескольких камер, где секции могут быть изолированы одна от другой для возможности технического обслуживания. Обычной практикой является проектирование системы для работы на полную мощность, когда одна секция не работает, чтобы облегчить обслуживание под нагрузкой и сократить время простоя. Тем не менее, могут быть ограничения на то, какие ремонтные работы могут быть выполнены при работающей установке по сжиганию, например, наружная часть автономной секции может быть слишком горячей, чтобы обеспечить безопасный доступ персонала из-за того, что соседние секции находятся в эксплуатации.



Источник: [1. UBA 2001]

Рисунок 2.35: Пример рукавного фильтра

Выбор материала фильтра

Фильтрующий материал выбирается таким образом, чтобы наилучшим образом соответствовать физическим и химическим параметрам, в которых он будет работать.

Основные характеристики тканей для использования в газовой фильтрации включают максимальную рабочую температуру и устойчивость к кислотам, щелочам и деформации (в результате очистки мешка). Влажность газа также может влиять на прочность и формоустойчивость тканей из-за гидролиза. Некоторые основные свойства используемых волокна приведены ниже; некоторые материалы могут быть покрыты или пропитаны специальными химическими веществами (например, серой). [74. TWG 2004]

Таблица 2.15: Эксплуатационные характеристики различных материалов рукавных фильтров

Ткань	Максимальная температура (°C)	Сопротивляемость		
		Кислота	Щелочь	Физическая гибкость
Хлопок	80	Слабая	Хорошая	Очень хорошая
Полипропилен	95	Отличная	Отличная	Очень хорошая
Шерсть	100	Удовлетворительная	Слабая	Очень хорошая
Полиэстер	135	Хорошая	Хорошая	Очень хорошая
Нейлон	205	Слабая-удовлетворительная	Отличная	Отличная
ПТФЭ	235	Отличная	Отличная	Удовлетворительная
Полиамид	260	Хорошая	Хорошая	Очень хорошая
Стекловолокно	260	Удовлетворительная-хорошая	Удовлетворительная-хорошая	Удовлетворительная
Примечание: Не все эти материалы обычно используются при сжигании – см. эксплуатационные данные ниже. Источник: [2, InfoMil 2002] [67, Inspec, 2004]				

Повышение температуры может привести к расплавлению любых пластиковых компонентов в тканевом материале, а также к возможности возгорания. Высокая влажность в дымовых газах может привести к слипанию фильтрующих материалов и выхода из строя оборудования. [74, TWG 2004] ПТФЭ покрытие листов/фольги может быть использовано для более эффективного удаления липких солей и твердых частиц из фильтров. Известно, что благодаря использованию ПТФЭ на установках сжигания ТКО в Праге (Чехия) и в Швандорфе (Германия) было достигнуто улучшение эксплуатационных параметров полувлажных систем (см. также раздел 2.5.4).

Известно, что в установках сжигания ТКО обычно не используется несколько фильтрующих материалов, например, хлопок, шерсть, пропилен. В установках сжигания ТКО основными материалами фильтров являются полиамид, ППС (редко), ПТФЭ и стекловолокно (с покрытием ПТФЭ или без него). Некоторые волокна могут быть объединены (например, полиамид и ПТФЭ для большей устойчивости при высоких температурах).

Химические реакции в абсорбирующей среде могут повлиять на рабочую температуру. Качество сетки также важно, как и качество волокна. [2, InfoMil 2002], [64, TWG 2003]

Специальные мешочные фильтры могут включать каталитические элементы для уменьшения содержания NO_x и/или для уничтожения ПХДД/Ф (см. разделы 4.5.4.5 и 4.5.5.4).

2.5.3.6 Циклоны и мультициклоны

[64, TWG 2003]

Циклоны и мультициклоны используют центробежные силы для отделения пыли от газового потока. Мультициклоны отличаются от отдельных циклонов тем, что они состоят из множества небольших циклонных блоков. Поток газа поступает в сепаратор по касательной и выходит из центральной полости. Твердые частицы вытесняются наружу циклона и собираются по бокам для удаления.

Циклоны сами по себе не могут достичь требуемых уровней выбросов пыли. Тем не менее, они могут играть важную роль, если их применять в качестве предварительного пылеулавливателя перед другими этапами обработки дымовых газов, в снижении содержания пыли, подлежащей окончательной обработке. Потребность циклонов в энергии, как правило, низкая, поскольку перепад давления на циклоне практически отсутствует.

Основным преимуществом циклонов является их широкий диапазон рабочих температур и прочная конструкция. Эрозия циклонов, особенно в местах попадания грязных дымовых газов, может быть проблемой, когда дымовой газ сильно загрязнен твердыми частицами, и особенно когда материал слоя выходит из установок с кипящим слоем. Установки с циркуляционным кипящим слоем обычно включают в себя циклон для удаления и рециркуляции материала слоя в печь.

2.5.3.7 Скруббер Вентури

Скруббер Вентури состоит из трех секций: сходящейся секции, небольшой горловины и расходящейся секции. Входящий поток газа поступает в сужающуюся секцию, и по мере того, как площадь поперечного сечения потока уменьшается, скорость газа увеличивается. В то же время, сбоку по патрубкам в сужающуюся секцию (или в горловину) поступает жидкость. Входящий газ перемещается с очень высокой скоростью в небольшом горловом участке, отрывает жидкость от его стенок, создавая большое количество очень маленьких капель.

Удаление частиц и газа происходит в горловой секции, когда поток газа на входе смешивается с облаком крошечных капель жидкости. Затем входящий поток выходит через расходящуюся секцию, где скорость газа уменьшается.

Скрубберы Вентури могут быть использованы как для очистки газа от твердых частиц, так и для очистки от газообразных загрязняющих веществ. Однако они наиболее эффективны для очистки газа от частиц, чем для очистки от инородных газов.

Конструкция может быть основана на одной трубке Вентури для полного потока дымовых газов или на нескольких соплах Вентури. Падение давления и производительность можно контролировать путем впрыскивания очищающей жидкости выше по потоку от трубки Вентури или в горловину Вентури и/или путем механической регулировки отверстия в горловине Вентури.

Установка скруббера Вентури в многоступенчатой системе мокрой очистки может быть на входе (закалка Вентури), промежуточным (например, ниже по течению от стадии закалки/уплотненного слоя) или в конце в качестве последней стадии очистки.

Скрубберы Вентури обычно комбинируют с установками предварительной очистки от сухой пыли (например, с помощью электростатического фильтра) и/или с подачей активированного угля перед мокрым скруббером (для удаления диоксинов/ртути).

[77, ESWET, 2015]

2.5.4 Методы снижения выбросов кислых газов (например, HCl, HF и SO_x)

Кислотные газы, такие как диоксид серы и газообразные галогениды, извлекаются из дымовых газов, как правило, путем введения щелочных реагентов, которые вступают в контакт с дымовыми газами. В зависимости от технологии продукты реакции являются растворенными или сухими солями. [1, UBA 2001]

Применяются следующие процессы очистки дымовых газов:

Мокрые процессы:

Поток дымовых газов подается в воду, перекись водорода и/или моющий раствор, содержащий часть реагента (например, раствор гидроксида натрия, микросуспензия известняка). Продуктом реакции является водный раствор.

Полумокрые процессы:

Также называются полусухими. Сорбирующий агент, добавляемый к потоку дымовых газов, представляет собой водный раствор (например, известковое молоко) или суспензию (например, в виде глинистого раствора) или сухую гидратированную известь с отдельной подачей воды. Водный раствор испаряется и продукты реакции становятся сухими. Остаток можно рециркулировать для улучшения использования реагента.

Сухие процессы:

Сухой сорбирующий агент (например, гашеная известь, известь с высокой пористостью или с высокой удельной поверхностью, бикарбонат натрия) добавляется в поток дымовых газов. Продукт реакции также сухой.

2.5.4.1 Мокрые процессы

В мокрой очистке дымовых газов используются различные типы конструкции скрубберов, например:

- форсуночные скрубберы;
- вращающиеся скрубберы;
- скрубберы Вентури;
- сухие башенные скрубберы;
- безнасадочные скрубберы (разбрызгивающие);
- насадочные скрубберы башенного типа.

Раствор скруббера (в случае подачи только воды) очень кислый (обычно pH 0–1) из-за кислот, образующихся в процессе поглощения. При низких значениях pH (первая стадия) главным образом удаляются HCl и HF. Сточные воды с первой стадии многократно рециркулируются с небольшим добавлением пресной воды и отводом из скруббера для поддержания эффективности удаления кислых газов. В кислой среде поглощение SO₂ низкое, поэтому для его удаления требуется вторая стадия работы скруббера.

Удаление диоксида серы достигается на второй стадии (промывания), во время которой происходит дозированное внесение раствора гидроксида натрия или извести, и работа происходит при pH близком к нейтральному или щелочному (обычно pH 6–7). По техническим причинам это удаление происходит на отдельной стадии промывки, на которой, кроме этого, происходит дальнейшее удаление HCl и HF.

Если обезвреженные отходы содержат бром и йод – эти элементы могут осаждаться из потока дымовых газов, если серу – сжигание осуществляется одновременно. В дополнение к соединениям серы образуются водорастворимые соли брома и йода, которые могут осаждаться в процессе влажной очистки дымовых газов от SO₂. Кроме того, осаждение элементарного брома и йода может быть улучшено за счет специфического использования восстановительных стадий промывки (раствор сульфита, раствор бисульфита). В любом случае важно знать какие отходы содержат йод или бром.

Если известковое или известняковое молоко используется в качестве нейтрализующего агента на мокрых стадиях очистки дымовых газов, сульфат (гипс), карбонаты и фториды будут накапливаться в виде нерастворимых в воде остатков. Эти вещества могут быть удалены, чтобы уменьшить содержание соли в сточных водах и, следовательно, снизить риск образования отложений в системе очистки. Остатки процесса очистки (например, гипс) могут быть извлечены. При использовании раствора гидроксида натрия такой риск отсутствует, поскольку продукты реакции растворимы в воде. Если используется NaOH, то может образоваться CaCO₃ (в зависимости от жесткости воды), что снова приведет к образованию отложений в скруббере. Эти отложения необходимо периодически удалять путем подкисления.

На приведенной ниже схеме показана типичная двухступенчатая система мокрой очистки. Количество стадий очистки обычно варьируется от одной до четырех, при этом в каждую емкость включается несколько ступеней.



Рисунок 2.36: Схема двухступенчатого мокрого скруббера с удалением пыли вверх по потоку

Мокрая очистка увеличивает влажность дымовых газов и, следовательно, видимость струи (шлейфа загрязнения), особенно при низкой температуре окружающей среды и более высоких уровнях влажности. Повышение температуры дымовых газов – это один из способов уменьшения видимости шлейфа выбросов, а также улучшения характеристик рассеивания выбросов; однако повторный нагрев дымовых газов требует использования энергии. В зависимости от содержания влаги в дымовых газах и атмосферных условий видимость шлейфа выбросов значительно снижается при температурах выпуска дымовых газов 140°C. Снижение содержания влаги в дымовых газах за счет использования конденсационных скрубберов (см. раздел 2.4.4.5) также снижает видимость шлейфа выбросов.

Сточные воды от мокрых скрубберов

Чтобы сохранить эффективность очистки и предотвратить засорение в системе мокрой очистки, часть жидкости скруббера должна быть удалена из контура в виде сточных вод. Эти сточные воды должны быть подвергнуты специальной обработке (нейтрализация, осаждение тяжелых металлов) перед сбросом или использованием для собственных нужд. Особое внимание уделяется удалению ртути. Летучие соединения ртути, такие как HgCl_2 , будут конденсироваться при охлаждении дымовых газов и растворяться в стоках скруббера. Для удаления ртути из процесса необходимо внесение дополнительных реагентов.

На многих заводах, оборудованных системами мокрой очистки, образующиеся сточные воды испаряются на мусоросжигательной установке путем их распыления обратно в дымовой газ для использования в системе теплоотвода в сочетании с системой удаления сухой пыли. Это позволяет избежать сбросов сточных вод из системы очистки дымовых газов и избежать затрат на очистку сточных вод. Другие методы по предотвращению сбросов воды описаны в разделе 4.6.1.

2.5.4.2 Полумокрые процессы

В случае процесса полумокрой газоочистки, который часто называют полусухим, воду и гашеную известь закачивают отдельно, обычно в колонну кондиционирования и/или воздуховод. При использовании распылительной абсорбции абсорбент впрыскивается в виде суспензии или раствора в поток горячего дымового газа в распылительном реакторе (см. рисунок 2.37).

Полумокрая система газоочистки использует тепло дымовых газов для испарения растворителя (воды). Образующиеся продукты реакции являются твердыми и должны быть осаждены из дымового газа в виде пыли на последующей стадии, например, в рукавном фильтре. По сравнению с сухими процессами эти процессы обычно более эффективны и требуют меньшего количества сорбента.

Рукавный фильтр также является важной частью процесса. При использовании данной технологии также снижается видимость шлейфа выбросов.

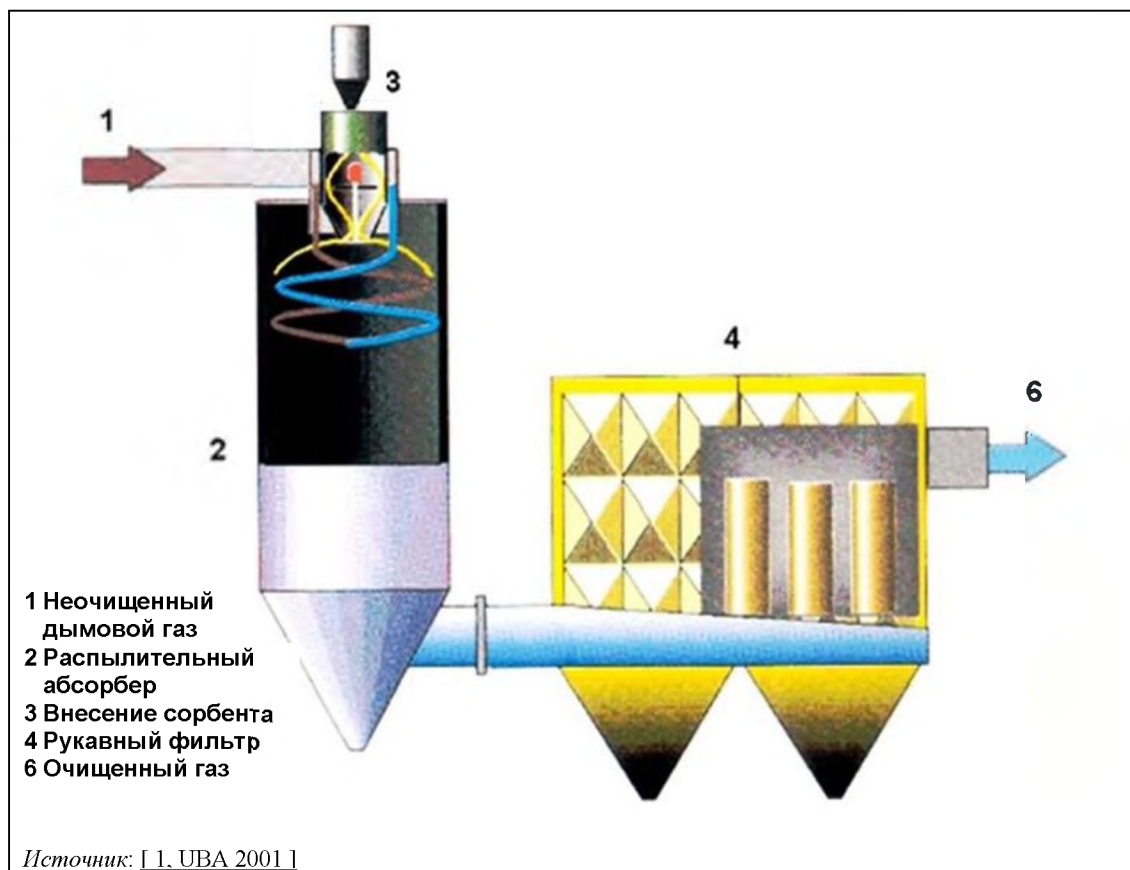


Рисунок 2.37: Принцип работы распылительного абсорбера

Также применяется система с использованием технологического процесса, который совмещает обычные сухие и полумокрые системы. Такую систему иногда называют полусухим реактором с ЦКС (с циркулирующим кипящим слоем). При использовании такого типа системы во входной дымовой газ впрыскивается часть твердых частиц, собранных в рукавном фильтре. Воду добавляют с контролируемой скоростью либо непосредственно к собранной летучей золе и реагенту, либо в реактор перед фильтром таким образом, чтобы твердые вещества оставались хорошо сыпучими и не склонными к налипанию или образованию накипи. Конструкция реактора может представлять собой реактор с циркулирующим кипящим слоем (ЦКС) или простой реактор с поршневым потоком (воздуховод). При эксплуатации такой системы не требуется обработки жидкого шлама (в отличие от полумокрых систем) и не образуются стоки (в отличие от мокрых систем).

Рециркуляция реагента снижает потребность в его использовании и количество производимого твердого остатка. Это также может применяться для сухих и полумокрых систем.

Другая система, которая не является полностью сухой, полумокрой или полусухой, использует эффект конденсации на твердых частицах, которые подают в дымовой газ перед тканевым фильтром. Этот эффект может быть достигнут путем впрыска пара или охлаждения твердых частиц перед повторной подачей.

[78, ESWET, 2015]

2.5.4.3 Сухие процессы

В процессах сухой сорбции абсорбент подается в реактор в виде сухого порошка. Доза реагента может зависеть от температуры, соотношения $\text{SO}_2/(\text{HCl}+\text{HF})$, условий процесса и типа реагента. Образующиеся продукты реакции являются твердыми и должны быть удалены из дымового газа в виде пыли на последующей стадии, обычно в рукавном фильтре.

Избыточная дозировка реагента приводит к соответствующему увеличению количества остатков, если не проводится его рециркуляция. За последние 15 лет были сделаны значительные улучшения в методах рециркуляции непрореагировавшей фракции, позволяющие уменьшить стехиометрический избыток.

Если отсутствует стадия предварительного удаления пыли (например, электростатического фильтра), то частицы удаляются с помощью использованного реагента и продуктов реакции. Кек (осадок) реагента, который образуется на тканевых фильтрах, обеспечивает эффективный контакт между дымовыми газами и абсорбентом, тем самым действуя как вторая ступень реактора.

При использовании данной технологии редко виден шлейф выбросов.

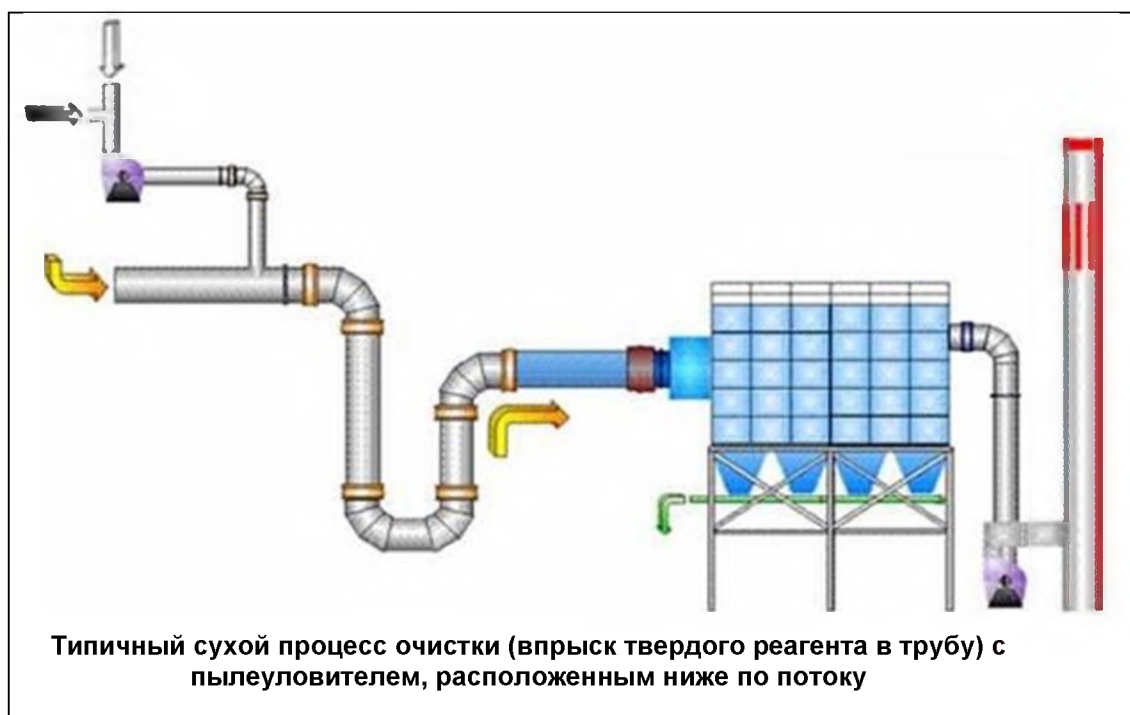


Рисунок 2.38: Схематическое изображение сухой системы очистки дымовых газов с впрыском реагента в воздуховод дымовых газов и последующей фильтрацией в рукавном фильтре

2.5.4.4 Прямая десульфуризация

[1, UBA 2001] Десульфуризация в процессах с кипящим слоем может быть осуществлена путем добавления абсорбентов (например, соединений кальция или кальция/магния) непосредственно в камеру сжигания. Используются такие добавки, как известняковая пыль, гашеная известь и доломитовая пыль. Система может использоваться в сочетании с последующей десульфуризацией дымовых газов.

Расположение форсунок и скорость впрыска влияют на распределение абсорбентов и, следовательно, степень осаждения диоксида серы. Часть полученных продуктов реакции удаляется в фильтрах ниже по потоку; тем не менее, значительная часть оседает с зольными остатками. Таким образом, прямая десульфуризация может повлиять на качество зольного остатка. [64, TWG 2003].

Идеальные условия для прямой десульфуризации существуют в циклонной печи благодаря

постоянной температуре.

Сам по себе этот метод не приводит к соблюдению требуемых уровней выбросов SO_2 . Тем не менее, он полезен в качестве предварительной обработки и способствует достижению самых низких уровней выбросов при применении в сочетании с другими методами.

Количество остатка от самой системы очистки дымовых газов может быть уменьшено, что приведет к снижению затрат на утилизацию.

Абсорбция (и адсорбция) загрязняющих веществ также может быть осуществлена в (циркулирующем) реакторе с кипящим слоем, в который с высокой скоростью рециркулируют остатки и реагенты в камере сжигания. Рециркуляция дымовых газов поддерживает поток газа выше минимального уровня для поддержания кипящего слоя. Материал слоя отделяется в рукавном фильтре. Впрыск воды значительно снижает потребление абсорбентов (и, следовательно, образование остатков).

[74, TWG 2004]

2.5.4.5 Выбор щелочного реагента

В системах очистки дымовых газов мусоросжигательных заводов используются различные щелочные реагенты (и их комбинации).

Гидроксид кальция используется во всех типах систем очистки дымовых газов: мокрых, полумокрых (или полусухих) и сухих. Для (полу-) мокрых систем известковое молоко можно приготовить на площадке в установке для гашения негашеной извести или из гидратной извести. В (полу-) сухих процессах непосредственно используется гидратная известь или гидратированная известь с высокой удельной поверхностью (HSS). [7, TWG 2017]-EuLA. Бикарбонат натрия преимущественно применяется для ряда сухих систем. Гидроксид натрия и известняк обычно применяются только для мокрых систем очистки дымовых газов.

Преимущества и недостатки различных реагентов, на которые в значительной степени влияет общий выбор технологии, приведены в следующей таблице.

Таблица 2.16: Сравнение свойств различных щелочных реагентов

Реагент	Преимущества	Недостатки	Комментарии/иные данные
Гидроксид натрия	- Активно реагирует с кислыми газами - Низкие нормы потребления - Низкое образование твердых отходов	- Более высокая стоимость за кг реагента - Переменная стоимость (ежеквартально) - Сточные воды, образующиеся от мокрого гидроксида натрия, содержат растворимые соли, которые необходимо обрабатывать и перерабатывать. - Высококоррозионный материал	- Используется только в мокрых системах - Хорошо подходит для переменных концентраций на входе, например, в установке для сжигания опасных отходов (УСОО)
Негашеная и гашеная известь	- Высокая реакционная способность может быть достигнута с помощью извести с HSS - Возможность работы при более высокой температуре с известью с HSS - Более низкая стоимость за кг реагента - Плохорастворимые остатки	- В неоптимизированных системах обработка может быть проблематичной - Ограниченные возможности утилизации остатков	Возможна Рециркуляция остатков, что позволяет снизить удельный расход

Реагент	Преимущества	Недостатки	Комментарии/иные данные
	Возможно восстановление гипса из мокрых скрубберов		
Известняк	- Средняя реакционная способность - Более низкая стоимость за кг реагента - Плохорастворимые остатки - Возможно восстановление гипса из мокрых скрубберов	Мокрые известняковые процессы вытесняют аэрозольную часть (суспензию), которую необходимо обрабатывать и перерабатывать	- Редко применяется в установках сжигания ТКО - В основном используется в мокрых системах - Иногда используется в системах с кипящим слоем
Бикарбонат натрия	- Активно реагирует с SO_2 и HCl - Низкие показатели потребления (стехиометрическое соотношение 1,05–1,20) - Образуется мало остатков в зависимости от стехиометрического соотношения - Возможны и применяются очистка и повторное использование - Эффективен в широком диапазоне рабочих температур очистки дымовых газов (120–300°C) - Высокий диапазон рабочих температур и активное реагирование с SO_2 могут повысить совместимость с СКВ - Не требуется впрыск воды/контроль влажности	- Более высокая растворимость в остатке - Образовавшиеся растворимые твердые остатки могут быть проблематичными для утилизации (но возможно их использование в химической промышленности) - Более высокая стоимость за кг реагента чем извести - В зависимости от гранулированности частиц реагента, который поставляется, может потребоваться шлифовальное устройство, которое влияет на доступность из-за возможного загрязнения	- Типичные диапазоны расхода реагентов: 6–12 кг/т для ТКО, и 15–40 кг/т для ОО. - Остатки без летучей и котельной золы составляют в среднем 70–75% от массы реагента.

Источник: [64, TWG 2003] [74, TWG 2004]

Температурный интервал, достаточный для сухого бикарбонатного процесса, связан с превращением бикарбоната натрия в карбонат натрия; это явление увеличивает площадь поверхности и пористость реагента и, следовательно, его реакционную способность. Это явление наблюдается при температурах около 80–100°C в зависимости от размера частиц, но для обеспечения приемлемой скорости реакции требуются более высокие температуры. От 140°C кинетика, как правило, достаточно быстрая, с возможностью дальнейшего повышения реактивности при температурах 160–180°C.

В некоторых случаях внедряются смешанные системы очистки дымовых газов: они могут работать либо с известью с ВУП, либо с бикарбонатом натрия, что позволяет лучше контролировать затраты на реагенты, несмотря на возможную потребность в объединении при оптимизации процесса. [74, TWG 2004]

Возможно также совместное впрыскивание гидратированной извести с бикарбонатом натрия, которое недавно было применено на заводах в Германии и Нидерландах для компенсации более низкой реакционной способности бикарбоната натрия с HF и, таким образом, для улучшения непрерывного контроля выбросов HF . Сообщалось, что совместное впрыскивание гидратированной извести также может снижать общее использование реагентов и связанные с этим эксплуатационные расходы [99, EuLA 2015].

Общая стоимость мероприятий по очистке выбросов определяется как стоимостью реагента (удельная стоимость килограмма реагента и требуемого количества), так и стоимостью обработки/утилизации остатка. Состав дымовых газов (который влияет на стехиометрическое соотношение различных возможных реагентов/процессов), цена за единицу продукции за килограмм реагента, а также доступность и стоимость вариантов обработки/удаления остатков являются важными факторами, влияющими на общую стоимость мер по борьбе с выбросами.

Известняк, негашеная известь, гидратированная известь, улучшенная (с высокой удельной поверхностью) гидратированная известь, гидроксид натрия и бикарбонат натрия – все эти вещества используются на различных мусоросжигательных заводах в Европе и других странах.

2.5.5 Методы снижения выбросов оксидов азота

[3. Austria 2002]

Оксиды азота (NO_x) могут образовываться тремя способами:

- Тепловое образование NO_x : во время горения часть атмосферного азота окисляется до оксидов азота. Эта реакция характерна только при температуре выше 1300°C . Скорость реакции значительно зависит от температуры и прямо пропорциональна содержанию кислорода.
- Образование NO_x из топлива: во время сгорания часть азота, содержащегося в топливе (в том числе в отходах), окисляется до оксидов азота.
- Образование NO_x с помощью реакции радикального замещения
- (быстрое образование NO_x): Атмосферный азот также может окисляться в результате реакции с радикалами CH и промежуточного образования HCN . Этот механизм образования имеет относительно низкую важность при сжигании отходов.

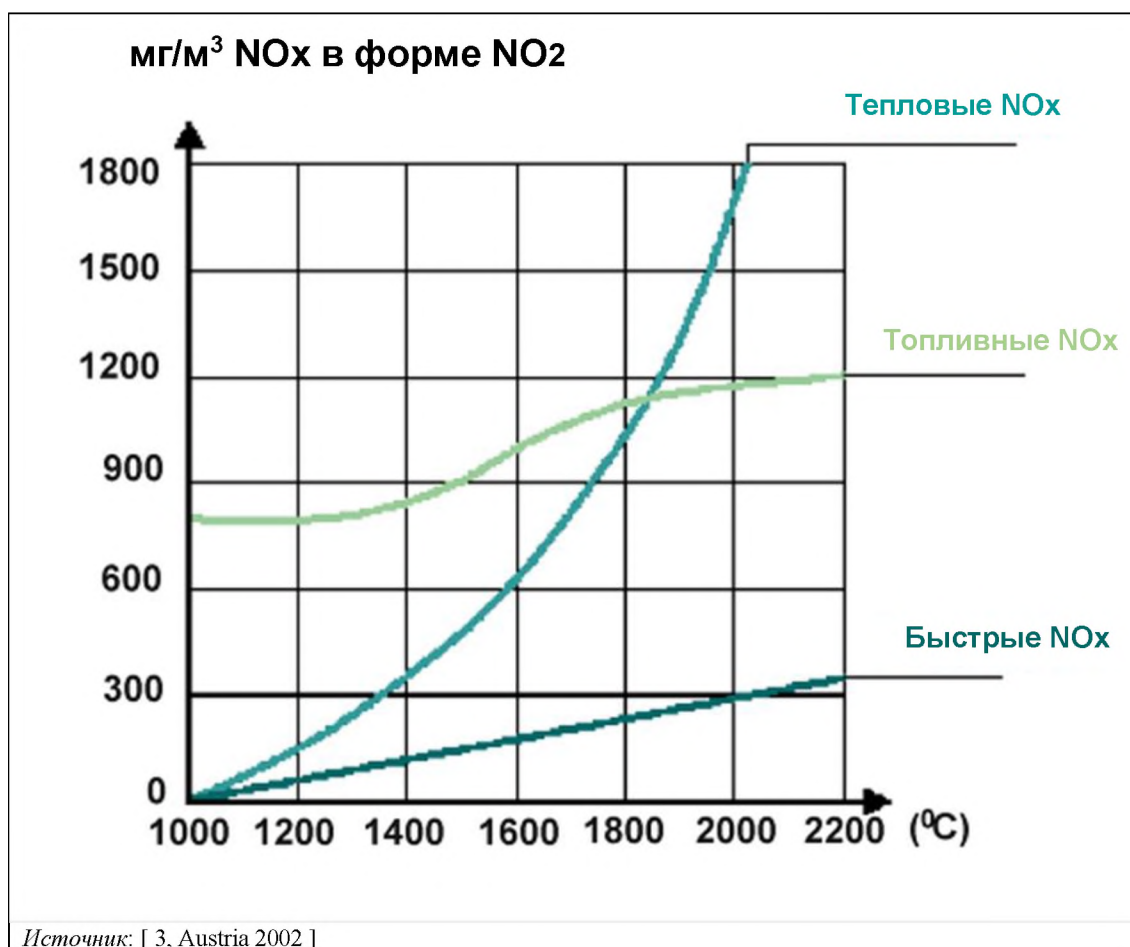


Рисунок 2.39: Температурная зависимость различных механизмов образования NO_x при сжигании отходов

2.5.5.1 Основные методы снижения выбросов NO_x

[1, UBA 2001]

Образование NO_x может быть снижено с помощью мероприятий по управлению режимом работы печи, что поможет:

- избежать избытка воздуха (т.е. предотвратить подачу дополнительного азота);
- избежать излишне высоких температур печи (в том числе местных горячих точек);
- оптимизировать управление процессом сжигания для того, чтобы усреднить условия сгорания и избежать резких перепадов температуры.

2.5.5.1.1 Поддача воздуха, смешивание газов и контроль температуры

Использование хорошо распределенной подачи первичного и вторичного воздуха для избежания неравномерных температурных перепадов, которые приводят к образованию высокотемпературных зон и, следовательно, увеличению образования NO_x, является широко распространенной и важной первичной мерой для снижения образования NO_x.

Хотя для обеспечения окисления органических материалов требуется достаточное количество кислорода (что приводит к низким выбросам CO и летучих органических соединений (ЛОС)), избыток воздуха может привести к дополнительному окислению атмосферного азота и образованию дополнительного NO_x.

Важными элементами снижения образования оксидов азота являются обеспечение эффективного смешивания газов и контроль температуры.

2.5.5.1.2 Рециркуляция дымовых газов

Этот метод предусматривает замену около 10–20% вторичного воздуха для горения рециркулирующими дымовыми газами. Снижение NO_x достигается благодаря тому, что подаваемые рециркулирующие дымовые газы имеют более низкую концентрацию кислорода и, следовательно, более низкую температуру дымовых газов, что приводит к снижению уровня оксида азота. [74, TWG 2004]

2.5.5.1.3 Поддача кислорода

Поддача либо чистого кислорода, либо воздуха, обогащенного кислородом, обеспечивают средства подачи кислорода, необходимого для сжигания, при одновременном снижении подачи дополнительного азота, что может способствовать дополнительному образованию NO_x.

2.5.5.1.4 Ступенчатое сжигание

В некоторых случаях использовалось поэтапное сжигание. Оно включает в себя уменьшение подачи кислорода в первичных реакционных зонах, а затем увеличение подачи воздуха (и, следовательно, кислорода) в последующих зонах сжигания для окисления образующихся газов. Такие технологии требуют эффективного смешивания воздуха/газа во вторичной зоне, чтобы обеспечить поддержание концентраций CO (и других продуктов неполного сгорания) на низком уровне.

2.5.5.1.5 Поддача природного газа (дожигание)

[70, USEPA, 1994]

Поддача природного газа в область колосниковой печи может использоваться для контроля выбросов NO_x из камеры сжигания. Для установок сжигания ТКО были разработаны два различных процесса на основе природного газа:

- дожигание – трехступенчатый процесс, предназначенный для преобразования NO_x в N₂ путем введения природного газа в отдельную зону дожигания, расположенную над первичной зоной сжигания;
- метан-NO_x – в этой технологии природный газ подается непосредственно в первичную камеру

сжигания, чтобы предотвратить образование NO_x .

2.5.5.1.6 Подача воды в печь/пламя

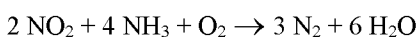
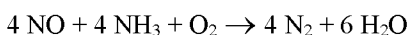
Правильно спроектированный и управляемый впрыск воды либо в печь, либо непосредственно в пламя может быть использован для снижения температуры горячих зон в первичной зоне сгорания. Это падение пиковой температуры может уменьшить образование теплового NO_x .

[74, TWG 2004]

2.5.5.2 Дополнительные методы снижения выбросов NO_x

[1, UBA 2001] Для соблюдения нормативов допустимых выбросов NO_x обычно применяются дополнительные меры. Для большинства процессов оказалось успешным применение аммиака или его производных (например, мочевины) в качестве восстановителя. Оксиды азота в дымовых газах в основном состоят из NO и NO_2 и восстанавливаются до N_2 и водяного пара.

Уравнения реакции:



Для удаления азота из дымовых газов важны два процесса: селективное некаталитическое восстановление (СНКВ) и селективное каталитическое восстановление (СКВ).

Как NH_3 , так и мочевина применяются в виде водных растворов. В целях безопасности NH_3 обычно поставляется в виде 25% раствора. Мочевина также может применяться в чистом твердом виде.

2.5.5.2.1 Процесс селективного некаталитического восстановления (СНКВ)

В процессе селективного некаталитического восстановления (СНКВ) оксиды азота ($\text{NO} + \text{NO}_2$) удаляются путем введения восстановителя (обычно аммиака или мочевины) в печь. Реакции протекают при температурах от 850°C до 1000°C с зонами более высоких и более низких скоростей реакции в этом диапазоне. Принцип работы технологии показан на рисунке 2.40.

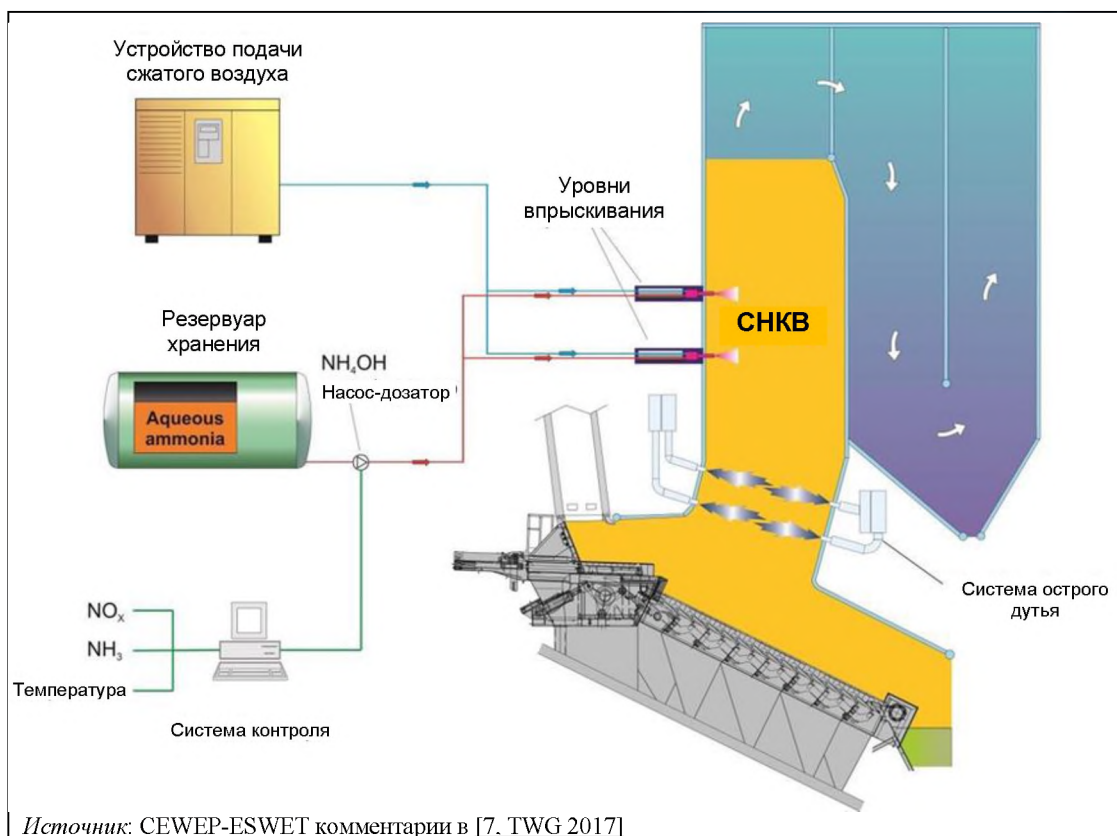


Рисунок 2.40: Принцип технологии селективного некаталитического восстановления (СНКВ)

Для снижения уровня NO_x более чем на 60–80% с использованием селективного некаталитического восстановления (СНКВ) требуется дополнительная подача восстановителя. Это может привести к выбросам аммиака, также известного как проскок свободного аммиака (выброс). Взаимосвязь между восстановлением NO_x , проскоком свободного аммиака и температурой реакции приведена на рисунке 2.41 ниже.

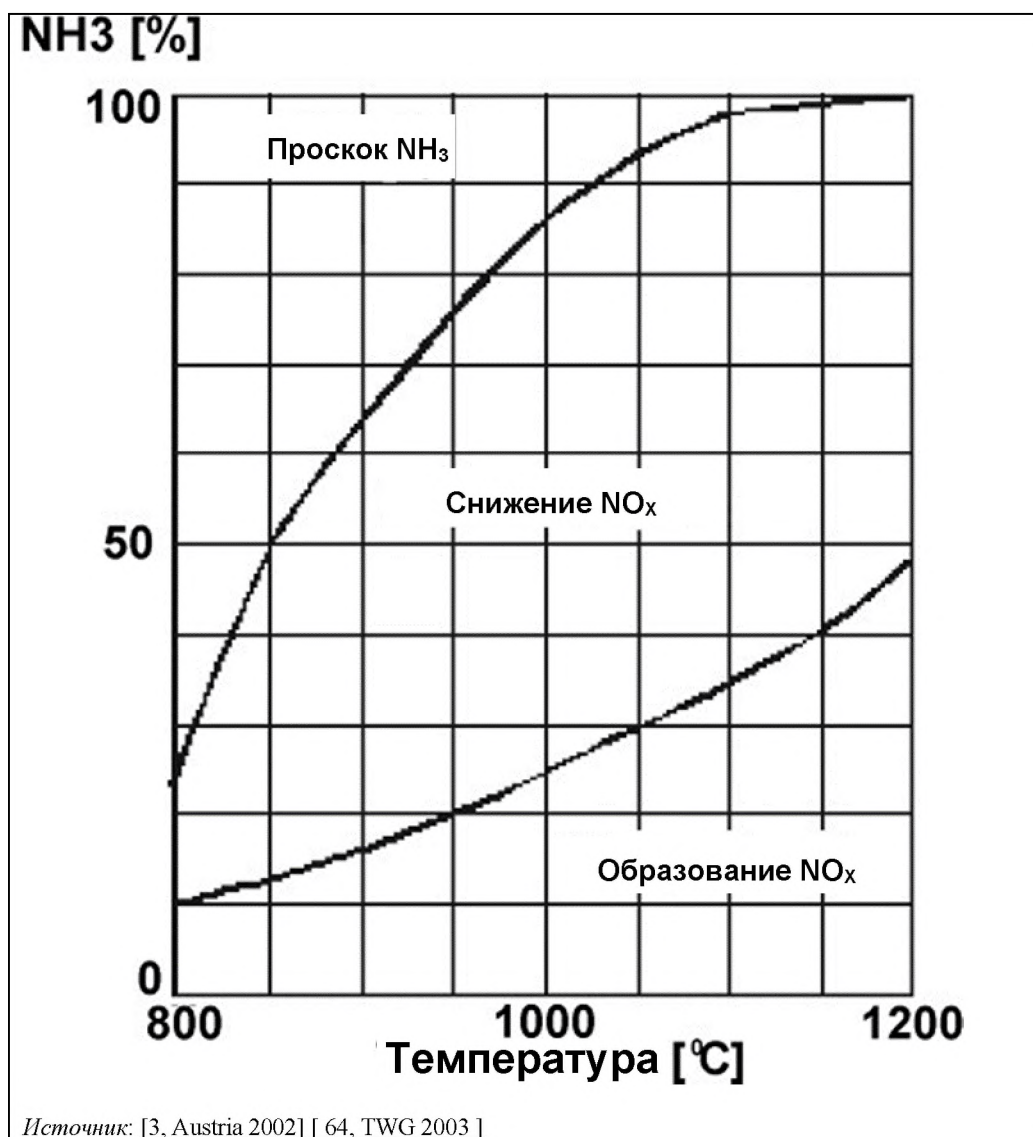


Рисунок 2.41: Взаимосвязь между снижением и образованием NO_x , проскоком аммиака и температурой реакции для процесса селективного некаталитического восстановления (СНКВ)

На рисунке 2.41 показано, что при температуре реакции 1000°C восстановление NO_x будет составлять около 85% с проскоком аммиака около 15%. Кроме того, при этой температуре при сжигании подаваемого NH_3 будет происходить образование NO_x , составляющее около 25%.

Из графика на рисунке 2.41 также видно, что при более высоких температурах (с аммиаком) процент снижения NO_x выше, и, хотя проскок свободного аммиака ниже, при этом содержание NO_x , образующегося из аммиака, возрастает. При высоких температурах ($> 1200^\circ\text{C}$) NH_3 сам окисляется и образует NO_x . При более низких рабочих температурах снижение NO_x менее эффективно, а проскок аммиака выше.

Применение мочевины вместо аммиака в селективном некаталитическом восстановлении приводит к относительно более высоким выбросам N_2O по сравнению со снижением содержания аммиака. [64, TWG 2003]

Чтобы обеспечить оптимальное использование аммиака при различных нагрузках, которые вызывают различные температуры в камере сжигания, NH_3 может впрыскиваться в нескольких точках.

При использовании в системах мокрой очистки избыток аммиака может быть удален в мокром скруббере. Затем аммиак может быть извлечен из стоков скруббера с использованием отпарной

аммиачной колонны и возвращен обратно в систему подачи селективного некаталитического восстановления.

Эффективное смешивание дымовых газов и реагента для снижения выбросов NO_x важно для оптимизации процесса селективного некаталитического восстановления, и для реакций снижения выбросов NO_x необходимо обеспечить достаточное время пребывания отходящего газа в участке.

В случае процессов пиролиза и газификации оптимизация селективного некаталитического восстановления достигается путем введения реагента в зоны сгорания синтез-газа с хорошо контролируемой температурой и эффективным перемешиванием газа.

Подбор реагентов для селективного некаталитического восстановления (СНКВ)

Реагентами, используемыми для селективного некаталитического восстановления, являются аммиак и мочевины.

Четкое понимание графиков температур в камере сжигания имеет основополагающее значение для выбора реагента.

Новые установки могут быть специально спроектированы для достижения стабильных и контролируемых условий сжигания, учитывая оптимальные зоны впрыскивания реагента, таким образом, позволяя использовать аммиак с максимальной экологической выгодой (то есть самым высоким пиковым сокращением NO_x при самых низких выбросах N_2O). Это также относится к существующим установкам, процесс сгорания и температурные графики которых стабильны и хорошо контролируемы.

Существующие установки, которые испытывают трудности в стабилизации условий сгорания (например, по причинам, связанным с конструкцией, контролем или типом отходов), с меньшей вероятностью смогут оптимизировать впрыск реагента (местоположение, температура, смешивание) и, следовательно, могут извлечь пользу из использования мочевины. Однако, если предполагаются температуры выше 1000°C , скорость образования N_2O с мочевиной становится более значительной.

В тех случаях, когда преимущества и недостатки точно определены, большее влияние на окончательный выбор реагента могут оказать опасности, возникающие при хранении и подготовке.

Относительные преимущества и недостатки аммиака и мочевины изложены в таблице ниже. При выборе реагента необходимо учитывать различные рабочие характеристики, стоимостные факторы и показатели эффективности, чтобы обеспечить выбор оптимального варианта для соответствующей установки.

Таблица 2.17: Преимущества и недостатки использования мочевины и аммиака для СНКВ

Реагент	Преимущества	Недостатки
Аммиак	- Возможность снижения высоких пиковых значений NO_x (при хорошей оптимизации); - Более низкие выбросы N_2O (1 0–1 5 мг/Нм³)	- Узкий эффективный температурный диапазон ($850\text{--}950^\circ\text{C}$), поэтому требуется тщательный контроль - Выше опасность при обработке и хранении - Более высокие затраты на тонну отходов - Аммиачный запах при контакте остатков с влажной средой
Мочевина	- Шире диапазон эффективных температур (540°C — $1\,000^\circ\text{C}$), поэтому температурный контроль менее критичен; - Меньше опасность при хранении и обращении; - Ниже затраты на тонну отходов	- Более низкий потенциал снижения пиковых значений NO_x (по сравнению с аммиаком при оптимизации) - Выше выбросы N_2O (25–35 мг/Нм³) и, следовательно, потенциал глобального потепления (ППП)
Источник: [62, Tyseley, 2001] [64, TWG 2003]		

Реакция мочевины/ N_2O очень зависит от температуры, при этом 18% удаленного NO_x появляется в

виде N_2O при $1000^{\circ}C$, в то время как при $780^{\circ}C$ реакция протекает незначительно.

Как известно, аммиак немного дороже в использовании, чем мочевина. Требования к обработке и хранению аммиачной жидкости, газа и растворов, как правило, более строгие и, следовательно, более затратные, чем для мочевины, которую можно хранить в твердом виде, – это обеспечивает разницу в стоимости между двумя реагентами.

Хранение газообразного или жидкого аммиака требует соблюдения строгих мер безопасности, что может привести к дополнительным расходам. В большинстве случаев в качестве раствора используется аммиак, так как в этом случае соблюдение требований безопасности менее затруднительно.

Использование мочевины выгоднее только для относительно небольших заводов. Для более крупных заводов затраты на хранение аммиака могут быть полностью компенсированы более низкой стоимостью химикатов.

2.5.5.2.2 Процесс селективного каталитического восстановления (СКВ)

В процессе селективного каталитического восстановления смесь аммиака и воздуха (восстановитель) добавляют к дымовым газам и пропускают над катализатором, обычно в виде сетки (например, платины, родия, TiO_2 , цеолитов). [74, TWG 2004] При прохождении через катализатор аммиак реагирует с NO_x с образованием азота и водяного пара.

Для эффективной работы катализатора обычно требуется температура от 150 до $450^{\circ}C$. Большинство систем, используемых в мусоросжигательных установках, в настоящее время работают в диапазоне 180 – $250^{\circ}C$, чтобы свести к минимуму необходимость подогрева дымовых газов, даже если необходимо больше поверхности катализатора и существует больший риск загрязнения и отравления катализатора при этих более низких температурах. В некоторых случаях используются обводные воздуходувки («байпасы») с регулируемой температурой катализатора, чтобы избежать повреждения блока СКВ. [74, TWG 2004] [7, TWG 2017].

СКВ обеспечивает высокую степень снижения NO_x (обычно больше 90%) при стехиометрических значениях близким к значению добавленного восстановителя. Для сжигания отходов СКВ применяется главным образом в зоне очищенного газа, то есть после удаления пыли и кислых газов. По этой причине дымовые газы обычно требуют подогрева до полной температуры реакции эффективной системы СКВ. Это увеличивает энергопотребление системы очистки дымовых газов. Однако, когда уровни SO_x в дымовых газах уже снижены до очень низкого значения на входе в секцию СКВ, подогрев может быть существенно уменьшен или даже прекращен. Для снижения потребности в дополнительной энергии используются теплообменники.

После мокрой системы очистки дымовых газов влага должна быть удалена, чтобы предотвратить отложения солей внутри катализатора. Из-за риска возгорания в результате накопления CO в катализаторе важны меры безопасности, например, «байпасы», контроль CO . [74, TWG 2004].

Низкотемпературное СКВ требует низкого содержания SO_x (как правило, ниже 20 мг/Нм^3), чтобы минимизировать риск образования сульфата аммония. В случае осаждения сульфата аммония на слоях катализатора отложения удаляются путем термической регенерации. Термическая регенерация должна тщательно контролироваться, потому что сублимация соли может привести к пикам выбросов в воздух для некоторых загрязняющих веществ, например, SO_2 , NO_x , NH_3 , которых можно избежать путем рециркуляции выхлопных газов от регенерации или путем контроля скорости нагрева. [74, TWG 2004]

СКВ иногда располагается непосредственно после ЭСФ, чтобы уменьшить или устранить необходимость в подогреве дымовых газов. При использовании данной схемы необходимо учитывать дополнительный риск образования ПХДД/Ф в ЭСФ (обычно, когда ЭСФ работает при температуре выше 220 – $250^{\circ}C$). Такой режим работы может привести к увеличению выбросов ПХДД/Ф в газовом потоке, покидающем ЭСФ, и в зольном остатке. Однако, поскольку ЭСФ также можно использовать для обеспечения частичной очистки от ПХДД/Ф, выбросы ПХДД/Ф ниже по потоку СКВ, как правило, невелики.

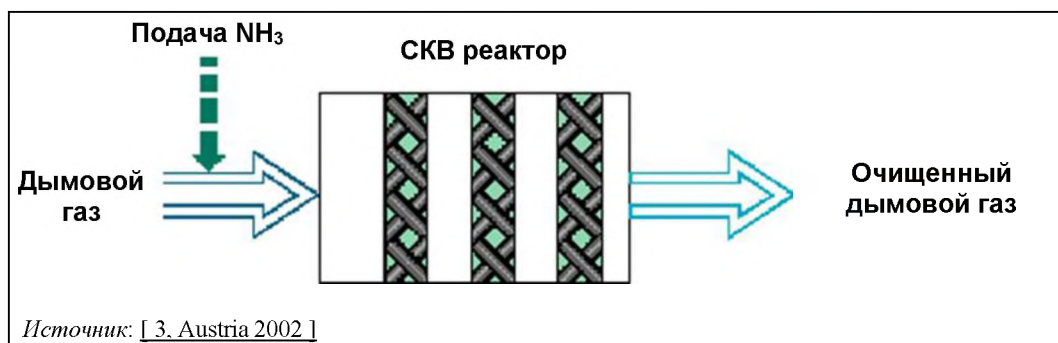


Рисунок 2.42: Принцип действия СКВ

Дымовые газы, выходящие из реактора, могут направляться через газо-газовый теплообменник для предварительного нагрева поступающих газов, чтобы поддерживать рабочую температуру катализатора и сохранять часть импортируемой энергии (см. схемы в разделе 4.5.4.1).

2.5.6 Методы снижения выбросов ртути

2.5.6.1 Основные методы

Ртуть обладает высокой летучестью и, следовательно, почти полностью попадает в поток дымовых газов.

Единственными эффективными первичными методами предотвращения выбросов ртути в атмосферу являются предотвращающие или контролирующие содержание ртути в поступающих отходах, среди них:

- эффективный отдельный сбор отходов, которые могут содержать тяжелые металлы, например, сотовые телефоны, батареи, зубные амальгамы;
- уведомление производителей отходов о необходимости отдельного сбора ртути;
- выявление и/или ограничение приема потенциально загрязненных ртутью отходов:
 - путем обора проб и анализа отходов, где это возможно;
 - целевыми кампаниями по обору проб/тестированию;
- если известно, что такие ртутьсодержащие отходы принимаются, – необходима контролируемая загрузка в установку во избежание перегрузки пропускной способности системы очистки.

2.5.6.2 Дополнительные методы

Ртуть полностью испаряется при температуре 357°C и остается газообразной в дымовых газах после прохождения через печь и котел. Системы очистки дымовых газов по-разному подвержены влиянию неорганической ртути (главным образом Hg^{2+} в виде хлорида и, в некоторых случаях, других галогенных соединений) и элементарной ртути, и требуется детальное рассмотрение преобразования данных соединений. [1, UBA 2001]

Выбор способа борьбы с выбросами ртути зависит от концентраций ртути и хлора в исходном сырье. При более высоком содержании хлора ртуть в неочищенном дымовом газе будет находиться в ионной форме, которая может откладываться в мокрых скрубберах. Это особенно важно на заводах по сжиганию осадка сточных вод, где уровень хлора в неочищенном газе может быть низким. Однако, если содержание хлора в (сухом) осадке сточных вод составляет 0,3 % масс. или выше, содержание элементарной ртути в дымовых газах составляет только 10% [74, TWG 2004]. Наличие системы СКВ в конфигурации с высокой запыленностью также может способствовать окислению элементарной ртути и ее последующему улавливанию в элементах системы очистки дымовых газов.

Элементарная ртуть может быть удалена из потока дымовых газов следующими способами:

- Превращение в ионную ртуть путем добавления окислителей и последующего осаждения в мокром скруббере – сточные воды могут затем подаваться на очистные сооружения с

осаждением тяжелых металлов, где ртуть может быть преобразована в более стабильную форму (например, HgS), которая больше подходит для окончательного удаления [74. TWG 2004].

- Альтернативным вариантом является прямое осаждение на бромированный или легированный серой активированный уголь, топочный кокс или цеолиты. Адсорбция на активированном угле может происходить в абсорбере с неподвижным слоем или на активированном угле, впрыскиваемом в поток газа. В последнем случае активированный уголь накапливается на рукавных фильтрах, используемых для его сбора, где он образует фильтрационный кек (осадок). Время контакта и смешивания с сорбентом увеличивается, когда дымовой газ проходит через фильтрационный слой (кек), усиливая улавливание ртути.

Испытания показали, что нейтрализация диоксида серы в печи за счет добавления известняка может снизить долю металлической ртути, что делает общее удаление ртути из газового потока более эффективным.

На установках сжигания коммунальных и опасных отходов содержание хлора в отходах обычно достаточно высокое, чтобы обеспечить присутствие ртути в основном в ионной форме. Тем не менее, поступление определенных отходов может изменить ситуацию, и может потребоваться удаление металлической ртути с использованием специальных технологий, как указано выше.

Отходы с высоким содержанием ртути

Для сжигания отходов с высоким содержанием ртути на установках сжигания опасных отходов уровень осаждения ртути в 99,9% может быть обеспечен только в том случае, если высоохлорированные отходы также сжигаются в пропорции соответствующей загрузке ртути. Многоступенчатые процессы мокрой очистки типичны для этого типа установок и могут обеспечить почти полное удаление ртути из дымовых газов.

Высокая общая загрузка хлора (приблизительно 4% масс.) и, следовательно, высокая промежуточная подача Cl_2 приводят к высоким уровням хлорирования ртути и уровню осаждения ртути, близкому к 100%. При более низком содержании хлора, осаждение ртути значительно сокращается.



Рисунок 2.43: Взаимосвязь между долей ртути, присутствующей в элементарной форме, и содержанием хлоридов в неочищенном газе на установке сжигания опасных отходов

2.5.7 Методы снижения выбросов других металлов

Другие металлы при сжигании превращаются в основном в нелетучие оксиды и осаждаются с летучей золой. Таким образом, основными применяемыми технологиями являются технологии удаления пыли (см. раздел 2.5.3). [1. UBA 2001]

Для снижения выбросов других металлов также используется активированный уголь. [74. TWG 2004]

2.5.8 Методы снижения выбросов органических соединений углерода

Обеспечение эффективное сгорание – наиболее важный метод снижения выбросов органических соединений углерода в воздух.

[1, UBA 2001] Дымовой газ от мусоросжигательных заводов может содержать малые количества очень широкого спектра органических веществ, включая:

- галогенированные ароматические углеводороды;
- полициклические ароматические углеводороды (ПАУ);
- бензол, толуол и ксилол (БТК);
- полихлорированные дибензо-п-диоксины (ПХДД) и дибензофураны (ПХДФ), (ПХДД/Ф).

ПХДД/Ф может образовываться на выходе печи из предшествующих соединений, таких как полихлорированные дифенилы (ПХД), полихлорированные дифенилметаны (ПХДМ), хлорбензолы и хлоргидроксibenзолы. ПХДД/Ф может также образовываться в каталитических реакциях углерода или соединений углерода с неорганическими соединениями хлора над оксидами металлов, например, меди. Эти реакции будут происходить, в частности, на летучей золе или пыли от фильтров при температуре от 200°C до 450°C.

Считается, что к образованию ПХДД/Ф при сжигании отходов приводят следующие механизмы:

1. образование из хлорированных углеводородов, уже находящихся или образовавшихся в печи (таких как хлоргидробензол или хлорбензол);
2. *de novo* синтез в низкотемпературном диапазоне (как правило, наблюдается в котлах, в сухих ЭСФ);
3. неполное уничтожение ПХДД/Ф, поставляемых вместе с отходами.

Сжигание дымовых газов в оптимальных условиях в значительной степени разрушает прекурсоры (промежуточные соединения). Поэтому образование ПХДД/Ф из прекурсоров исключается.

Для уменьшения выбросов ПХДД/Ф могут быть использованы адсорбционные процессы и окислительные катализаторы. Сообщается, что окислительные катализаторы также снижают проскок NH_3 и выбросы CO . [74, TWG 2004]

Выбросы органических углеводородных соединений также могут быть уменьшены путем дальнейшего осаждения пыли и аэрозолей, поскольку эти загрязняющие вещества предпочтительно адсорбируются на мелкую фракцию пыли, а также путем принудительного охлаждения дымовых газов (конденсация).

2.5.8.1 Адсорбция на реагентах из активированного угля в системе перемещающегося потока

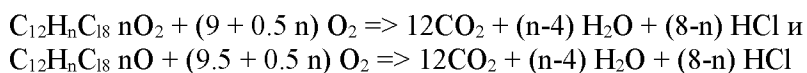
Активированный уголь подается в поток газа. Уголь отделяется из газового потока с помощью рукавных фильтров. Активированный уголь высокоэффективен в адсорбции как ртути, так и ПХДД/Ф.

Различные виды активированного угля имеют разную эффективность адсорбции. Считается, что это связано со специфической природой углеродных частиц, на которые, в свою очередь, влияет производственный процесс.

2.5.8.2 Системы СКВ

Системы СКВ используются для снижения NO_x (см. описание в разделе 2.5.5.2.2). Они также разрушают газообразный ПХДД/Ф (не связанный с частицами) посредством каталитического окисления; однако в случае дополнительного разрушения ПХДД/Ф система должна быть спроектирована соответствующим образом, поскольку для обычно для этого требуется большая, многослойная система СКВ, чем просто для функции *de-NO_x*. Для ПХДД/Ф эффективность деструкции от 98% до 99,9%.

Основные реакции: [74, TWG 2004]



2.5.8.3 Каталитические рукавные фильтры

Фильтрующие мешки, установленные в рукавных фильтрах, либо пропитаны катализатором, либо катализатор непосредственно смешивается с органическим материалом при производстве волокон для фильтра. Такие фильтры используются для уменьшения выбросов ПХДД/Ф, а также, в сочетании с источником подачи NH_3 , для сокращения выбросов NO_x .

Газообразный ПХДД/Ф может разрушаться на катализаторе, а не адсорбироваться на углероде (как в системах введения углерода). Связанную частицами фракцию ПХДД/Ф удаляют фильтрацией. Катализатор не оказывает влияния на ртуть, и поэтому для удаления ртути обычно необходимо применять дополнительные технологии (такие как использование активированного угля или серосодержащего реагента). [74, TWG 2004]

Температура дымовых газов при входе в рукавные фильтры должна быть выше $170\text{--}190^\circ\text{C}$, чтобы обеспечить эффективное разрушение ПХДД/Ф и предотвратить адсорбцию ПХДД/Ф в среде; контрольная рабочая температура для удаления NO_x составляет $180\text{--}210^\circ\text{C}$. [74, TWG 2004]

2.5.8.4 Дожигание углеродных адсорбентов

[55, EIPPCB 2002] Углерод используется для адсорбции как ПХДД/Ф, так и ртути на многих мусоросжигательных установках. Дополнительные выбросы ПХДД/Ф из мусоросжигательного завода могут быть уменьшены путем подачи отработанного углерода в печь, которая будет дожигать адсорбированный ПХДД/Ф. Тем не менее, эта технология также подразумевает рециркуляцию ртути, поэтому ее можно использовать только в том случае, если в системе очистки дымовых газов есть другие средства удаления ртути. Обычно дополнительное удаление ртути обеспечивается системой мокрой очистки с низким pH, но это будет эффективно только в том случае, если содержание хлора в отходах достаточно высоко, чтобы обеспечить присутствие ртути в ионной форме.

Примеры применения этой технологии включают в себя:

- адсорбенты статического коксового слоя;
- адсорбенты активированного угля с перемещающимся потоком;

Пропитанные углеродом вставки используют для адсорбции диоксинов в мокрых скрубберах и предотвращения выделения ПХДД/Ф, который накапливается в холодных частях котла и в системе очистки дымовых газов, особенно во время холодного запуска.

В некоторых государствах местные правила не допускают повторного сжигания.

2.5.8.5 Использование углепластиков для адсорбции ПХДД/Ф

Пластмассы широко используются в конструкции оборудования для очистки дымовых газов благодаря их высокой коррозионной стойкости. ПХДД/Ф адсорбируются на этих пластмассах в мокрых скрубберах, где стандартная рабочая температура составляет $60\text{--}70^\circ\text{C}$. Если температура увеличивается всего на несколько градусов Цельсия или если концентрация диоксина в отходящем газе снижается, поглощенный ПХДД/Ф может десорбироваться в газовую фазу, что приводит к увеличению выбросов в атмосферу. Низкохлорированные ПХДД/Ф подвергаются наибольшему увеличению скорости десорбции по отношению к повышению температуры. [58, Andersson 2002] Добавление башенной насадки в скруббер, в котором содержится полипропилен, залитый углеродом, позволяет селективно адсорбировать ПХДД/Ф (ртуть не адсорбируется в насадке). Через определенный промежуток времени этот материал становится насыщенным. Поэтому загруженный материал может периодически изыматься для удаления или, если это разрешено, сжигаться в печи. [74, TWG 2004]

Этот метод используется для удаления ПХДД/Ф и/или для предотвращения/уменьшения повторного выброса ПХДД/Ф, накопленного в скруббере (так называемый «эффект памяти»),

возникающего главным образом во время периодов выключения и запуска. [7, TWG 2017] - Швеция

Данная технология также может быть использована в более расширенной установке башенных насадок и/или в сочетании с другими процессами удаления ПХДД/Ф. [74, TWG 2004]

2.5.8.6 Фильтры статические или с подвижным слоем

Фильтры с подвижным слоем активированного кокса используются в качестве вторичного процесса очистки дымовых газов при сжигании коммунальных и опасных отходов. Эти фильтрующие слои могут адсорбировать вещества, содержащиеся в дымовых газах, в крайне низких концентрациях с высокой эффективностью. Кокс, полученный из лигнита или угля в процессе коксования в подовой печи, используется в абсорберах с подвижным слоем. [1, UBA 2001]

При сжигании отходов используются мокрые и сухие слои кокса. В мокрых системах присутствует добавление обратного потока воды, который промывает кокс. При этом температура реактора понижается, и некоторые из накопленных загрязнений вымываются из фильтра. Когда вместо кокса/угля используется активированный лигнит, то предварительный нагрев дымового газа выше точки росы кислоты не требуется и может даже эффективно работать с «влажным» или насыщенным водой дымовым газом. По этой причине фильтр с активированным лигнитом могут быть размещены непосредственно после мокрого скруббера дымовых газов. [64, TWG 2003]

Дымовые газы проходят через заполнение гранулированного топочного кокса (HFC – мелкий кокс от 1,25 до 5 мм). Эффект осаждения гранулированного топочного кокса преимущественно основан на механизмах адсорбции и фильтрации. Он может удалять остаточные количества практически всех загрязненных компонентов дымовых газов (например, соляная кислота, фтороводородная кислота, оксиды серы и тяжелые металлы (ртуть)), иногда вплоть до нижнего предела обнаружения.

Важной особенностью системы с подвижным слоем является высокая эффективность снижения всех выбросов из-за большой массы активированного кокса, так что отклонение параметров сжигания и очистки дымовых газов выше по потоку, вызванные работой, не вызовут неблагоприятных последствий.

Дымовой газ направляется на слой активированного кокса через распределительный слой, снабженный множеством двойных воронок. Газ проходит через них снизу вверх или горизонтально, а гранулированный активированный кокс проходит через абсорбер сверху вниз. Таким образом, идеальное распределение дымового газа по всему поперечному сечению абсорбера и оптимальное использование емкости абсорбера достигается при минимальном расходе активированного кокса.

При таких процессах необходимо соблюдать осторожность, чтобы обеспечить мониторинг и контроль температуры и СО для предотвращения возгорания в слое кокса. Чтобы избежать насыщения и потери активности, через определенные промежутки времени часть загрязненного кокса удаляется и добавляется чистый кокс для обеспечения непрерывной работы.

Альтернативной конструкцией является фильтр с неподвижным слоем из пропитанных углеродом полимеров (пластика) для обеспечения селективной адсорбции ПХДД/Ф (ртуть не адсорбируется данным материалом). Риск пожара очень низок по сравнению со статическим фильтром из активированного угля или кокса. Через определенный период времени материал может насыщаться и периодически обезвреживаться (например, путем сжигания), и подлежит замене.

2.5.8.7 Быстрое охлаждение дымовых газов

Сокращение времени пребывания насыщенного пылью дымового газа в температурной зоне от 450 до 200°C снижает риск образования ПХДД/Ф и подобных соединений. Поэтому температуры на входе в стадию удаления пыли должны поддерживаться на уровне ниже 200°C. Это может быть достигнуто с помощью следующих технологий:

- Соответствующая конструкция котла, где время пребывания пыли в температурном диапазоне 450–200°C ограничено, чтобы избежать проблем выше по потоку.
- Добавление башни с распылительным орошением для снижения температуры на выходе из котла до температуры ниже 200°C для последующих стадий очистки от пыли.

- Прямое охлаждение дымовых газов от температуры их сгорания до температуры ниже 100°C с использованием одноступенчатого или многоступенчатого водяного скруббера. Технология используется на некоторых установках сжигания опасных отходов. Скруббер должен быть спроектирован так, чтобы справляться с большими выбросами твердых частиц (и других загрязняющих веществ), которые будут переноситься в воду скруббера, а последующие ступени иногда охлаждаются, чтобы уменьшить потери испаряющейся воды с дымовыми газами. При такой конструкции котел не используется, а рекуперация энергии ограничивается передачей тепла от горячих растворов скруббера.

2.5.9 Снижение выбросов парниковых газов (CO₂, N₂O)

[1, UBA 2001] Существует два основных способа сокращения выбросов парниковых газов:

- повысить эффективность рекуперации и подачи энергии (см. разделы 2.4 и 4.4);
- контроль выбросов CO₂ с помощью систем очистки дымовых газов.

Возможно получение карбоната натрия путем реакции CO₂ с NaOH в дымовых газах.

2.5.9.1 Предотвращение выбросов оксида азота (N₂O)

Выбросы закиси азота (N₂O) от сжигания отходов в принципе могут быть вызваны:

- использованием низких температур сгорания – обычно это становится существенным только при температуре ниже 850°C;
- применением СНКВ для снижения выбросов NO_x (особенно в случаях использования мочевины в качестве реагента).

[71, JRC (IoE), 2003] Оптимальная температура для одновременной минимизации образования как NO_x, так и N₂O находится в диапазоне 850–900°C. Когда температура в камере дожигания выше 900°C, выбросы N₂O считаются низкими. Выбросы N₂O при применении СКВ также низки. Таким образом, при условии, что температура сгорания выше 850°C, в целом, СНКВ представляет собой единственный значительный источник выбросов N₂O на мусоросжигательных установках.

Недостаточный контроль за процессом СНКВ, особенно с мочевиной, может привести к увеличению выбросов N₂O. Подобным образом возможно выделение N₂O из процессов с субстехиометрическими уровнями подачи кислорода (например, газификации и пиролиза), а также из печей с кипящим слоем, работающих в определенных условиях. [74, TWG 2004]

Для предотвращения выбросов N₂O используются следующие методы:

- снижение дозировки реагента СНКВ путем оптимизации процесса селективного некаталитического восстановления;
- оптимизация температурного окна для введения реагента СНКВ;
- использование аммиака вместо мочевины в СНКВ;
- использование методов моделирования потока для оптимизации расположения форсунок;
- проектирование, обеспечивающее эффективное смешивание газа/реагента в соответствующей температурной зоне;
- сверхстехиометрические зоны выгорания для обеспечения окисления N₂O.

2.6 Технологии очистки сточных вод

2.6.1 Принципы проектирования систем сточных вод

[2, InfoMil 2002]

Для контроля за сточными водами мусоросжигательных установок применяются следующие принципы:

1. Применение оптимальной технологии сжигания

Запуск оптимального процесса сжигания, с точки зрения важности стабильности процесса сжигания, обеспечивает эффективный контроль сбросов сточных вод на установках, использующих мокрые процессы. Неполное сжигание оказывает негативное влияние на состав дымовых газов и летучей золы, увеличивая присутствие органических соединений с загрязняющими и/или токсичными характеристиками. Это, в свою очередь, может оказать влияние на состав стоков скруббера.

2. Снижение потребления воды и сброса сточных вод

Возможные контрольные мероприятия включают:

- рециркуляцию загрязненных сточных вод в мокрых или полумокрых системах очистки дымовых газов (например, мокрых скрубберах), включая эффективный контроль процесса для минимизации сброса сточных вод;
- охлаждение загрязненных сточных вод из мокрых систем очистки дымовых газов (см. также конденсационные скрубберы в разделе 2.4.4.5), что приводит к снижению потерь воды для очистки дымовых газов и, следовательно, к снижению потребления воды; эта конструкция может исключить потребление охлаждающей воды;
- применение технологии очистки дымовых газов без сточных вод (например, полусухие или сухие сорбционные системы);
- использование сточной воды котла в качестве источника воды для скруббера;
- очистку лабораторных сточных вод в скруббере;
- применение безотходной системы удаления зольного остатка;
- использование фильтрата из открытых золохранилищ в качестве подпиточной воды для системы удаления зольного остатка;
- использование раздельных систем дренажа для обеспечения прямого сброса чистой дождевой воды с крыш и других чистых поверхностей;
- использование навесов с крышами для уменьшения количества открытых площадок хранения и подготовки отходов.

3. Соблюдение соответствующих норм выбросов воды

Некоторые параметры процесса будут сильно зависеть от местных факторов. Таким примером является сброс солевых стоков из скрубберов. Хотя такие сбросы могут быть приемлемы для морской среды, сбросы в пресные водоемы требуют учета факторов разбавления и т.д. В связи с чем такие решения могут привести к фундаментальным изменениям в технологической схеме процесса сжигания, особенно в части выбора технологий очистки дымовых газов и сточных вод.

4. Оптимальная эксплуатация систем очистки воды

Наличие хранилища достаточного объема для накопления сточных вод может дать операторам время для реагирования на нарушения условий процесса и обеспечить оптимальную работу системы очистки сточных вод.

2.6.2 Влияние систем очистки дымовых газов на сточные воды

[2, InfoMil 2002]

Образование сточных вод зависит от типа используемой системы очистки дымовых газов. Основные технологии очистки дымовых газов:

1. сухая очистка дымовых газов;
2. полумокрая очистка дымовых газов;
3. мокрая очистка дымовых газов:
 - а) с физической/химической очисткой сточных вод скруббера;
 - б) с поточным испарением сточных вод скруббера;
 - в) с отдельным испарением сточных вод скруббера;

Из этих вариантов только вариант 3 (а) образует поток сточных вод для сброса. Варианты очистки сточных вод скруббера из системы 3 (а) обсуждаются в следующих разделах вместе с технологиями, используемыми для испарения сточных вод (варианты 3б и 3в).

2.6.3 Обработка сточных вод от мокрых систем очистки дымовых газов

Технологические сточные воды, образующиеся в результате мокрой очистки дымовых газов, содержат широкий спектр загрязняющих компонентов. Количество сточных вод и концентрации загрязняющих веществ в них зависят от состава поступающих отходов и от конструкции мокрой системы очистки дымовых газов. Рециркуляция сточных вод в мокрых системах очистки дымовых газов может привести к значительному снижению количества сточных вод и, как следствие, к более высоким концентрациям загрязняющих веществ.

Для очистки сточных вод от мокрых систем очистки дымовых газов применяются три основных метода:

- **Физико-химическая обработка**, основанная на стабилизации pH и седиментации. С помощью этой системы образуется поток очищенных сточных вод, содержащий растворенные соли, и, если он не испаряется (см. ниже), требуется сброс.
- **Испарение в технологической линии сжигания отходов** с помощью распылительной сушилки в полумокрую систему очистки дымовых газов или другую систему, в которой используется рукавный фильтр. В этом случае растворенные соли включаются в отходы системы очистки дымовых газов. Выбросов сточных вод при этом не происходит. Для получения более подробной информации см. раздел 2.6.3.7.
- **Раздельное испарение сточных вод**. В этом случае испаренная вода конденсируется, но, как правило, она очень чистая и ее можно сбрасывать (или использовать повторно) без принятия дополнительных мер. Для получения более подробной информации см. раздел 2.6.3.7.

Вышеперечисленные процессы обсуждаются далее в следующих разделах. Некоторые из этих методов также описаны в справочном документе по НТД «Очистка производственных сточных вод и отходящих газов, системы менеджмента в химической промышленности», опубликованном в 2016 году.

Если СНКВ используется для контроля NO_x в мокрой системе ОДГ, расположенной ниже по потоку, сточные воды будут содержать высокие уровни NH_3 , что может потребовать дополнительной обработки с очисткой NH_3 . [74, TWG 2004]

2.6.3.1 Физико-химическая обработка

Типичная схема установки физико-химической обработки технологических сточных вод показана на Рисунке 2,44 ниже.

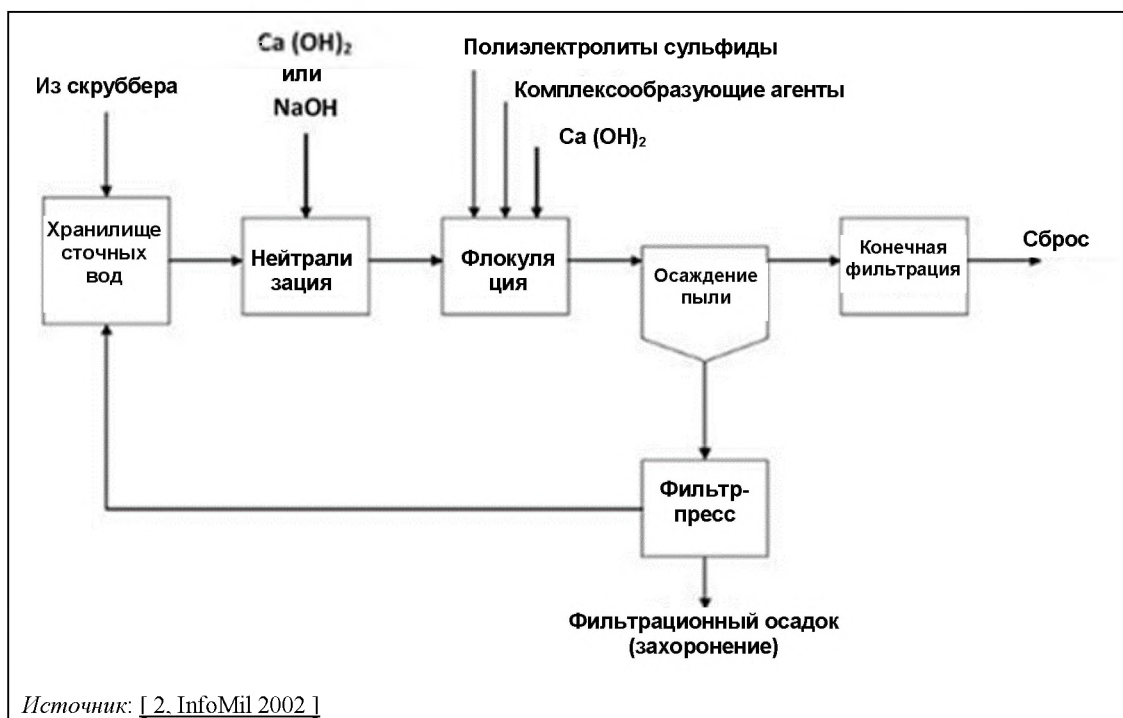


Рисунок 2.44: Технологическая схема физико-химической очистки сточных вод, образующихся при мокрой очистке дымовых газов

Этапы процесса, которые могут быть использованы:

- контроль pH (нейтрализация);
- контроль температуры;
- пылеулавливание/преципитация (например, тяжелых металлов);
- коагуляция;
- флокуляция загрязняющих веществ;
- осаждение образовавшегося осадка;
- обезвоживание осадка;
- фильтрация сточных вод («тонкая очистка»).

Для нейтрализации часто используется гашеная известь, что приводит к осаждению сульфитов и сульфатов (гипса). Там, где допускается сброс сульфитов/сульфатов в поверхностные водные объекты (например, в некоторых морских средах), вместо гашеной извести можно использовать гидроксид натрия (NaOH), что приводит к существенно более низкому образованию осадка.

Удаление соединений тяжелых металлов основано на флокуляции с последующим осаждением. Соединения тяжелых металлов имеют очень низкую растворимость в диапазоне pH 9–11. При pH выше 11 тяжелые металлы могут снова растворяться. Оптимальный pH отличается для разных соединений тяжелых металлов. В частности, оптимальное значение pH для никеля и кадмия отличается от других тяжелых металлов.

Двухступенчатая (или более) нейтрализация улучшает стабильность и контроль кислотности (pH) сбросов. Первым этапом является предварительная нейтрализация, особенно в случае сточных вод с первого кислотного этапа очистки. Второй шаг — это тонкая нейтрализация. Обеспечение достаточной емкости для хранения сточных вод помогает поддерживать устойчивый режим работы.

Флокуляция гидроксидов тяжелых металлов происходит под действием флокулянтов (полиэлектролитов) и FeCl_3 . Дополнительное удаление ртути и других тяжелых металлов может быть достигнуто при добавлении комплексообразователей.

Осаждение фторидов требует pH в диапазоне от 8 до 9. [74. TWG 2004]

Осаждение обычно происходит в отстойниках или в пластинчатых сепараторах.

Образующийся осадок обычно обезвоживается в фильтр-прессах. Содержание сухих твердых веществ составляет 40–60%, в зависимости от используемых химикатов и других условий.

При необходимости для фильтрации получаемых сточных вод («тонкая очистка») можно использовать песочные и/или угольные фильтры. Непосредственным эффектом песочных фильтров в основном является снижение содержания взвешенных частиц, но это также приводит к снижению концентрации тяжелых металлов. Фильтрация с активированным углем особенно эффективна для снижения содержания ПХДД/Ф, ПАУ и т.д. Активный уголь необходимо регулярно заменять. Также используются другие системы фильтрации (например, дисковые фильтры).

Установки физико-химической очистки сточных вод требуют оперативного обслуживания, поскольку они представляют собой чувствительные системы.

2.6.3.2 Применение сульфидов

Для проведения флокуляции обычно используются органические агенты (например, полиэлектролиты). Добавление комплексообразователей и сульфидов (например, Na_2S , тримеркапто-*s*-триазин – ТМТ) позволяет дополнительно сократить сбросы ртути и других тяжелых металлов.

Использование сульфидов требует соблюдения специальных правил безопасности из-за их токсичности. Одним из преимуществ их использования является более низкая стоимость сульфидов по сравнению с другими комплексообразователями.

2.6.3.3 Применение мембранных технологий

Одним из вариантов очистки сточных вод, загрязненных солями и микроорганизмами, является мембранная фильтрация. Этот метод особенно эффективен для больших потоков воды с относительно низкой концентрацией соли. При более высоких концентрациях соли потребление энергии быстро увеличивается.

Содержание соли в технологических сточных водах при сжигании отходов является высоким (до 10% масс.). Поэтому этот вариант обычно требует значительного дополнительного энергопотребления.

Оставшаяся вода с высокой концентрацией растворенного вещества должна быть удалена через соответствующее выходное отверстие. [74, TWG 2004]

2.6.3.4 Удаление аммиака

При применении технологии СНКВ de- NO_x сточные воды из мокрого скруббера содержат соединения аммиака. Фактическая концентрация аммиака зависит от технологических условий процесса СНКВ de- NO_x . В зависимости от фактической концентрации аммиака, способы его удаления из сточных вод могут быть разными.

Установка для удаления аммиака состоит в основном из подогреваемой дистилляционной колонны. Пары конденсируются, в результате чего получается раствор аммиака. Хотя концентрация аммиака обычно ниже исходной концентрации рабочего раствора, раствор можно повторно использовать в процессе СНКВ.

Удаление аммиака требует повышения pH до 11–12,5 и использования пара. При использовании извести для нейтрализации сообщалось о возросших рисках загрязнения.

2.6.3.5 Раздельная очистка сточных вод от первых до последних ступеней системы очистки

Первоначальный этап (этапы) систем мокрой очистки обычно работает при очень низком уровне pH. В этих условиях процесса HCl специально удаляется из потока дымовых газов. Удаление SO_2 происходит на последнем этапе при нейтральном pH.

Если эти два потока сточных вод рассматриваются отдельно, процесс очистки сточных вод может быть оптимизирован для каждого потока, а из стоков скруббера, содержащего SO_2 , может быть извлечен пригодный для повторного использования гипс

Сточные воды на первой ступени скруббера нейтрализуются гашеной известью или известковым молоком с последующим удалением соединений тяжелых металлов путем флокуляции и осаждения. Очищенные сточные воды, содержащие в основном CaCl_2 , смешивают со сточными водами с конечной стадии, в основном содержащими $\text{Na}_2\text{SO}_{3/4}$. Это приводит к образованию гипса и жидких стоков, в основном содержащих NaCl .

В зависимости от местных условий эта соленая сточная вода сбрасывается или испаряется. В результате испарения образуется NaCl .

Поскольку соль отделяется от других остатков очистки дымовых газов, содержащихся в сточных водах, это приводит к очень значительному уменьшению массы отходов – осажженный осадок соединений тяжелых металлов является единственным оставшимся отходом.

2.6.3.6 Анаэробная биологическая очистка (превращение сульфатов в элементарную серу)

Одной из проблем сбросов очищенных сточных вод может быть остаточное содержание сульфатов. Сульфаты могут влиять на бетонные системы канализации. Для решения этой проблемы была разработана система для анаэробной биологической очистки сточных вод от сжигания отходов.

Сульфаты в сточных водах могут превращаться в сульфиды в реакторе благодаря активности анаэробных бактерий. Стоки этого реактора, которые имеют высокое содержание сульфидов, обрабатываются во втором реакторе. В этом втором реакторе сульфиды биологически окисляются в аэробной атмосфере до элементарной серы. Необходимо следить за тем, чтобы на аэробной стадии было достаточно кислорода; в противном случае вместо элементарной серы будет производиться тиосульфат, что ограничит очистку сточных вод.

Затем сера удаляется из сточных вод в многослойном сепараторе. Собранный осадок обезвоживается в декантаторе, что приводит к образованию серного осадка, который в дальнейшем можно использовать. Оставшиеся сточные воды могут быть повторно использованы в скруббере и/или сброшены.

Сообщается, что данная технология трудно применима к сточным водам, образующимся в установках сжигания опасных отходов [64, TWG 2003].

2.6.3.7 Системы испарения для технологических сточных вод

Если сброс растворимых солей (хлоридов) неприемлем, то технологические сточные воды должны быть испарены. Для этого существуют два основных варианта:

- поточное испарение;
- раздельное испарение.

2.6.3.7.1 Поточное испарение

В этой конфигурации сточные воды повторно используются в процессе с помощью распылительной сушилки. На рисунке 2.45 ниже представлена технологическая схема процесса.

Распылительная сушилка сравнима с распылительным абсорбером, используемым в полумокрой системе очистки дымовых газов. Разница заключается в том, что в случае полумокрой обработки вводится известковое молоко, а для поточного испарения для впрыскивания используются сточные воды из скруббера после этапа нейтрализации. Эта стадия нейтрализации может сочетаться с флокуляцией и осаждением загрязняющих веществ, в результате чего образуется отдельный остаток (шлам). В некоторых случаях гашеная известь подается в распылительный абсорбер для предварительной нейтрализации газа.

Из-за применения системы мокрой очистки потребление химикатов является приблизительно стехиометрическим и, следовательно, образование отходов ниже, чем в полумокрых системах очистки дымовых газов.

Раздельное испарение основано на системах испарения с паровым обогревом. На рисунке 2.46 ниже приведен пример схемы процесса.

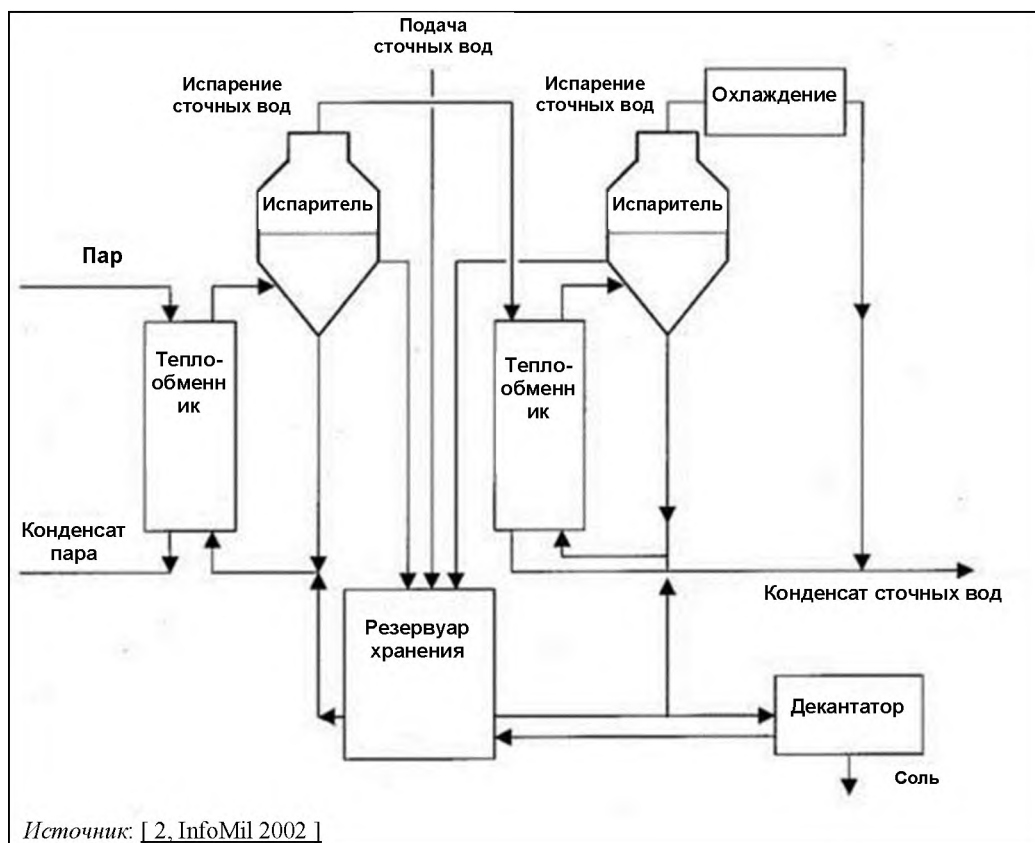


Рисунок 2.46: Раздельное испарение стоков скруббера от мокрой очистки

Сточные воды, содержащие растворимые соли, подают в резервуар для хранения, содержащий смесь сточных вод и уже частично испаренной жидкости. Затем вода частично испаряется в реакторе под низким давлением. Требуемое тепло подается паром (низкого давления) и передается жидкости в теплообменнике. Избыточная жидкость возвращается в резервуар для хранения. Пары охлаждаются, в результате чего образуется чистый конденсат, который затем сливается.

Из-за увеличения концентрации соли в жидкости начинается кристаллизация солей. Затем кристаллы соли отделяются в декантаторе и собираются в контейнере.

На рисунке 2.46 показан двухступенчатый процесс, в котором установлены два испарителя. Подвод тепла ко второму испарителю осуществляется от первого испарителя, что снижает удельное потребление энергии. Кроме того, если тепло не используется для какой-либо другой цели (например, в централизованном теплоснабжении), то можно уменьшить эффективное потребление энергии, поскольку можно использовать пар низкого давления.

Эта технология требует энергии, и может создавать эксплуатационные риски, такие как загрязнение кристаллизованными солями. [64, TWG 2003]

2.6.3.8 Удаление или испарение соляной кислоты

[1, UBA 2001]

При сжигании отходов, содержащих хлор, образуется хлористый водород. Хлористый водород поглощается водой, образуя соляную кислоту. Полученная соляная кислота представляет собой бесцветную жидкость и не содержит примесей после обработки. Она представляет собой водный раствор с концентрацией HCl приблизительно 19% масс. и может использоваться в качестве сырья в различных технологических установках, например, для контроля pH на хлор-производящих заводах.

При производстве соляной кислоты дымовые газы, выходящие из парового котла, сначала сбрасываются в закалочное устройство и охлаждаются. Блок заправки содержит форсунки, через которые соляная кислота из нижней промывной колонны распыляется в дымовой газ. Часть соляной

кислоты испаряется, что приводит к охлаждению дымовых газов.

Соляная кислота переносится из закалочного устройства в промывную колонну вместе с охлажденным дымовым газом. В промывной колонне абсорбируются хлористый водород и другие кислотные газы, содержащиеся в дымовых газах. Затем соляную кислоту перемещают в резервуар временного хранения. Дымовой газ, очищенный от хлористого водорода, выходит из колонны промывки кислотой через брызгоуловитель, установленный в верхней части колонны, и попадает в ионизационный мокрый скруббер.

Соляная кислота, образующаяся в колонне промывки дымовых газов кислотой, очищается от растворенных солей и твердых веществ в испарительной системе. После этой стадии очистки соляную кислоту можно использовать в качестве сырья на различных производственных предприятиях.

Из резервуара временного хранения насос передает соляную кислоту в испаритель. Здесь необработанная кислота обогащается в вакууме, превращаясь в азеотропную смесь. Избыток воды и небольшое количество хлористого водорода переходят в паровую фазу и конденсируются с водой в адсорбционной башне.

Из вакуумного блока технологическая жидкость закачивается в установку для очистки сточных вод вместе с избытком воды. Необработанная кислота, превращенная в азеотроп, будет испаряться, а затем снова конденсироваться. Оставшиеся кислотосодержащие твердые вещества и тяжелые металлы извлекаются из испарителя и закачиваются в перемешивающее устройство для нейтрализации.

[64, TWG 2003]

2.6.4 Обработка сточных вод на заводах по сжиганию опасных отходов

55% европейских установок по сжиганию опасных отходов не сбрасывают сточные воды; они либо используют технологические системы, при эксплуатации которых не образуются сточные воды (например, сухую или полусухую очистку дымовых газов), либо испаряют воду через дымовую трубу с помощью распылительных сушилок или в отдельной испарительной установке, иногда после дополнительной обработки сточных вод с целью удаления ртути [74, TWG 2004]

Остальные 45% европейских установок по сжиганию опасных отходов имеют оборудование для очистки сточных вод, в основном по технологиям, представленным на рисунке 2.47 ниже, и могут быть систематизированы следующим образом.

Существует общее различие между мусоросжигательными печами, оборудованными испарителем, и теми, которые оснащены системой быстрого охлаждения, причем поток сбрасываемых сточных вод для них больше по техническим причинам. (Примечание: некоторые установки по сжиганию опасных отходов оснащены как системой быстрого охлаждения, так и испарителем) [74, TWG 2004]. Установки оборудованы котлом с расходом от <1 л/кг до 5 л/кг сжигаемых отходов. Установки только с системами закалки-охлаждения сбрасывают от 10 л/кг до 20 л/кг сожженных отходов, хотя они могут снизить расход воды до 5 л/кг путем рециркуляции сточных вод на очистных сооружениях или рециркуляции внутри самого закалочного устройства.

Обычно стоки от кислотного участка установки мокрой очистки газа (содержащие NaCl, CaCl₂, Hg, CaF₂ и SO₃) смешиваются со стоками щелочного участка (содержащие Na₂SO₄) для осаждения части гипса (и для уменьшения содержания сульфатов в сточных водах менее 2 г/л, что является пределом растворимости гипса) перед дальнейшей обработкой. Однако существует одна установка, в которой стоки кислотных и щелочных скрубберов обрабатываются отдельно.

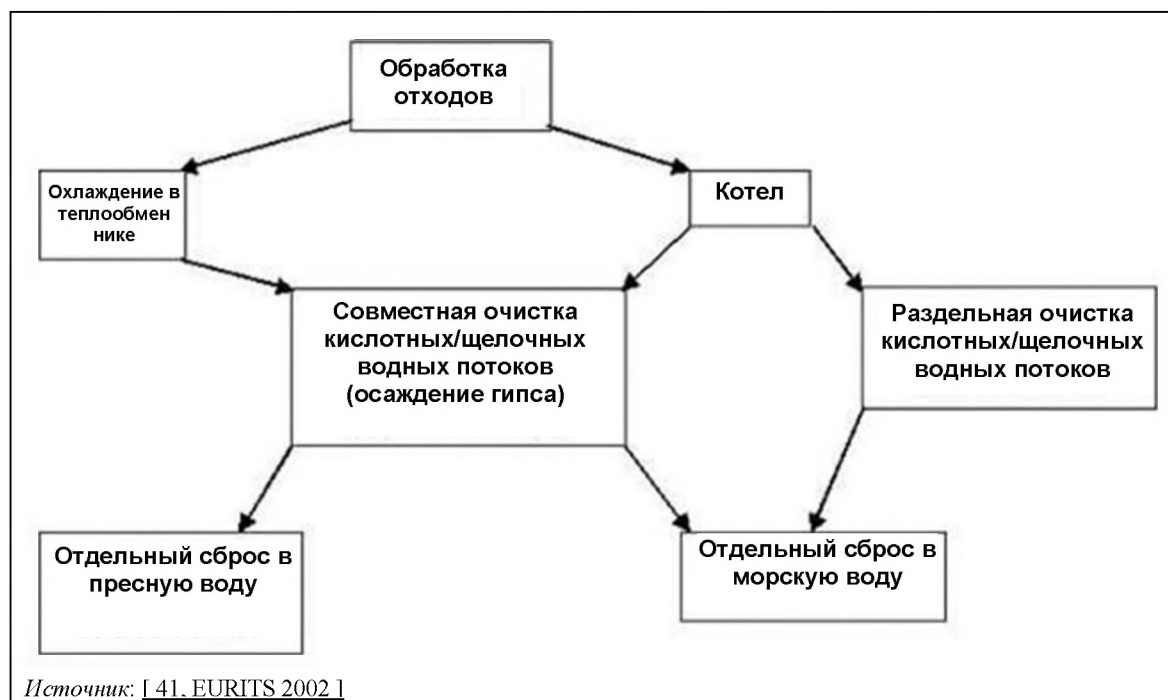


Рисунок 2.47: Обзор применяемых систем очистки сточных вод на коммерческих установках по сжиганию опасных отходов

Наличие собственной очистной установки или передача сточных вод на внешнюю очистную установку зависит от месторасположения предприятия.

На рисунке 2.48 ниже приведена типичная схема установки для очистки сточных вод, образующихся при мокрой очистке дымовых газов, образующихся во время сжигания опасных отходов.

Основными технологическими этапами таких установок являются:

- нейтрализация (например, добавление извести, NaOH/HCl);
- добавление реагентов, специально предназначенных для осаждения металлов в виде гидроксидов или сульфидов металлов (например, флокулянты, тримеркапто-триазин, сульфиды, полиэлектролиты);
- удаление осадка: либо с использованием седиментации под действием силы тяжести и декантации, либо с использованием механических методов, таких как фильтр-пресс или центрифуга.

На некоторых установках очистки сточных вод сточные воды доочищают, пропуская их через песочный фильтр, а затем фильтр с активированным углем.

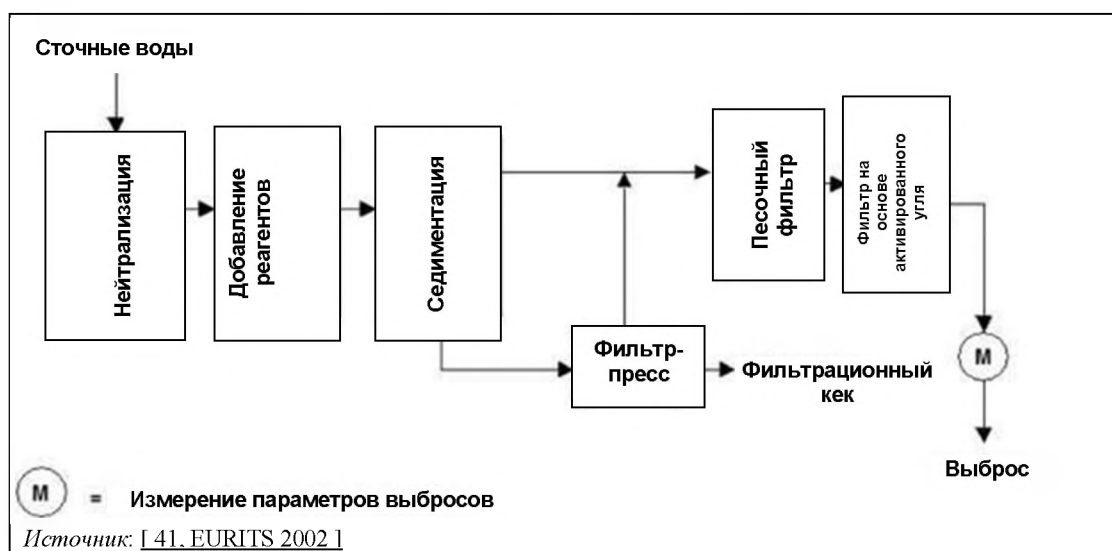


Рисунок 2.48: Пример установки очистки сточных вод, используемой на коммерческой установке по сжиганию опасных отходов

2.7 Методы обработки твердых остатков

2.7.1 Виды твердых остатков

При сжигании отходов образуются различные виды твердых остатков:

- **зольный остаток** – твердый остаток, удаляемый из камеры сжигания после сжигания отходов;
- **зола кипящего слоя** – твердый остаток, удаляемый из псевдоожиженного слоя после сжигания отходов;
- **шлак** – твердый расплавленный остаток, удаляемый из камеры сжигания после сжигания отходов;
- **летучая зола** включает частицы из камеры сжигания или образующиеся в потоке дымовых газов, которые транспортируются в потоке дымовых газов;
- **котельная зола** – это часть летучей золы, которая удаляется из котла;
- **остатки ОДГ** – смесь загрязняющих веществ, изначально присутствующих в дымовых газах, а также веществ, которые использовались для удаления этих загрязняющих веществ;
- **отработанный катализатор** – это использованный катализатор, который был заменен;
- **шлам** – это твердый остаток, удаляемый из мокрого скруббера или из установки очистки сточных вод.

2.7.1.1 Остатки, возникающие непосредственно в процессе сжигания

Эти остатки могут варьироваться в зависимости от типа сжигаемых отходов и применяемого процесса сжигания.

Сжигание коммунальных отходов

- **Зольный остаток.** Это важный остаток от сжигания коммунальных отходов из-за его большого количества. Большинство заводов по сжиганию коммунальных отходов используют систему мокрого сброса зольного остатка, а некоторые используют сухую систему удаления. Последующая обработка зольного остатка также может быть мокрой или сухой (см. раздел 4.7.5 и раздел 4.7.6). Зольный остаток называется свежим зольным остатком, когда его сначала удаляют из установки, необработанным зольным остатком – до его обработки и выдержанным зольным остатком – после обработки и хранения в течение некоторого времени. [75, FEAD, 2014]
- **Отсев** (остаток на решетке) – это частицы, которые прошли через решетку во время сжигания. В некоторых случаях их снова подают в печь.
- **Летучая зола.** Отходы этого типа в основном удаляются, часто после предварительной обработки, но также используются в качестве наполнителя для применения с битумом в гражданском строительстве (в странах, где такая практика разрешена) [74, TWG 2004]. Дополнительным вариантом является извлечение металлов, таких как цинк, свинец, медь и кадмий – такая технология широко реализована в Швейцарии [65, BAFU 2010]. Технологии обработки и удаления приведены ниже.
- **Котельная зола** часто обрабатывается вместе с летучей золой. В некоторых странах (например, в Великобритании и Нидерландах) ее можно обрабатывать вместе с зольным остатком. [74, TWG 2004]

Сжигание опасных и медицинских отходов

- **Шлак** утилизируется на свалке без дальнейшей обработки или может быть переработан, если это разрешено.
- **Летучая зола** аналогична той, которая возникает в установках по сжиганию ТКО, но, поскольку она может содержать более высокие уровни загрязняющих веществ, ее обычно утилизируют.

Сжигание осадка сточных вод

- **Летучая зола** может использоваться без дальнейшей обработки в качестве наполнителя в гражданском строительстве, в странах где такая практика разрешена. В Германии ее также используют для засыпки карьеров. Неиспользованная зола захороняется. Летучая зола мусоросжигательных заводов, предназначенная исключительно для сжигания осадка сточных

вод, содержит большое количество P_2O_5 и была указана в качестве потенциального вторичного источника фосфора.

- **Зола кипящего слоя.** Производимое количество является относительно небольшим и часто добавляется в летучую золу или захороняется без дальнейшей обработки.

Сжигание RDF-топлива

- **Зола кипящего слоя.** В зависимости от конкретных характеристик материала количество золы кипящего слоя может быть значительно выше, чем при сжигании осадка сточных вод. Есть небольшой опыт ее повторного использования.
- **Летучая зола,** образующаяся при сжигании древесных отходов в малых и средних масштабах. Производимое количество является относительно небольшим и далее не обсуждается.

Некоторые установки работают при особенно высоких температурах (например, $>1\ 400^\circ\text{C}$) с конкретной целью плавления зольного остатка с образованием шлака, который имеет улучшенные варианты использования благодаря более низкой выщелачиваемости и т. д. Высокотемпературные шлаковые вращающиеся печи и комбинированные процессы газификации-сгорания являются примерами таких систем. Последний способ применяется в Японии, где к остаткам сжигания ТКО применяются очень строгие критерии выщелачивания, в частности, для увеличения повторного использования остатков и уменьшения потребности в свалках.

Как в самой Европе, так и за ее пределами существуют различные правила и процедуры, касающиеся повторного использования отходов от мусоросжигательных заводов. [74, TWG 2004]

2.7.1.2 Остатки, образующиеся при очистке дымовых газов (ОДГ)

Остатки очистки дымовых газов представляют собой смесь загрязняющих веществ, изначально присутствующих в дымовых газах, и веществ, которые используются для удаления этих загрязняющих веществ. Остатки ОДГ содержат концентрированные количества загрязняющих веществ (например, опасных соединений и солей) и, следовательно, обычно не считаются пригодными для переработки. Основная цель заключается в том, чтобы найти экологически безопасный вариант их окончательного удаления. Можно выделить следующие типы остатков очистки дымовых газов:

- **Остатки от сухой и полумокрой очистки дымовых газов** представляют собой смесь солей кальция и/или натрия, главным образом в виде хлоридов и сульфитов/сульфатов. Есть также доля фторидов и непрореагировавших реагентов (например, гашеная известь или карбонат натрия). Эта смесь также содержит некоторое количество летучей золы, которая не была удалена на предыдущих стадиях удаления пыли. Следовательно, она может также содержать тяжелые металлы и ПХДД/Ф. Обычный метод утилизации – это захоронение в виде опасных отходов, часто в контейнерах типа «биг-бэг» или, после цементирования, в блоках. Выщелачиваемость остатков является важным параметром для захоронения отходов. Для снижения выщелачивания перед захоронением могут применяться различные виды обработки, которые описаны в Справочном документе по НТД переработки отходов. Остатки очистки дымовых газов, полученные при обработке сухим бикарбонатом натрия, могут быть очищены и переработаны. [74, TWG 2004]
- **Шлам от физико-химической обработки сточных вод мокрой очистки дымовых газов** характеризуется очень высоким содержанием тяжелых металлов, но также может содержать соли с ограниченной растворимостью, такие как гипс. Обычный метод утилизации – захоронение (как опасные отходы). Эти остатки могут содержать высокие уровни ПХДД/Ф и поэтому иногда подвергаются предварительной обработке перед захоронением.
- **Гипс** также можно извлекать с очисткой или без нее, в зависимости от параметров процесса и требований к качеству. Извлечение возможно при использовании известняка или гашеной извести в двухступенчатом мокром скруббере с эффективным каплеотделителем. [74, TWG 2004] При некоторых условиях извлеченный гипс может быть переработан.
- **Соли,** образующиеся в результате поточного испарения сточных вод. Этот остаток сопоставим с остатком от (полу)сухой очистки дымовых газов.
- **Соли,** образующиеся в результате раздельного испарения сточных вод. Использование или захоронение соли зависит от состава остатка. Обычно он чище, чем остаток от поточного испарения.
- **Остатки от вырыска сухого сорбента.** Варианты использования зависят от используемого

сорбента (активированный уголь, кокс, гашеная известь, бикарбонат натрия, цеолит). Остаток (активированного) угля из реакторов с неподвижным слоем иногда сжигается на мусоросжигательной установке, если мусоросжигательная установка способна уничтожать и/или удерживать содержащиеся в ней загрязняющие вещества. Остаток систем с увлекаемым потоком слоем также можно сжигать, если применяемый адсорбент представляет собой только активированный уголь или печной кокс. Если используется смесь других реагентов и активированного угля, остаток обычно отправляется на внешнюю обработку или утилизацию, поскольку могут возникнуть риски коррозии.

2.7.2 Очистка и использование твердых остатков, возникающих непосредственно в процессе сжигания

Высокое содержание минералов в остатках от сжигания может сделать их потенциально пригодными для использования в качестве дорожного или другого строительного материала. Использование возможно, если материал соответствует ряду экологических и технических критериев. Это требует оптимизации качества золы посредством первичных или вторичных мер. Общие параметры, требующие внимания:

- степень сжигания;
- минеральная реактивность;
- выщелачивание металла;
- содержание солей;
- размер частиц и распределение частиц по размеру.

После соответствующей обработки отходы многих современных мусоросжигательных заводов отвечают экологическим и техническим требованиям этих качественных параметров. Нормативные и законодательные барьеры иногда являются основными барьерами на пути использования (в частности) зольного остатка от правильно спроектированных/эксплуатируемых установок.

Методы обработки остатков обычно направлены на оптимизацию одного или нескольких из этих параметров, чтобы приблизить их к качеству первичных строительных материалов. Из-за большого объема производства, меньшей опасности и выщелачивания, обработка применяется главным образом в отношении зольного остатка ТКО. Использование зольного остатка от сжигания неопасных отходов стимулируется в Нидерландах (более 90% использованных), Дании (90%), Германии (80%), Франции (>80%), Бельгии и Великобритании (21%). Зола/шлак, образующийся в результате сжигания опасных отходов, обычно направляется на полигоны захоронения опасных отходов.

Методы обработки зольного остатка описаны в разделе 4.7. Зольный остаток может использоваться над уровнем грунта в качестве строительного материала. Существуют сильные сезонные и региональные различия в объемах, которые можно использовать для различных применений в строительстве. Зольный остаток также используется под грунтом в качестве материала обратной засыпки, чтобы обеспечить надежную долговременную поддержку грунта в старых горных выработках.

[38, Vehlouw 2002], [39, Vrancken 2001], [56, UKEnvAgency 2002], [64, TWG 2003], [74, TWG 2004], [82, Germany 2014].

Обработка летучей и котельной золы применяется только на нескольких установках в Европе. В Нидерландах зола от заводов по сжиганию ТКО и осадков сточных вод (ОСВ) применяется в качестве наполнителя для дорожно-строительных материалов (асфальт) без предварительной обработки на мусоросжигательной установке. Около трети всей летучей золы от заводов по сжиганию ТКО и 80% летучей золы от заводов по сжиганию сточных вод (всего около 80 000 тонн в год) было использовано таким образом в Нидерландах. [74, TWG 2004]. Технологии обработки летучей золы и котельной золы описаны в Справочном документе по НТД переработки отходов.

Также были разработаны специальные процессы для совместного использования остатков, образующихся при мокрых процессах очистки дымовых газов, таких как процесс кислотного выщелачивания в зольном фильтре (FLUWA-технология), который широко используется в Швейцарии. В этом процессе кислота из воды скруббера подается в оборот и извлекает тяжелые металлы, содержащиеся в зольной пыли. На стадии фильтрации осадок летучей золы с низким

содержанием металла отделяют от фазы металлосодержащего фильтрата, а затем обрабатывают гидрометаллургическим процессом для отделения и извлечения содержащихся металлов. При применении FLUREC-технологии кадмий, свинец и медь редуکتивно разделяются и используются в качестве вторичного продукта при производстве свинца или меди. Цинк, присутствующий в экономически выгодных концентрациях, отделяется от предварительно очищенного фильтрата путем селективного извлечения жидкости из раствора, а затем обогащается и электролитически извлекается в виде цинка высокой степени очистки. [65, BAFU 2010]

Первичные методы контроля за выбросами остатков включают оптимизацию управления процессом сжигания для того, чтобы [38, Vehlow 2002]:

- обеспечить высокое выгорание углеродных соединений;
- способствовать испарению тяжелых металлов, таких как ртуть и кадмий, из слоя топлива; а также
- удерживать литофильные элементы в зольном остатке, тем самым уменьшая их выщелачиваемость.

Вторичные системы обработки включают одну или несколько следующих стадий:

- уменьшение размера, чтобы обеспечить разделение металлов и улучшить качественные показатели;
- разделение черных и цветных металлов, которые могут быть переработаны в металлургии;
- отделение негоревших элементов для их возврата в мусоросжигательный завод;
- промывка, для удаления растворимых солей;
- состаривание (карбонизация) для стабилизации структуры матрицы и снижения реакционной способности/выщелачивания;
- обработка гидравлическим или углеводородным соединительным элементом для повторного использования в качестве дорожного полотна;
- термическая обработка, для придания металлам инертности в стеклянной матрице.

Как первичные, так и вторичные технологии более подробно обсуждаются в разделе 4.7.

2.7.3 Методы обработки остатков очистки дымовых газов

Методы обработки, которые могут быть применены к остаткам очистки дымовых газов описаны в Справочном документе по НТД переработки отходов.

Термическая обработка остатков от сжигания широко применяется в нескольких государствах, главным образом для уменьшения объема остатков, а также для уменьшения содержания в них органических и тяжелых металлов и снижения выщелачивания перед захоронением. Иногда остатки очистки дымовых газов и зольный остаток смешивают вместе для термической обработки. [74, TWG 2004]

Выделяют три процесса термической обработки: стеклование, плавление и спекание. Различия между этими процессами в основном связаны с характеристиками и свойствами конечного продукта. Дымовой газ, полученный в результате термической обработки твердых остатков, может содержать большое количество загрязняющих веществ, таких как NO_x, TVOC, SO_x, пыль и тяжелые металлы, поэтому требуется соответствующая очистка дымовых газов. Иногда полученный дымовой газ подается в систему очистки дымовых газов мусоросжигательного завода, если он расположен поблизости. [74, TWG 2004]

2.8 Меры и средства обеспечения безопасности

Этот раздел посвящен безопасности в контексте предотвращения аварий, которые могут привести к выбросам загрязняющих веществ.

[64, TWG 2003]

Безопасность завода является важным аспектом при его проектировании, наладки и эксплуатации. Для обеспечения высокого уровня безопасности установки, и в первую очередь потенциально опасных участков, части установки, имеющие отношение к безопасности, оснащены защитными системами. Они должны предотвращать, насколько это возможно, возникновение неисправностей или аварий, которые могут оказать негативное воздействие на окружающую среду в непосредственной близости от станции, или уменьшать такие последствия в случае неисправности или аварии.

Относящиеся к безопасности участки мусоросжигательных установок и, следовательно, потенциальные источники опасности включают, в частности, зоны, в которых присутствуют или могут накапливаться в больших количествах определенные вещества, которые представляют угрозу безопасности.

Это, в частности:

- бункер для отходов и другие помещения для хранения потенциально опасных отходов;
- установки для сжигания и очистки дымовых газов; а также
- хранилища для вспомогательных веществ (например, аммиак, активированный уголь).

Защитные системы, используемые для контроля рисков, включают в себя:

- системы контроля выбросов загрязняющих веществ, такие как системы хранения использованной воды для пожаротушения, ограждение резервуаров для веществ, представляющих опасность для воды;
- системы и устройства противопожарной защиты, такие как пути эвакуации, пожарные извещатели, системы пожаротушения;
- системы защиты от взрывов, такие как системы сброса давления, байпасы, устройства для предотвращения источников возгорания, системы инертного газа, системы заземления;
- системы защиты от саботажа (например, меры безопасности здания, контроля доступа и наблюдения);
- противопожарные перегородки для разделения трансформаторов и стопорных устройств;
- системы обнаружения пожара и защита в местах размещения низковольтных распределительных щитов;
- системы обнаружения загрязняющих веществ (аммиак, газ и т.д.) вблизи соответствующего хранилища, системы распределения и т.д.;
- системы защиты от неблагоприятных факторов окружающей среды (например, наводнения, сильные ветры, удары молнии и экстремально жаркая и холодная погода).

Другие компоненты установки, необходимые для обеспечения безопасности эксплуатации:

- Машины и оборудование, предназначенные для обеспечения подачи и аккумуляции энергии (например, аварийный генератор энергии).
- Компоненты для разгрузки, удаления или хранения опасных веществ или смесей опасных веществ, такие как резервуары для хранения, системы аварийного сброса и опорожнения.
- Системы оповещения, сигнализации и безопасности, которые срабатывают при нарушении нормальной работы, предотвращают нарушение нормальной работы или восстанавливают нормальную работу. Это включает в себя все контрольно-измерительные системы завода. В частности, все контрольно-измерительные системы и системы управления для различных параметров процесса, которые, с одной стороны, необходимы для обеспечения нормальной работы, а с другой, которые в случае неисправности приводят поврежденные компоненты установки в безопасное состояние и информируют оперативный персонал о неисправностях.

Время отклика защитного устройства на неисправность или аварию может привести к временному увеличению выбросов загрязняющих веществ. Цель всех мер безопасности должна состоять в том,

чтобы свести этот временной интервал к минимуму и восстановить безопасный режим эксплуатации установки.
[64, TWG 2003]

ⁱD

3 ТЕКУЩИЕ УРОВНИ ПОТРЕБЛЕНИЯ И ВЫБРОСОВ

В этой главе содержится информация о текущих уровнях потребления и выбросах в мусоросжигательном секторе, в том числе касательно процессов, описанных в главе 2. Информация по основным типам сжигаемых отходов, принимаемых во внимание, представлена подробно при условии актуальности определенной темы и наличия данных. Ранее описанные в главе 2 экологические проблемы дополнительно подтверждаются данными в этой главе, в том числе определяются ключевые экологические проблемы.

Основными экологическими проблемами для сектора являются выбросы в атмосферный воздух и вопросы рекуперации энергии. Выбросы в воду являются менее заметной проблемой.

Данные о выбросах и потреблении в этой главе в основном получены на основе общих данных, собранных на отдельных участках в 15 государствах-членах, а также в Норвегии, и предоставленных для разработки этого документа. Другие источники сводных данных и данных по конкретным участкам были получены от государств-членов и промышленных предприятий и также включены в эту главу. Данные, представленные в этой главе, предназначены для иллюстрации текущих уровней выбросов в секторе, а также соответствующих им уровней потребления энергии и воды, включая подробную информацию о переработанных отходах и произведенных остатках (побочных отходах).

В целях четкого представления данных и обеспечения прозрачного анализа в эту главу включено большое количество графиков и таблиц, где продемонстрированы уровни выбросов и потребления, достигнутые линиями/заводами по сжиганию отходов, предоставившими эти данные в 2016 году. Для этого заводы или линии были классифицированы на основании следующего:

По типу печи:

- колосниковые печи;
- ротационные печи;
- печи с кипящим (псевдоожиженным) слоем;
- печи, кроме указанных выше типов (например, установки для сжигания жидких отходов);
- газификационные установки.

По типу отходов, при этом заводы классифицируются на основе наиболее распространенного типа отходов (по весу), сожженных в отчетном 2014 году:

- твердые коммунальные отходы;
- осадок сточных вод;
- другие неопасные отходы;
- медицинские отходы;
- опасные отходы (для целей рекуперации энергии в этой категории отходов проводится дополнительное различие между опасными древесными отходами и другими видами опасных отходов).

По размеру:

- небольшие заводы: менее 100 000 тонн/год для неопасных отходов или менее 48 000 тонн/год для опасных отходов;
- средние заводы: более 100 000 тонн/год для неопасных отходов или от 48 000 тонн/год до 80 000 тонн/год для опасных отходов;
- крупные заводы: более 250 000 тонн/год для неопасных отходов или более 80 000 тонн/год для опасных отходов.

По сроку службы, в зависимости от года, когда завод/линия впервые вступили в эксплуатацию:

- старые заводы, введенные в эксплуатацию до 2000 года;
- промежуточные заводы, которые были введены в эксплуатацию после 2000 года, но до 2006 года (год публикации предыдущего Справочного документа по НДТ сжигания отходов); к ним также относятся заводы, которые были модернизированы до их нынешней конфигурации до 2006 года;
- новые заводы, которые были введены в эксплуатацию после 2006 года; к ним также относятся заводы, которые были модернизированы до их текущей конфигурации после 2006 года.

3.1 Введение

Выбросы и потребление на мусоросжигательных заводах в основном зависят от:

- состава и содержания отходов;
- технических характеристик печи (проектирование и эксплуатация);
- проектирования и эксплуатации оборудования для очистки дымовых газов.

Выбросы в атмосферный воздух

Выбросы HCl, HF, SO₂, NO_x и металлов зависят главным образом от состава отходов и качества очистки дымовых газов. Выбросы CO и ЛОС определяются главным образом техническими параметрами печи и степенью неоднородности отходов, когда они достигают стадии сгорания. Конструкция и работа печи также в значительной степени влияют на NO_x. Выбросы пыли очень зависят от эффективности очистки дымовых газов. Выбросы ПХДД/Ф в атмосферный воздух зависят от состава отходов, характеристик печи (температуры и времени пребывания) и условий эксплуатации установки (реформирование и синтез *de novo* возможны при определенных условиях, а также эффективности очистки дымовых газов.

Мусоросжигательные заводы обычно производят объемы дымовых газов от 4 500 м³ до 6 000 м³ на тонну отходов (в расчете на 11% кислород) в зависимости от НТС отходов. Для установок по сжиганию опасных отходов это значение (в расчете на 11% кислород) обычно составляет от 6 500 м³ до 10 000 м³, в зависимости, главным образом, от средней НТС отходов. Установки, использующие пиролиз, газификацию или обогащенный кислородом воздух, производят меньшие объемы дымовых газов на тонну сжигаемых отходов.

Уровни выбросов в атмосферный воздух в этом документе приведены за определенные усредненные периоды – обычно как годовые, суточные и получасовые средние. Некоторые заводы, особенно те, на которые поступают высокогетерогенные фракции отходов, иногда попадают под переходные условия, которые приводят к мгновенным концентрациям выбросов, находящихся за пределами средних диапазонов. [64, TWG 2003]

Выбросы в воду

В зависимости от типа применяемой очистки дымовых газов также могут происходить выбросы в воду. Влажная очистка дымовых газов является основным источником выбросов, хотя в некоторых случаях эти выбросы также удаляются путем испарения.

Некоторые другие потоки сточных вод могут возникать из хранилищ, котлов и т.д. Они описаны в разделах 3.3.1 и 3.3.2.

Твердые остатки

Твердые остатки, которые могут образоваться:

- зольный остаток или шлак;
- летучая зола, остатки очистки дымовых газов, остатки очистки сточных вод.

(Более подробное описание см. в разделе 2.7.1.)

[64, TWG 2003]

На образование и состав этих твердых остатков влияют:

- содержание и состав отходов, например, различное содержание золы влияет на количество образующегося зольного остатка, а содержание таких веществ, как хлор или сера, будет влиять на состав остатков очистки дымовых газов;
- конструкция и работа печи, например, пиролизные установки намеренно производят уголь вместо золы, а высокотемпературные печи могут спекать или стекловать золу и испарять некоторые фракции;
- разработка и эксплуатация системы очистки дымовых газов, например, некоторые системы отделяют пыль от химических остатков, а влажные системы производят стоки, из которых твердые вещества извлекаются после обработки.

Вырабатываемая установкой энергия

Основными факторами влияния на достигнутые уровни производства энергии являются:

- доступность потребителя энергии (особенно для подачи тепла/пара);
- проект установки (особенно для электрической мощности, где параметры пара, выбранные для выработки электроэнергии, оказывают существенное влияние на темпы выработки электроэнергии).

На принятую конструкцию системы получения энергии зачастую сильно влияет доход, получаемый от продажи поставленной энергии. Относительные и абсолютные цены на тепло, пар и электроэнергию влияют на окончательный дизайн и, следовательно, на выходную мощность и достигнутые уровни эффективности.

Потребляемая установкой энергия

Основными факторами влияния являются следующие:

- Состав отходов – для обеспечения полного сгорания некоторых отходов требуются вспомогательное топливо (в его роли могут выступать как отходы, так и другие материалы), в то время как другие являются автотермическими, то есть они вырабатывают достаточно тепла, чтобы поддерживать сгорание без вспомогательного топлива.
- Конструкция установки, например, меняющиеся потребности в энергии различных конструкций оборудования для очистки дымовых газов. В целом, чем ниже требуемые выбросы в атмосферный воздух, тем выше энергопотребление системы ОДГ.

Иное потребление

Потребление химических реагентов в основном связано с проектированием и эксплуатацией оборудования для очистки дымовых газов, которое в значительной степени зависит от типа отходов и желаемых уровней выбросов в атмосферный воздух. Более низкие выбросы в атмосферный воздух обычно требуют более высоких скоростей дозирования реагентов.

3.1.1 Разделение веществ в выходных потоках мусоросжигательных заводов

Благодаря своим химическим свойствам различные элементы, содержащиеся в отходах, по-разному распределяются в выходных потоках процесса сжигания. В таблице 3.1 приведен пример такого распределения на основе австрийских исследований на установке сжигания отходов в Шпиттелау, Вена. [1, UBA 2001]

Это распределение варьируется на различных заводах в зависимости от используемого метода очистки дымовых газов, типа отходов и других факторов, но эти цифры служат ориентиром для процентного распределения различных веществ в выходных потоках ТКО. Соответствующая установка использует ЭСФ в качестве предварительного пылеотделителя перед влажной ОДГ с очисткой сточных вод.

Таблица 3.1: Распределение различных веществ в выходных потоках на примере установки СТКО (в масс. %)

Вещество	Выброс очищенных дымовых газов	Пыль ЭСФ	Сточные воды	Шлам от очистки сточных вод	Зольный осадок ⁽¹⁾⁽²⁾
Углерод (%)	98 (+/-2)	< 1	< 1	< 1	1.5 (+/-0.2)
Хлор (%)	< 1	35	54	< 1	11
Фтор (%)	< 1	15 (+/-1)	<1	< 1	84 (+/-1)
Сера (%)	< 1	38 (+/-6)	8 (+/-1)	6 (+/-1)	47 (+/-7)
Фосфор (%)	< 1	17 (+/-1)	< 1	< 1	83 (+/-1)
Железо ⁽³⁾ (%)	< 1	1 (+/-0.5)	< 1	< 1	18 (+/-2)
Медь (%)	< 1	6 (+/-1)	< 1	< 1	94 (+/-1)
Свинец (%)	< 1	28 (+/-5)	< 1	< 1	72 (+/-5)
Цинк (%)	< 1	54 (+/-3)	< 1	< 1	46 (+/-3)

Вещество	Выброс очищенных дымовых газов	Пыль ЭСФ	Сточные воды	Шлам от очистки сточных вод	Зольный осадок ⁽¹⁾⁽²⁾
Кадмий (%)	< 1	90 (+/-2)	< 1	< 1	9 (+/-1)
Ртуть (%)	< 1	30 (+/-3)	< 1	65 (+/-5)	5 (+/-1)

(¹) Биодоступность материалов, которые остаются в донной золе, зависит от выщелачивания *in situ* во время последующего использования/обращения.

(²) Риск, связанный с повторным использованием зольного остатка, определяется не только наличием или отсутствием указанных веществ, также важны химическая и физическая формы веществ, характер окружающей среды, в которой будет использоваться материал. [64, TWG 2003]

(³) Остальные 80% сортируются как отходы производства.

Источник: [1, UBA 2001], [64, TWG 2003]

Дополнительные различия обусловлены различным составом отходов, особенно в случае установок для сжигания опасных отходов.

В таблице 3.2 приведено процентное распределение шести металлов, ртути, кадмия, мышьяка, свинца, меди и цинка, усредненное за тестовый период в выходных потоках установок СОО. В таблице также приводится массовая доля следующих твердых остатков: шлака, летучей золы и шлама в зависимости от количества отходов, сжигаемых в ходе испытания.

Таблица 3.2: Процентное (%) распределение металлов в выходных потоках при сжигании опасных отходов (СОО)

Тяжелые металлы	Твердые остатки для обращения				Поступление в окружающую среду			
	Шлак	Летучая зола	Шлам ОСВ	Итого	Актив. уголь	В атмосферный воздух	Сточные воды	Итого
% Масс. доля	30	3	4					
Hg	< 0.01	< 0.01	99.88	99.88	0.05	< 0.01	0.07	0.07
Cd	1.3	94.2	4.49	99.99	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01
As	14.6	80.0	5.39	99.99	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01
Pb	41.2	56.0	2.75	99.95	< 0.01	0.03	0.02	0.05
Cu	75.9	22.4	1.69	99.99	< 0.01	< 0.01	0.01	0.01
Zn	41.9	56.9	1.17	99.97	< 0.01	0.01	0.02	0.03

Источник: [41, EURITS 2002]

Наиболее важные параметры, которые влияют на поведение металлов:

- температура в печи;
- избыток O₂ в печи;
- содержание хлора и серы в отходах; а также
- массообмен мелких частиц в дымовых газах.

Усредненные условия во время испытаний на установках СОО, на основании которых получены данные в таблице 3.2, приведены ниже в таблице 3.3.

Таблица 3.3: Усредненные условия работы при тестировании секционирования на установке СОО

Параметр	Опытные данные
Температура в печи	1 120 ± 40 °C
Температура КД	1 100 ± 20 °C
Содержание кислорода (в печи)	11.9 ± 1.3 %
Содержание Cl (в отходах)	5.1 ± 1.0 %

Содержание S (в отходах)	1.0 ± 0.2 %
Источник: [41, EURITS 2002]	

Из таблицы 3.2 можно сделать следующие наблюдения относительно исследованных металлов:

- около 99,6% загрязняющих веществ сосредоточено в твердых остатках;
- около 70–80% загрязняющих веществ сконцентрировано и иммобилизовано в летучей золе и фракции осадка ОСВ; вес обоих остатков составляет примерно 5,5% от исходного объема отходов;
- удаление ртути из дымовых газов является (в данном случае) главным образом результатом низкого уровня рН первой стадии очистки дымовых газов.

3.1.2 Примеры диоксинового баланса для СТКО

ПХДД/Ф содержатся как «на входе» (коммунальные отходы), так и «на выходе» (выходящий воздух, сточные воды и остатки) мусоросжигательных установок. Большая часть ввода ПХДД/Ф разрушается в процессе сжигания, но ПХДД/Ф также могут быть преобразованы. [1, UBA 2001]

Приведенный ниже баланс относится к типичной установке в Германии, работающей без сбросов технологической воды и соответствующей предельным значениям выбросов, установленным в Германии.

Таблица 3.4: Баланс ПХДД/Ф для муниципального мусоросжигательного завода в Германии

Поток на выходе	Кол-во на кг поступивших отходов	Удельная загрузка	Удельная нагрузка на кг поступивших отходов
Дымовые газы	6.0 м ³	0.08 нг/м ³	0.48 нг/кг
Зольный остаток	0.25 кг	7.0 нг/кг	1.75 нг/кг
Пыль с фильтров и другие остатки от очистки дымовых газов	0.07 кг	220 нг/кг	15.40 нг/кг
Общий выход в среду: 17,63 нг ТЭ/кг отходов			
Примечание: Предположительно на входе с отходами: 50 нг ТЭ/кг отходов. Источник: [1, UBA 2001], [64, TWG 2003]			

Из приведенной выше таблицы 3.4 видно, что для данного примера расчетный объем выбросов в атмосферный воздух составляет приблизительно 1% от входного (0,48 нг ТЭ/кг из 50 нг ТЭ/кг). Расчетный объем выпускаемой продукции для всех сред составляет 17,63 нг ТЭ/кг поступающих отходов. Это соответствует 35,3% от расчетного ввода (то есть чистое уничтожение 64,7% ПХДД/Ф, первоначально содержащегося в отходах). Поэтому можно сделать вывод, что в этом случае установка действует как сетевой приемник для ПХДД/Ф. [64, TWG 2003]

Следующие данные взяты из примера установки СТКО (во Франции), включающей сбросы в воду

Таблица 3.5: Пример данных загрузки ПХДД/Ф для установки СТКО во Франции

Поток на выходе	Удельная загрузка
Дымовые газы	0.1 нг МТЭ/Нм ³
Зольный остаток	7 нг МТЭ/кг
Остатки ОДГ	5 200 нг МТЭ/кг
Сточные воды	< 0.3 нгМТЭ/л
Примечание: пример для установки СТКО, оснащенной ЭСФ + мокрый скруббер (2-ступенчатый) + СКВ. Источник: [64, TWG 2003]	

3.1.3 Состав дымового газа на мусоросжигательных заводах до очистки

Состав неочищенного дымового газа на мусоросжигательных заводах зависит от структуры отходов и технических параметров печи.

В таблице 3.6 приведен обзор типичного состава неочищенных дымовых газов непосредственно после котла и перед очисткой дымовых газов.

Таблица 3.6: Концентрации дымовых газов после котла (дымовой газ до очистки) на различных установках сжигания отходов (эталонное значение O₂ 11%)

Компоненты	Единицы	Мусоросжигательные установки для		
		Коммунальн ых отходов	Опасных отходов	Осадка сточных вод (в псевдоожиген ном слое)
Пыль	мг/Нм ³	1 000–5 000	1 000–10 000	30 000–200 000
Угарный газ (CO)	мг/Нм ³	5–50	< 30	5–50
ТОС (общий органический углерод)	мг/Нм ³	1–10	1–10	1–10
ПХДД/Ф	нг ТЭ/Нм ³	0.5–10	0.5–10	0.1–10
Ртуть	мг/Нм ³	0.05–0.5	0.05–3	0.2
Кадмий + таллий	мг/Нм ³	< 3	< 5	2.5
Другие тяжелые металлы (Pb, Sb, As, Cr, Co, Cu, Mn, Ni, V, Sn)	мг/Нм ³	< 50	< 100	800
Неорганические соединения хлора (как HCl)	мг/Нм ³	500–2 000	3 000–100 000	NI
Неорганические соединения фтора (как HF)	мг/Нм ³	5–20	50–1 000	NI
Соединения серы, всего SO ₂ /SO ₃ , считается как SO ₂	мг/Нм ³	200–1 000	1 500–50 000	NI
Оксиды азота в пересчете на NO ₂	мг/Нм ³	150–500	100–1500	< 200
Оксид азота	мг/Нм ³	< 40	< 20	10–150
CO ₂	%	5–10	5–9	NI
Водяной пар (H ₂ O)	%	10–20	6–20	NI
Примечание: Заводы по сжиганию ОСВ – это установки для сжигания осадка промышленных сточных вод. Эта информация относится к немецким заводам. Значения, наблюдаемые на старых установках, могут быть значительно выше, особенно в случае выбросов, на которые влияют технические параметры печи, например, CO, ТОС. Значения опасных отходов относятся к коммерческим установкам сжигания смешанных ОО, а не к заводам, специализирующимся на отдельных потоках. NI = Информация не предоставлена. Источник: [1, UBA 2001], [64, TWG 2003], комментарии Австрии и ООЕ в [7, TWG 2017]				

Коммунальные отходы

В случае коммунальных отходов, структура зависит, среди прочего, от систем, используемых для сбора различных фракций отходов, а также от использования или отсутствия предварительной обработки. Например, отдельный сбор различных фракций коммунальных отходов может влиять на тепловую ценность коммунальных отходов следующим образом:

- стекло и металл – снижение зольности, что приводит к увеличению теплотворной способности;
- бумага – снижение теплотворной способности;
- легкая упаковка – снижение теплотворной способности;
- медицинские/больничные отходы – повышение теплотворной способности;
- органические отходы – повышение теплотворной способности.

Также оказывают влияние такие параметры как содержание хлора и тяжелых металлов, но остаются в пределах типичного диапазона изменений. Тем не менее, отдельный сбор определенных

предметов, таких как некоторые виды аккумуляторов или зубная амальгама, может значительно сократить поступление ртути в мусоросжигательную установку. [64, TWG 2003]

Коммерческие неопасные отходы

В случае неопасных отходов от коммерческих предприятий, диапазон вариаций может быть значительно больше, чем ТКО. При сжигании с другими ТКО смешивание в бункере и измельчение могут использоваться для ограничения этих изменений.

Опасные отходы

Состав опасных отходов может варьироваться в значительно большем диапазоне. В случае опасных отходов значительными могут быть фтор, бром, йод и кремний. Однако, в отличие от муниципальных отходов, состав опасных отходов обычно проверяется на мусоросжигательных заводах посредством контрольного анализа всех основных параметров. В связи с возможными изменениями, проектируется установка для сжигания опасных отходов с учетом средней структуры отходов (меню), в некоторых случаях со значительными дополнительными запасами для очистки дымовых газов.

Такое меню сжигания может быть затем создано путем преднамеренного смешивания поступающих отходов в наливных резервуарах или бункере, или путем индивидуальной подачи отходов в печь в отдельных трубах в почасовых количествах, соответствующих конструкции установки. Это также следует принимать во внимание, если отходы подают в бочки, которые сами могут оказывать внезапные ударные нагрузки. Установки для сжигания, специально предназначенные для извлечения HCl и SO₂ из потоков отходов, содержащих, соответственно, хлор или серу, могут иметь очень разные составы дымовых газов до очистки.

Осадок сточных вод

Отличия в составе газов до очистки на установках для сжигания осадка сточных вод соответствуют отличиям в составе сжигаемых отходов. На это, в свою очередь, влияет наличие или отсутствие предварительной обработки, а также состав осадка сточных вод. Состав осадка сточных вод значительно зависит от характера дренажного водосбора, где формируется осадок, и типом применяемых там очистных сооружений. [64, TWG 2003]

В тех случаях, когда осадок сточных вод сжигается вместе с другими отходами, различия в качестве осадка сточных вод могут оказывать менее выраженное влияние на качество газа до очистки из-за буферного эффекта других отходов. Содержание воды в осадке сточных вод действительно может обеспечить преимущества на некоторых установках СТКО, поскольку при распылении через специальные форсунки в выбранных местах над слоем отходов (часто в зоне выгорания газа) оно обеспечивает дополнительные средства контроля температуры и может помочь с первичным контролем NO_x.

Медицинские отходы

Отличия в составе газов до очистки на установках для сжигания медицинских отходов соответствуют отличиям в составе сжигаемых отходов. В связи с опасениями, связанными с инфицированностью отходов, физические методы предварительной обработки, которые могут ограничивать диапазон изменения состава газа, используются не часто.

Классификация поступающих потоков отходов в соответствии с их источником и вероятными характеристиками сгорания (главным образом, относящимися к теплоте сгорания, содержанию влаги и калориметрической пропускной способности) и подача их в процесс сжигания, чтобы соответствовать соответствующему входному *рецепту*, может использоваться для уменьшения диапазона изменений состава газа до очистки, связанных со сгоранием. [64, TWG 2003]

3.2 Выбросы в атмосферный воздух

3.2.1 Вещества, выбрасываемые в атмосферный воздух

[1, UBA 2001] [64, TWG 2003]

Монооксид углерода

СО – токсичный газ без запаха. Оксид углерода (СО) в дымовых газах мусоросжигательных заводов является продуктом неполного сгорания соединений на основе углерода. СО образуется, когда локально недостаточно кислорода и/или недостаточно высока температура сгорания для полного окисления до диоксида углерода. В частности, это может произойти, если присутствуют вещества, испаряющиеся самопроизвольно или быстро сгорающие, или при недостаточно эффективном смешивании горючего газа с подаваемым кислородом. Непрерывное измерение уровня СО может использоваться для проверки эффективности процесса сжигания. СО является показателем качества сгорания. Если выбросы СО очень низки, то качество выгорания газа очень высокое и, соответственно, выбросы TVOC¹ также низки (и наоборот).

[74, TWG 2004]

После выброса в атмосферный воздух СО через некоторое время окисляется до СО₂. Следует избегать особенно высоких концентраций СО (выше нижнего предела взрываемости), поскольку они могут создавать взрывоопасные смеси в дымовых газах. В частности, на заводах по сжиганию опасных отходов могут наблюдаться повышенные выбросы СО в случае поступления отходов в металлических бочках.

Содержание СО измеряется непрерывно (Нм³).

Сообщается, что обработка NO_x с помощью СКВ может увеличить уровни выбросов СО. [74, TWG 2004]

Общий летучий органический углерод (TVOC)

Этот параметр включает ряд газообразных органических веществ, индивидуальное обнаружение которых обычно является сложным или невозможным. Во время сжигания органических отходов происходит большое количество химических реакций, некоторые из которых являются неполными. Это приводит к чрезвычайно сложной схеме соединений в незначительных количествах. Полный учёт каждого вещества в показателе TVOC невозможен; однако сжигание обычно обеспечивает высокую органических веществ.

TVOC измеряется непрерывно. Низкие уровни TVOC являются ключевыми показателями качества сгорания в процессе сжигания.

Хлористый водород

Многие отходы содержат хлорированные органические соединения или хлориды. В коммунальных отходах, как правило, примерно 50% хлоридов происходит из ПВХ [64, TWG 2003]. В процессе сжигания органический компонент этих соединений разрушается, а хлор превращается в HCl. Часть HCl может дополнительно реагировать с неорганическими соединениями, которые также содержатся в отходах, с образованием хлоридов металлов.

HCl хорошо растворяется в воде и оказывает влияние на рост растений. Измеряется непрерывно.

Образование и выброс Cl₂ незначительны при нормальных условиях сжигания. Тем не менее, это существенно для загрязнения и коррозии. Поэтому стоит контролировать его образование, чтобы упомянутый процесс происходил в газовой фазе, а не после осаждения на котельных трубах. [74, TWG 2004]

Фтористый водород

Механизм образования HF на мусоросжигательных заводах аналогичен механизму образования HCl. Основными источниками выбросов HF на заводах по сжиганию коммунальных отходов, вероятно, являются фторсодержащий пластик или фторсодержащий текстиль и, в отдельных случаях, разложение CaF₂ в процессе сжигания шлама.

¹ TVOC (total volatile organic compounds) – всего летучих органических соединений

HF хорошо растворим в воде и может оказывать влияние на рост растений. Он измеряется непрерывно или периодически.

На заводах по сжиганию отходов обрабатываются различные виды фторированных отходов.

Йодистый водород и йод, бромистый водород и бром

Коммунальные отходы обычно содержат очень небольшие количества соединений брома или йода. Поэтому выбросы брома или йода не имеют большого значения для заводов по сжиганию коммунальных отходов.

На заводах по сжиганию опасных отходов иногда обрабатываются органические и неорганические отходы, содержащие бром или йод. Например, соединения брома используются в качестве антипиренов в пластмассовых и текстильных изделиях и могут быть найдены в некоторых электрических и электронных отходах; они также используются в химической промышленности в качестве реагентов для алкилирования. Йод также может содержаться в лекарствах. В целом, однако, количество этих соединений мало по сравнению с хлорированными соединениями. Бром и йод способствуют окислению ртути и уменьшают содержание ртути в чистом газе за счет улучшения удерживающей способности мокрых скрубберов. [74, TWG 2004]

В случае их присутствия, элементарный йод и бром за счет своих химических свойств могут привести к окрашиванию шлейфов дымовых труб. Особые меры могут быть приняты для сжигания таких отходов с целью предотвращения образования и выделения элементарного брома или йода. Эти вещества также могут оказывать токсическое и раздражающее действие. [64, TWG 2003]

Оксиды серы

Если отходы содержат соединения серы, то в основном при сжигании отходов образуется SO_2 . При соответствующих условиях реакции также может образоваться SO_3 . Для ТКО доля SO_3 может составлять около 5% на входе в ОДГ (содержание SO_3 важно для определения кислотной точки росы). Обычными источниками серы в некоторых потоках отходов являются: макулатура, гипсокартон (сульфат кальция) и осадки сточных вод. [64, TWG 2003]

SO_2 вызывает подкисление и является предшественником вторичных аэрозолей. Измеряется непрерывно.

Оксиды азота

Различные оксиды азота выделяются на заводах по сжиганию отходов, и во многих случаях они измеряются с помощью непрерывного мониторинга выбросов. Оксиды азота могут оказывать токсическое воздействие и вызывать глобальное потепление, вызывать подкисление и эвтрофикацию, а также образовывать вторичные аэрозоли в зависимости от рассматриваемого оксида.

NO и NO_2 , возникающие на заводах по сжиганию, образуются в результате преобразования азота, содержащегося в отходах (так называемый топливный NO_x), и в результате превращения атмосферного азота из воздуха для горения в оксиды азота (термический NO_x). Производство теплового NO_x обычно становится более значительным при температурах выше 1000°C , поэтому в СТКО доля теплового NO_x обычно очень низкая из-за более низких температур в камере дожигания. В СТКО количество теплового NO_x также может критически зависеть от количества и способа впрыска вторичного воздуха в камеру дожигания – с более высоким NO_x , наблюдаемым при более высоких температурах сопла (то есть выше 1400°C).

Механизмы образования NO_x из азота, содержащегося в отходах, очень сложны. Среди прочих причин это связано с тем, что азот может содержаться в отходах во многих различных формах, которые в зависимости от химической среды могут реагировать либо на NO_x , либо на элементарный азот. В зависимости от типа отходов степень конверсии обычно равна приблизительно 10–20% от азотного топлива. Существенное влияние также могут оказать высокие концентрации хлора и серы, содержание O_2 и температура. Доля NO/NO_2 в общих выбросах NO_x обычно составляет около 95% NO и 5% NO_2 .

Закись азота (N_2O) обычно не измеряется при оценке NO_x . Выбросы N_2O могут происходить, если температура является недостаточной для полного сгорания (например, менее 850°C) и имеется недостаточно кислорода. Поэтому выбросы N_2O в процессе сжигания часто коррелируют с выбросами CO .

Если для de-NO_x применяется СНКВ, образование N_2O может увеличиваться в зависимости от мощности дозы реагента и температуры. Значения 20–60 мг/Нм^3 были получены при более высоких мощностях дозы СНКВ, применяемых для достижения более низких уровней выбросов NO_x , в частности, когда в качестве реагента используется мочевина, а не аммиак.

При сжигании коммунальных отходов наблюдаются выбросы N_2O концентрацией 1–12 мг/Нм^3 (для индивидуальных измерений) и в среднем в 1–2 мг/Нм^3 . Для сжигания ТКО на установках с псевдоожиженным слоем измеренные значения выбросов N_2O (отдельные измерения) обычно выше.

Отдельные измерения на установках по сжиганию опасных отходов продемонстрировали, что в среднем выбросы N_2O равны 30–32 мг/Нм^3 . [64, TWG 2003]

Нормальные уровни выбросов N_2O при сжигании шлама в псевдоожиженном слое могут составлять всего 10 мг/Нм^3 . При сжигании осадка сточных вод могут наблюдаться более высокие уровни выбросов N_2O в зависимости от концентрации азота в осадке. Уровень N_2O может быть уменьшен при повышении температуры сжигания, но максимально возможная температура дымовых газов зависит от температуры плавления летучей золы.

Хотя эти выбросы усиливают воздействие глобального потепления, сжигание является незначительным источником антропогенных выбросов закиси азота.

NO_x измеряется непрерывно.

Пыль

Выбросы пыли от заводов по сжиганию отходов в основном состоят из мелкого пепла от процесса сжигания, который уносится потоком газа. В зависимости от баланса реакции в этой воздушно-капельной пыли концентрируются другие элементы и соединения. Отделение пыли от дымовых газов с помощью устройств для очистки дымовых газов удаляет большую часть пыли и захваченных неорганических и органических веществ (например, хлоридов металлов, ПХДД/Ф).

Оборудование для очистки дымовых газов значительно снижает выбросы общей пыли от заводов по сжиганию. Как и во всех процессах сгорания, тип используемого оборудования для очистки дымовых газов влияет на гранулометрический состав выделяемой пыли. Фильтрующее оборудование, как правило, более эффективно работает с более крупными частицами и, следовательно, изменяет долю более мелких частиц в результирующих выбросах в атмосферный воздух, в то же время уменьшая общий объем выбросов твердых частиц.

Пыль измеряется непрерывно.

Ртуть и ртутные соединения

В настоящее время ртуть все еще можно найти в коммунальных отходах, в частности в виде батарей, термометров, зубной амальгамы, флуоресцентных трубок или ртутных выключателей. Их раздельный сбор может помочь снизить общую концентрацию в смешанных ТКО, но на практике показатели 100% раздельного сбора не достигаются.

Ртуть – высокотоксичный металл. Без надлежащей системы очистки дымовых газов сжигание ртутьсодержащих отходов может привести к значительным выбросам. Выбросы ртути измеряются непрерывно или периодически (в некоторых случаях используется также долгосрочный отбор проб [80, Denmark 2015]).

При сжигании опасных отходов существует несколько конкретных потоков поступающих отходов, в которых могут содержаться повышенные концентрации ртути:

- гудрон коксовых заводов;
- отходы хлорно-щелочного электролиза (процесс с ртутным электролизом);
- кислый нефтешлам с нефтеперерабатывающих заводов;
- химические вещества, содержащие ртуть.

Форма выбросов ртути во многом зависит от химической среды в дымовых газах. Обычно формируется баланс между металлической ртутью (Hg^0) и HgCl_2 . Если в дымовых газах присутствует достаточно высокая концентрация HCl (по отношению к восстановителю SO_2), ртуть

в основном будет содержаться в дымовых газах в виде HgCl_2 . Его можно отделить от дымовых газов значительно легче, чем металлическую ртуть. Однако, если HCl содержится в дымовом газе в более низких концентрациях (например, в установках для сжигания осадка сточных вод), ртуть присутствует в дымовом газе, главным образом, в металлической форме, и тогда ее концентрации труднее контролировать. Температура сгорания также влияет на образование HgCl_2 .

В мокрых скрубберах (исключительно) может удаляться меньшее количество HgCl_2 , если в смеси также присутствует SO_2 (разделение этих веществ является одной из причин, по которой для удаления HgCl_2 и SO_2 используются различные стадии мокрого скруббера). Hg_2Cl_2 , образующийся при этом, может, в свою очередь, подвергаться диспропорционированию в HgCl_2 и элементарную Hg . Эти реакции можно предотвратить, отрегулировав pH в мокрых скрубберах до низких значений и удалив ртуть из стоков скруббера.

Металлическая ртуть практически не растворяется в воде (59 мкг/л при 25 °C). Хлорид ртути (II) гораздо более растворим при концентрациях 73 г/л. Поэтому хлорид ртути (II) может быть отделен в мокрых скрубберах, в то время как для отделения металлической ртути требуются дополнительные стадии обработки дымовых газов (более подробную информацию см. в разделе 2.5.6). [64, TWG 2003]

Соединения кадмия и таллия

Обычными источниками кадмия на заводах по сжиганию коммунальных отходов являются электронные устройства (включая аккумуляторы), батареи, некоторые краски и стабилизированный кадмием пластик. Таллий практически отсутствует в коммунальных отходах.

Опасные отходы могут содержать высокие концентрации соединений кадмия и таллия. Сточные отходы и сточные воды от металлизации и обработки могут быть значительными источниками данных элементов.

Кадмий очень токсичен и может накапливаться в почве.

Выбросы кадмия и таллия измеряются периодически.

Другие соединения металлов

Данная категория включает металлы сурьмы, мышьяка, свинца, хрома, кобальта, меди, марганца, никеля, ванадия, олова и их соответствующие соединения. В соответствии с европейскими и многими национальными нормами и правилами данные металлы объединяются в группу для измерения выбросов. Эта группа содержит канцерогенные металлы и соединения металлов, такие как соединения мышьяка и хрома (VI), а также металлы с потенциалом токсичности.

Эффективность очистки выбросов от этих металлов во многом зависит от эффективного отделения пыли, поскольку они связаны в пыли из-за давления паров их соединений, содержащихся в дымовых газах (главным образом, оксидах и хлоридах).

Выбросы металлов измеряются периодически.

Полихлорированные бифенилы

Небольшие количества полихлорированных бифенилов (ПХБ) обнаруживаются в большинстве потоков коммунальных отходов, а также в некоторых промышленных отходах. Однако отходы с большой долей ПХБ, как правило, возникают только в результате конкретных программ сбора и уничтожения ПХБ, когда концентрации ПХБ в таких отходах могут быть очень высокими.

На заводах по сжиганию опасных отходов сжигаются отходы с содержанием ПХБ до 60–100%. То же относится и к специальным установкам для сжигания высокохлорированных углеводородов. ПХБ разрушаются более эффективно, если используются более высокие температуры сжигания (например, выше 1200 °C). ПХБ, содержащиеся в неочищенном дымовом газе заводов по сжиганию отходов, могут быть результатом неполного уничтожения.

Выбросы ПХБ классифицируются как потенциально токсичные некоторыми международными организациями (например, ВОЗ). Потенциал токсичности (сходный с потенциалом диоксинов и фуранов) приписывается некоторым ПХБ (копланарным ПХБ).

Полиароматические углеводороды

Полиароматические углеводороды хорошо известны как продукты неполного сгорания. Они токсичны и обладают канцерогенными и мутагенными свойствами. [74, TWG 2004]

Полихлорированные дибензо-диоксины и фураны (ПХДД/Ф)

Диоксины и фураны (ПХДД/Ф) представляют собой группу соединений, некоторые из которых чрезвычайно токсичны и считаются канцерогенами. Их образование и выбросы не являются специфическими для процесса сжигания отходов, а происходят при любых термических процессах при определенных условиях.

Значительные успехи в области контроля выбросов ПХДД/Ф были достигнуты в секторе сжигания отходов. Улучшения в конструкции и работе систем сжигания и очистки дымовых газов привели к установкам, которые могут эффективно достигать очень низких предельных значений выбросов.

[64, TWG 2003] На хорошо спроектированных и эксплуатируемых заводах по сжиганию отходов материальные балансы показали, что сжигание эффективно удаляет ПХДД/Ф из окружающей среды (см. раздел 3.1.2). Диоксиновый баланс достигается наиболее благоприятным путем обеспечения того, что:

- входные диоксины и их предшественники эффективно уничтожаются с использованием соответствующих условий горения;
- сокращено использование условий, которые могут привести к образованию и преобразованию ПХДД/Ф, включая синтез *de novo*.

ПХДД/Ф, поступающие в процесс в составе отходов, очень эффективно уничтожаются, если используются достаточно высокие температуры сжигания и соответствующие условия процесса. ПХДД/Ф, обнаруженные в неочищенном дымовом газе заводов по сжиганию отходов, являются результатом реакций рекомбинации углерода, кислорода и хлора. Подходящие вещества-предшественники (например, из хлорфенолов) также могут реагировать с образованием диоксинов и фуранов. Некоторые соединения переходных металлов (например, соединения меди) могут действовать как катализаторы для реакций преобразования ПХДД/Ф.

ПХДД/Ф могут образовываться во время пусковых операций, даже если отходы не сжигаются из-за плохого сгорания. При холодном запуске температура в печи поднимается медленно, а при низкой температуре в печи может образовываться сажа. Сажа прилипает к печи и котлу. Синтез ПХДД/Ф *de novo* происходит при условии доступа достаточного количества углерода и хлора в форме неорганического хлорида, особенно в диапазоне температур от 250 до 350 °C. Во время холодного запуска поверхности печи и котла куда дольше находятся в температурном диапазоне, способствующем образованию ПХДД/Ф за счет синтеза *de novo*, чем при работе установки по сжиганию в стабильных условиях, в связи с чем один холодный запуск может привести к выбросам ПХДД/Ф, эквивалентным нескольким месяцам нормальной работы [79, Gass et al. 2002]. Кроме того, в нескольких исследованиях было продемонстрировано, что из-за возможного накопления ПХДД/Ф в устройствах очистки дымовых газов, происходящего во время остановки, выбросы ПХДД/Ф после холодного запуска значительно выше, чем в стабильных условиях в течение длительных периодов времени (недель) [79, Gass et al. 2002] [83, Dehoust et al. 2005] [114, Wilken et al. 2003].

Выбросы ПХДД/Ф периодически контролируются с использованием краткосрочной, а также долгосрочной выборки.

Полибромированные дибензодиоксины и фураны (ПБДД/Ф)

Хотя бром в отходах встречается реже, чем хлор, при сжигании он вступает в аналогичные хрому реакции, образуя бромированные диоксины и фураны. Присутствие как брома, так и хлора приводит к образованию смешанных бромхлордиоксинов и фуранов. Соотношение брома и хлора в процессе горения во многом соответствует соотношению брома и хлора в образовавшихся молекулах диоксина и фурана. [47, TWG 2018] – Швеция

Одним из наиболее заметных проявлений ПБДД/Ф является их присутствие в качестве примесей в стандартных смесях бромированных антипиренов (БАП), таких как полибромированные дифениловые эфиры (ПБДЭ), и их последующее появление в бытовых продуктах и домашней пыли.

Во время недостаточно контролируемых процессов горения могут образовываться значительные количества ПБДД и ПБДФ, в том числе с наиболее токсичными диоксиноподобными свойствами. Происхождение этих ПБДФ может частично объясняться их присутствием в качестве загрязняющих

веществ в коммерческих огнеупорных смесях ПБДЭ в коммунальных отходах, но синтез *de novo* нельзя исключать. Другим источником брома в процессах сжигания является использование технологий для улучшенного окисления ртути (что позволяет эффективно удалять ртуть в системе ОДГ, расположенной ниже по потоку) посредством высокотемпературного впрыска бромидов. [116, van den Berg et al. 2013]

Аммиак

Аммиак оказывает значительное влияние на эвтрофикацию и подкисление окружающей среды. Выбросы аммиака могут возникнуть в результате излишнего внесения или плохого контроля за реагентами, снижающими выбросы NO_x , которые используются для контроля выбросов NO_x .

Углекислый газ

На каждую тонну сжигаемых коммунальных отходов образуется примерно 0,7–1,7 тонны CO_2 . Поскольку коммунальные отходы представляют собой гетерогенную смесь биомассы и ископаемых материалов, доля CO_2 из ТКО органического происхождения (например, пластика), которая считается ответственной на изменение климата, обычно находится в диапазоне от 33% до 50%.

Метан

Можно предположить, что, если сжигание осуществляется в окислительных условиях, уровень метана в дымовых газах будет практически нулевым. Метан измеряется как часть ЛОС. [64, TWG 2003]

Метан также может образовываться в бункере для отходов, если в нем наблюдаются низкие уровни кислорода и последующие анаэробные процессы. Это только тот случай, когда отходы хранятся в течение длительного времени и плохо перемешиваются. Там, где газы из зоны хранения поступают в систему подачи воздуха в камеру сжигания, они сжигаются, а выбросы уменьшаются до незначительных уровней.

3.2.2 Выбросы в атмосферный воздух от заводов по сжиганию отходов

В этом разделе представлены диапазоны выбросов, которые были предоставлены установками по сжиганию отходов, участвовавшими в сборе данных 2016 года для обзора Справочного документа по НДТ сжигания отходов.

Для подготовки данного материала был проведен исключительный сбор данных. Он охватывал выбросы, измеренные в 355 отдельных контролируемых точках выбросов в течение всего года, применительно к постоянно контролируемым выбросам в атмосферный воздух с получасовым временным разрешением.

Для каждой контролируемой точки выбросов в атмосферный воздух была собрана вся серия из 17 520 получасовых средних концентраций в 2014 году для каждого из загрязняющих веществ, подлежащих постоянному мониторингу, наряду с ключевыми эксплуатационными параметрами установки, такими как скорость потока, температура печи, данные о поступающих отходах и вспомогательном топливе.

Операторы данных установок также дополнили эти данные, определив, насколько это возможно, условия, в которых эксплуатировалась установка в течение каждого получасового периода, например, когда не сжигались отходы, при обходе системы очистки от загрязнений, при остановках, поломках или неисправностях, или когда установка находилась в состоянии запуска или полной остановки. Эти полные показатели уровней выбросов, представленные как получасовые средние значения, затем использовались в качестве основы для определения уровней выбросов, выраженных для разных периодов усреднения (главным образом в виде суточных средних значений). Это позволило провести подробный анализ влияния включения или исключения различных категорий условий эксплуатации при определении уровней выбросов, отражающих характеристики заводов, выраженные в разных периодах усреднения, прозрачным и прослеживаемым образом.

В целом, набор данных, обобщенный в этой главе, содержит около 100 миллионов индивидуальных средних значений, предоставленных операторами установок.

Сбор и анализ набора данных такого объема, конечно, создает значительные проблемы. Операторов попросили тщательно извлекать и идентифицировать условия эксплуатации станции в течение всего года на основе диспетчерских операционных журналов, в связи с чем, естественно, возможны некоторые погрешности и ошибки.

Еще один важный аспект связан с уровнями выбросов, о которых сообщали операторы, которые во многих случаях очень низки, а в некоторых случаях близки к пределам количественного определения или обнаружения стандартных эталонных методов, или в диапазонах, где неопределенность, связанная с калибровкой автоматизированной системы измерения, может быть высокой в относительном выражении. По данным вопросам информация представлена в Справочном отчете Объединенного центра исследований по мониторингу выбросов в атмосферный воздух и воду в установках для сжигания, попадающих под действие Директивы о промышленных выбросах [117, COM 2018], в частности к разделу 3.4.4 и ссылкам в нем, в том числе, в [118, INERIS 2016], [121, INERIS 2017] является обновленной версией последнего отчета.

На графиках, представленных в приложении 8.6, приложении 8.7 и приложении 8.8 (и кратко изложенных в этой главе), одна точка данных представляет одну точку контроля выбросов в атмосферный воздух (подотчетный объект) и может относиться либо к одной установке для сжигания, либо к группе индивидуальных линий сжигания. Все подотчетные объекты, а также некоторые их ключевые характеристики перечислены в приложении 8.4.

Данные о выбросах представлены в виде графиков с указанием применяемых технологий и, где это уместно, типом используемых реагентов, а также дополнительной информацией, такой как период эксплуатации и размер каждого подотчетного объекта. Для каждого загрязняющего вещества представлен отдельный график, и соответствующий выбор технологий адаптирован к адресуемому загрязнителю (например, использование СКВ и СНКВ показано на графике выбросов NO_x и NH_3 , а использование ЭСФ и рукавного фильтра показано на графике выбросов пыли).

Данные о выбросах представлены следующим образом:

- В приложение 8.6 отдельно для каждого из подотчетных объектов, участвовавших в сборе данных 2016 года и представивших данные постоянного мониторинга выбросов, показаны ежедневные уровни выбросов и соответствующие применяемые технологии.
- В приложении 8.7 отдельно для каждого из подотчетных объектов, участвовавших в сборе данных 2016 года и представивших данные постоянного мониторинга выбросов, показаны получасовые уровни выбросов и соответствующие применяемые технологии.
- Приложение 8.8 показывает, отдельно для каждого из подотчетных объектов, участвовавших в сборе данных 2016 года и представивших данные периодического мониторинга выбросов, показаны уровни выбросов и соответствующие технологии.
- Эта глава включает в себя упрощенные графики, основанные на более подробных графиках из приложений, приведенных выше, показывающих распределение зарегистрированных уровней выбросов, а также с указанием наиболее важных технических характеристик установок, которые могут оказать существенное влияние на уровни выбросов.

В оставшейся части этого раздела приведено более подробное объяснение для чтения каждого из представленных типов графиков.

Для постоянно отслеживаемых данных: ежедневные уровни выбросов

На графиках в приложении 8.6 выбросы показаны как среднегодовые значения и как годовые максимумы среднесуточных значений, рассчитанные на основе сообщенных 17 520 получасовых средних значений, измеренных в 2014 году и полученных с использованием «базовых» и «точных» параметров фильтрации данных. Фильтрация данных применяется для исключения из среднесуточных значений тех получасовых выбросов, которые были связаны с некоторыми конкретными эксплуатационными условиями установки. В частности:

- «Базовый» фильтр данных исключает выбросы, измеренные в следующих случаях:
 - температура печи ниже минимальной требуемой температуры сжигания и/или измеренная скорость потока очень низкая;
 - установка находится на техническом обслуживании, произошла поломка или остановка;
 - установка сжигает только вспомогательное топливо (предварительный нагрев перед введением первых отходов в печь или отключение после сжигания последних остатков в печи);

- автоматизированная система мониторинга проходит техническое обслуживание или работает со сбоями.
- Кроме того, «точный» фильтр данных дополнительно исключает выбросы, измеренные в следующих случаях:
 - установка была запущена, когда отходы уже сжигались, или остановлена, когда отходы еще сжигаются;
 - потоки газов идут в обход системы очистки от загрязнений;
 - произошел сбой, неисправность или утечка в системе очистки выбросов или в самом процессе;
 - превышен один из получасовых ПЗВ, установленных в пределах завода;
 - другие исключительные условия, сообщаемые оператором установки.

Кроме того, если при использовании «точного» фильтра данных более 5 получасовых периодов отфильтровываются любым из указанных выше условий, то среднесуточное значение игнорируется.

Следует отметить, что фильтрация данных опирается на подробную информацию, сообщаемую операторами станций в соответствии с согласованным вопросником, который включает общее определение условий эксплуатации, которые могут отличаться от уровня детализации и формы информации, записанной в файлах диспетчерских журналов завода. Абсолютно понятны возникающие проблемы с точностью и высокой степенью детализации информации, сообщаемой операторами, и, если определенная информация отсутствовала или сообщалась неточно, то это могло привести к неполной сопоставимости данных по предприятиям.

Графики также отражают суточную ПЗВ в разрешении каждого завода и, где это уместно, количество используемого реагента на тонну сжигаемых отходов; в случае щелочных реагентов количество нормализуют до эквивалента по весу негашеной извести методом стехиометрии.

Все данные о выбросах корректируются для стандартных условий давления и температуры и нормализуются для эталонного уровня кислорода 11%, но в остальном представляются как измеренные, без добавления или вычитания неопределенности измерения или с учетом конкретных правил, применяемых для соответствия.

Для постоянно отслеживаемых данных: получасовые уровни выбросов

На графиках в приложении 8.7 выбросы показаны годовые средние и годовые максимумы среднесуточных значений, рассчитанных на основе 17 520 средних получасовых значений, измеренных в 2014 году и представленных с использованием «базовых» и «точных» параметров фильтрации данных, а также 97-ый процентиль средних получасовых значений, отобранных с применением только «базового» параметра фильтрации. Фильтрация данных применяется для исключения из среднесуточных значений тех получасовых выбросов, которые были связаны с некоторыми конкретными эксплуатационными условиями установки. В частности:

- «Базовый» фильтр данных исключает выбросы, измеренные в следующих случаях:
 - температура печи ниже минимальной требуемой температуры сжигания и/или измеренная скорость потока очень низкая;
 - установка находится на техническом обслуживании, произошла поломка или остановка;
 - установка сжигает только вспомогательное топливо (предварительный нагрев перед введением первых отходов в печь или отключение после сжигания последних остатков в печи);
 - автоматизированная система мониторинга проходит техническое обслуживание или работает со сбоями.
- Кроме того, «точный» фильтр данных дополнительно исключает выбросы, измеренные в следующих случаях:
 - установка была запущена, когда отходы уже сжигались, или остановлена, когда отходы еще сжигаются;
 - потоки газов идут в обход системы очистки от загрязнений;
 - произошел сбой, неисправность или утечка в системе очистки выбросов или в самом процессе;
 - превышен один из получасовых ПЗВ, установленных в пределах завода;
 - другие исключительные условия, сообщаемые оператором установки.
- Кроме того, при применении «точного» фильтра данных получасовые периоды, соответствующие 60-ти самым высоким получасовым уровням выбросов за год,

указанным для каждого загрязнителя, не учитываются. Таким образом, комбинация «точных» и «базовых» фильтров данных дает основную информацию о распределении измеренных получасовых уровней выбросов вокруг максимальных значений.

Следует отметить, что фильтрация данных опирается на подробную информацию, сообщаемую операторами станции в соответствии с согласованным вопросником, который включает общее определение условий эксплуатации, которые могут отличаться от уровня детализации и формы информации, записанной в файлах диспетчерских журналов завода. Абсолютно понятны возникающие проблемы с точностью и высокой степенью детализации информации, сообщаемой операторами, и, если определенная информация отсутствовала или сообщалась неточно, то это могло привести к не полной сопоставимости данных по предприятиям.

Графики также отражают суточную ПЗВ в разрешении каждого завода и, где это уместно, количество используемого реагента на тонну сжигаемых отходов; в случае щелочных реагентов количество нормализуют до эквивалента по весу негашеной извести методом стехиометрии.

Все данные о выбросах корректируются для стандартных условий давления и температуры и нормализуются для эталонного уровня кислорода 11%, но в остальном представляются как измеренные, без добавления или вычитания неопределенности измерения или с учетом конкретных правил, применяемых для соответствия.

Для периодически отслеживаемых данных

На графиках в приложении 8.8 показаны следующие точки данных для уровней выбросов:

- максимальный уровень выбросов среди всех представленных данных;
- максимальный уровень выбросов среди измерений, проведенных с длительным периодом отбора проб;
- максимальный уровень выбросов среди данных за 2014 год, которые не превышают ПЗВ, установленных в разрешительной документации на выбросы;
- среднее значение всех зарегистрированных уровней выбросов.

Графики также отражают суточную ПЗВ в отношении каждого завода и, где это уместно, количество используемого реагента на тонну сжигаемых отходов; в случае щелочных реагентов количество нормализуется до известкового веса по стехиометрии.

Все данные о выбросах корректируются для стандартных условий давления и температуры и нормализуются для эталонного уровня кислорода 11%, но в остальном представляются как измеренные, без добавления или вычитания неопределенности измерения или с учетом конкретных правил, применяемых для соответствия.

Упрощенные графики включены в главу 3

Из-за большого количества подотчетных объектов (линий и/или установок сжигания) и большого пространства, необходимого для их визуализации, графики, демонстрирующие уровни выбросов по предприятиям, представлены в приложениях 8.6, 8.7 и 8.8. Графики, показанные в главе 3, предназначены для представления той же информации в сжатой форме и показывают распределение уровней выбросов, достигнутых группами заводов. Для каждого из графиков, показанных в главе 3, имеется соответствующий подробный график в приложениях 8.6 или 8.8; это соответствие четко указано в главе 3.

Упрощенные графики главы 3 построены следующим образом:

На горизонтальной оси показан ряд диапазонов концентраций, например, на рисунке 3.1, от 0 мг/Нм³ до 2 мг/Нм³, от 2 мг/Нм³ до 4 мг/Нм³ и т.д. до последнего диапазона, который включает концентрации, превышающие 20 мг/Нм³.

Вертикальная ось указывает процентное содержание подотчетных объектов в пределах объема каждого графика (например, на рисунке 3.1, всех подотчетных объектов, сжигающих преимущественно твердые коммунальные отходы), которые достигают уровня выбросов в пределах диапазона, указанного на горизонтальной оси.

Этот процент изменяется в зависимости от периода усреднения и использованного фильтра данных. Например, на рисунке 3.1 в соответствии с каждым диапазоном концентраций показаны три

столбца, представляющих непрерывно отслеживаемые уровни выбросов HCl, наблюдаемые в пределах среднегодового значения, «точного» среднесуточного значения (годового максимума среднесуточных значений, полученных на основе «точной» фильтрации данных) и «базового» среднесуточного значения (годовой максимум среднесуточных значений, полученных на основе «базовой» фильтрации данных). Например, на рисунке 3.1 уровень выбросов HCl от 0 мг/Нм³ до 2 мг/Нм³ достигается как среднегодовое значение для 34% подотчетных объектов и как максимальное из среднесуточных значений для 18% подотчетных объектов, полученное на основе «тонкого» фильтра данных, и для 14% подотчетных объектов, полученное на основе «базового» фильтра данных. Аналогичным образом, уровень выбросов HCl между 6 мг/Нм³ и 8 мг/Нм³ достигается как среднегодовое значение для 17% подотчетных объектов и как максимальное из среднесуточных значений для 12% подотчетных объектов, если оно получено на основе «точного» фильтра данных и для 8% подотчетных объектов, если получено на основе «базового» фильтра данных.

В случае периодически отслеживаемых выбросов на стековых диаграммах показаны два столбца в соответствии с каждым диапазоном концентраций выбросов, представляющих процент подотчетных объектов в этом диапазоне концентраций на основе либо максимума зарегистрированных измерений выбросов, либо среднего значения зарегистрированных измерений выбросов.

Под описанной выше стековой диаграммой серия круговых диаграмм показывает первичные технологии или другие характеристики установки, которые могут быть связаны с подотчетными объектами, которые достигают определенных уровней выбросов. В примере на рисунке 3.1 круговые диаграммы показывают долю подотчетных объектов среди тех, которые достигли уровней выбросов в пределах диапазона концентраций, показанных на горизонтальной оси стековой диаграммы, которые сообщили об использовании мокрого скруббера. Например, 93% подотчетных объектов, достигающих уровней выбросов HCl от 0 мг/Нм³ до 2 мг/Нм³, оснащены мокрым скруббером (7% из них только сухими или полумокрыми технологиями). Эта доля снижается до 35% для подотчетных объектов, достигающих уровней выбросов HCl от 6 мг/Нм³ до 8 мг/Нм³ (65% из этих подотчетных объектов оснащены только сухими или полумокрыми технологиями очистки). Эти доли обычно основаны на «базовом» фильтре данных для постоянно отслеживаемых выбросов и на максимальных отчетных значениях для периодически отслеживаемых выбросов.

Для некоторых загрязняющих веществ круговые диаграммы показывают более двух технологий. Три класса технологий показаны, например, для NO_x (подотчетные объекты, оснащенные: СКВ с или без СНКВ; СНКВ, но без СКВ; только первичные меры) или для NH₃ (подотчетные объекты, оснащенные: СКВ; СНКВ и нижним мокрым скруббером; СНКВ без мокрого скруббера). В других случаях, когда никакие специфические вторичные меры не применяются, круговые диаграммы вместо этого указывают размер подотчетных объектов; это касается, например, выбросов CO.

В следующих подразделах представлена эта же информация для предприятий, сжигающих различные виды отходов, отдельно для: твердых коммунальных отходов (ТКО); других неопасных отходов (ДНОО); опасных отходов (ОО); осадка сточных вод (ОСВ); и медицинских отходов (МО). Поскольку в действительности различные виды отходов могут обрабатываться на одном и том же заводе, распределение заводов по тому или иному типу отходов основано на преобладающем типе отходов в пересчете на массу, сжигаемом каждым заводом в отчетном 2014 году.

3.2.2.1 Выбросы в атмосферный воздух при сжигании твердых коммунальных отходов и других неопасных отходов

Хлористый водород и фтористый водород

Для HCl и HF используются три основных типа систем очистки дымовых газов:

1. Мокрые системы с использованием различных типов скрубберов, в которых HCl выводится с водой, обычно работающими при pH <1.
2. Полумокрые системы (или полусухие системы) с использованием известкового молока.
3. Сухие системы, в которых используется гидратная известь или бикарбонат натрия (обычно в сочетании с активированным углем), часто в сочетании с рукавным фильтром.

[74, TWG 2004]

Выбросы будут зависеть, помимо прочего, от количества используемых реагентов и рабочих/проектных заданных характеристик установки по сжиганию.

Данные о выбросах HCl, основанные на постоянных измерениях, представлены в этой главе на следующих рисунках в упрощенной форме и подробно в приложении 8.6; ежечасные уровни выбросов приведены в приложении 8.7:

- Рисунок 3.1 для 202 подотчетных объектов, сжигающих преимущественно ТКО. Из-за большого количества представленных точек данных соответствующие подробные графики разделены на три рисунка для удобства чтения. Это рисунки 8.1, 8.2 и 8.3 для суточных и годовых уровней выбросов, а также рисунки 8.51, 8.52 и 8.53 для получасовых уровней выбросов.
- Рисунок 3.2 для 54 подотчетных объектов, сжигающих преимущественно ДНОО. Соответствующие подробные графики представлены на рисунке 8.4 для суточных и годовых уровней выбросов, а также на рисунке 8.54 для получасовых уровней выбросов.

Для каждого диапазона концентраций выбросов, представленного на горизонтальной оси, на круговых диаграммах внизу показаны доли подотчетных объектов, оснащенных мокрым скруббером и другими технологиями (такими как ВСС или полумокрые абсорберы), среди тех, которые достигают уровней выбросов в данном диапазоне.

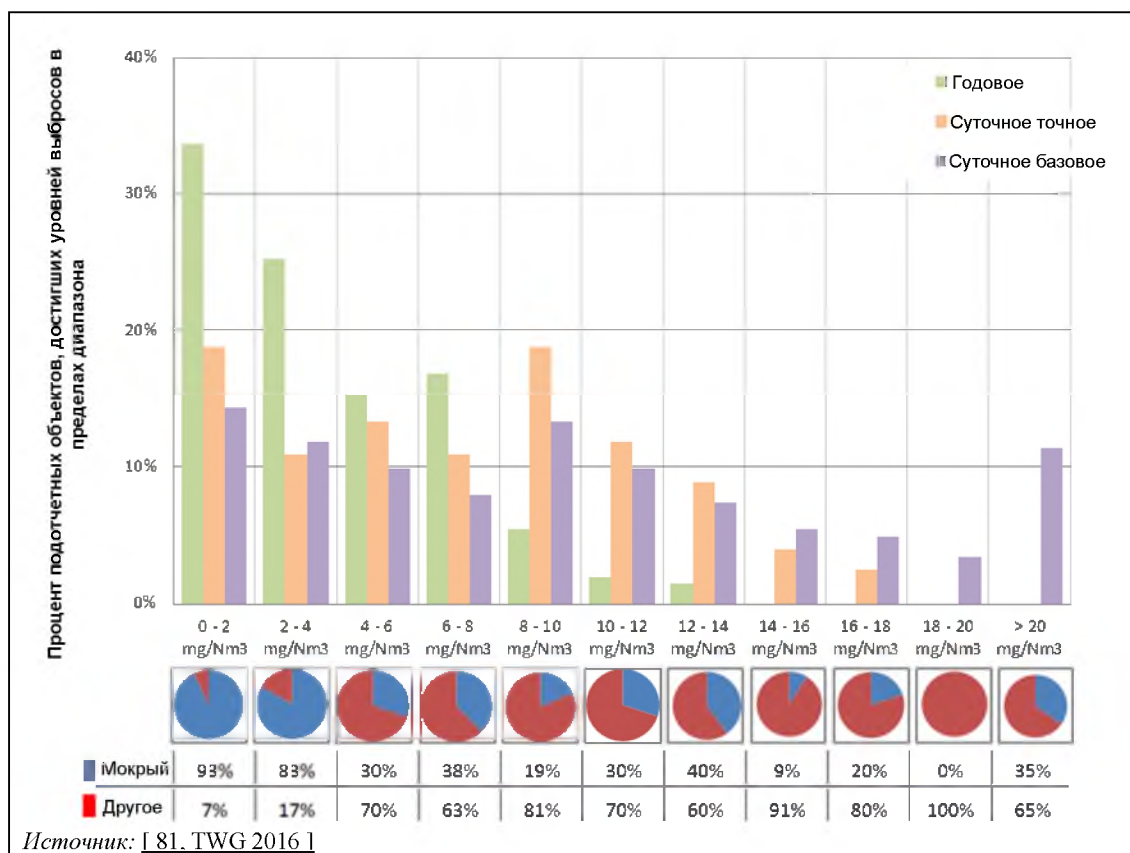


Рисунок 3.1: Постоянно контролируемые выбросы HCl в атмосферный воздух из подотчетных объектов, сжигающих преимущественно ТКО

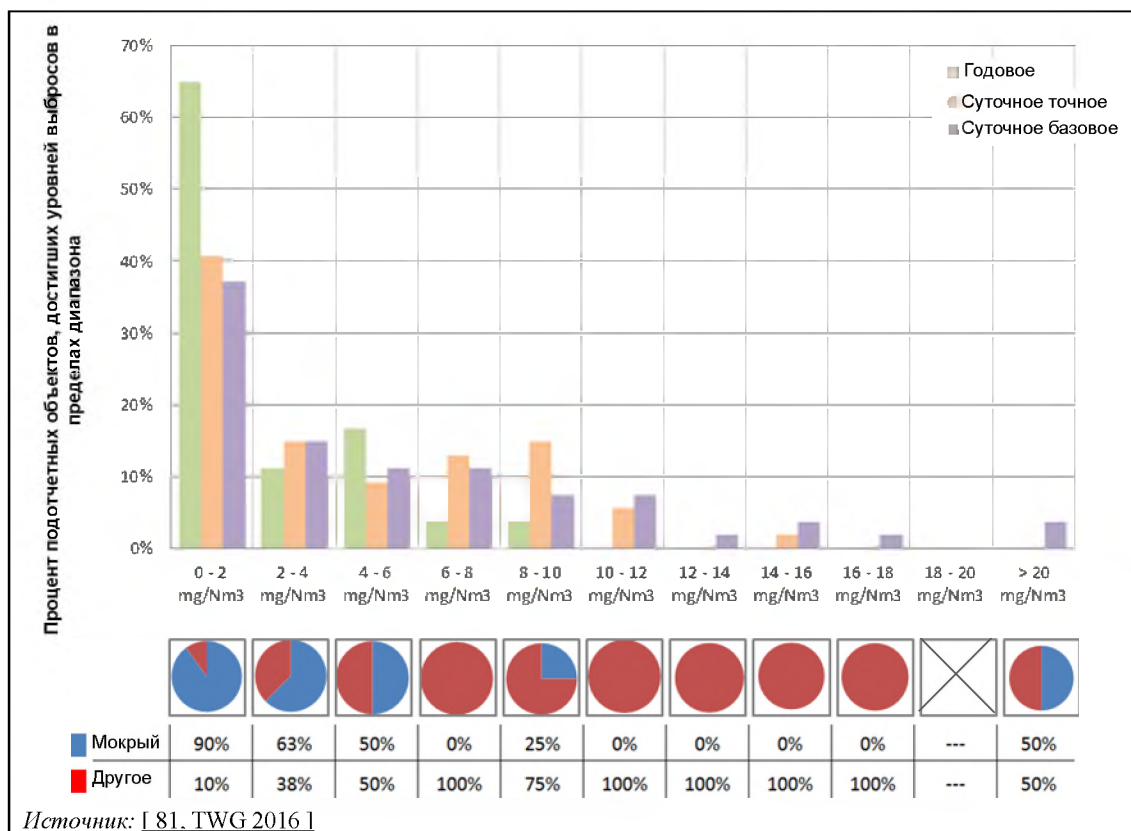


Рисунок 3.2: Постоянно контролируемые выбросы HCl в атмосферный воздух из подотчетных объектов, сжигающих преимущественно ДНОО

Уровни выбросов варьируются от близкого к пределу количественного определения до 13 мг/Нм³ в качестве среднегодового значения и 17 мг/Нм³ в качестве максимального среднесуточного значения. В некоторых случаях могут быть зарегистрированы более высокие пики выбросов, как правило, связанные с условиями за пределами НУЭ.

Графики показывают, что установки, оснащенные мокрым скруббером, обычно достигают более низких уровней выбросов (в основном, ниже 2 мг/Нм³ в среднем за год и 4 мг/Нм³ в качестве максимального среднесуточного значения), чем установки, оснащенные инжектором с сухим сорбентом с использованием полумокрых технологий.

Представленные данные не демонстрируют четкой корреляции между достигнутыми уровнями выбросов и типом или количеством используемого реагента, сроком эксплуатации и размером установки или типом печи.

Данные о фтористом водороде (HF) основаны на периодических измерениях. Концентрации HF снижаются с помощью тех же технологий, что и HCl, что означает, что эффективная система очистки дымовых газов от HCl также будет работать с HF. Поскольку химическое поведение HF отличается от химического поведения HCl, эффективность удаления HF будет немного отличаться в разных системах.

Данные о выбросах HF показаны на следующих рисунках в упрощенной форме в этой главе и подробно в приложении 8.6 и приложении 8.8; ежечасные уровни выбросов приведены в приложении 8.7:

- Рисунок 3.3 для 157 подотчетных объектов, на которых сжигаются преимущественно ТКО и осуществляется периодический мониторинг HF. Из-за большого количества представленных точек данных соответствующие подробные графики разделены на два рисунка для удобства чтения: рисунок 8.105 и рисунок 8.106.
- Рисунок 3.4, для 81 подотчетного объекта, на которых сжигаются преимущественно ТКО и осуществляется постоянный мониторинг HF. Соответствующие подробные графики

представлены на рисунке 8.5 (ежедневные и годовые уровни выбросов) и на рисунке 8.55 (получасовые уровни выбросов).

- Рисунок 3.5, для 31 подотчетного объекта, на которых сжигаются преимущественно ДНОО и осуществляется периодический мониторинг HF. Соответствующий подробный график на рисунке 8.107.
- Рисунок 3.6, для 20 подотчетных объектов, на которых сжигаются преимущественно ДНОО и осуществляется постоянный мониторинг HF. Соответствующие подробные графики представлены на рисунке 8.6 (суточные и годовые уровни выбросов) и на рисунке 8.56 (получасовые уровни выбросов).

Для каждого диапазона концентраций выбросов, представленного на горизонтальной оси, на круговых диаграммах внизу показаны доли подотчетных объектов, оснащенных мокрым скруббером и другими технологиями (такими как ВСС или полумокрые абсорберы), среди тех, которые достигают уровней выбросов в данном диапазоне.

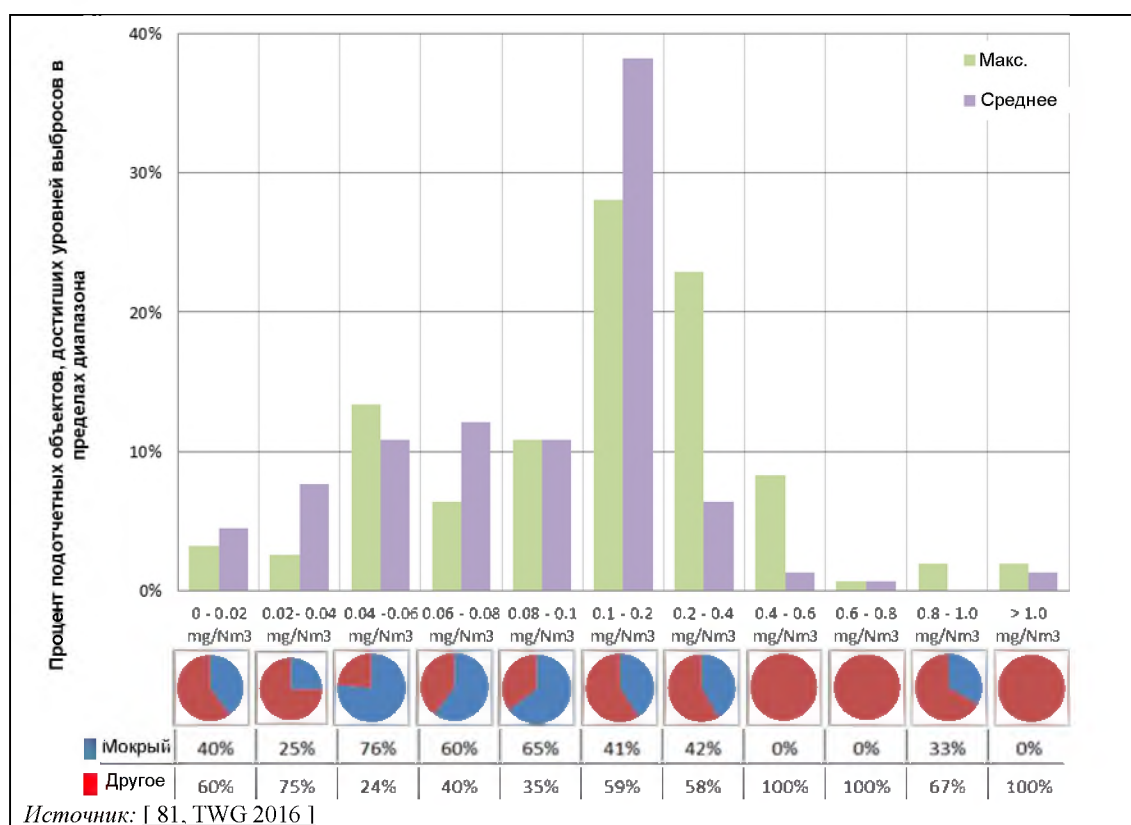


Рисунок 3.3: Периодически контролируемые выбросы HF в атмосферный воздух из подотчетных объектов, сжигающих преимущественно ТКО

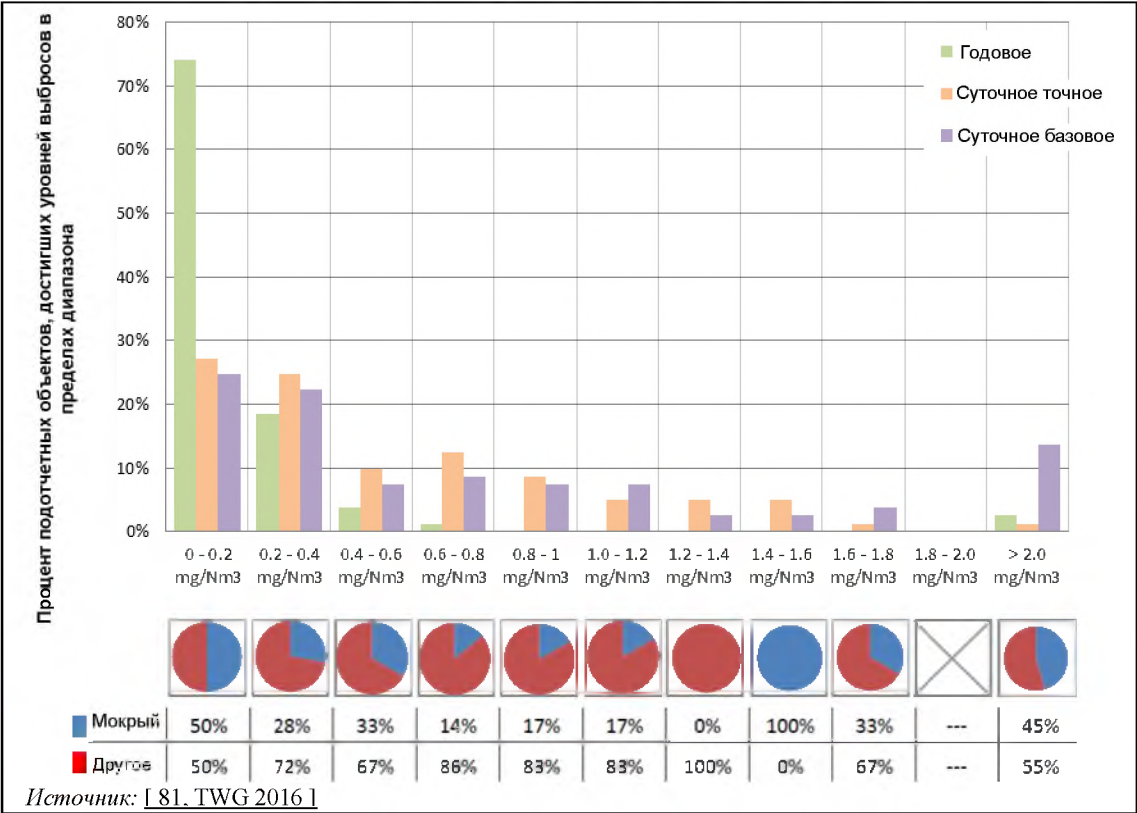


Рисунок 3.4: Постоянно контролируемые выбросы HF в атмосферный воздух из подотчетных объектов, сжигающих преимущественно ТКО

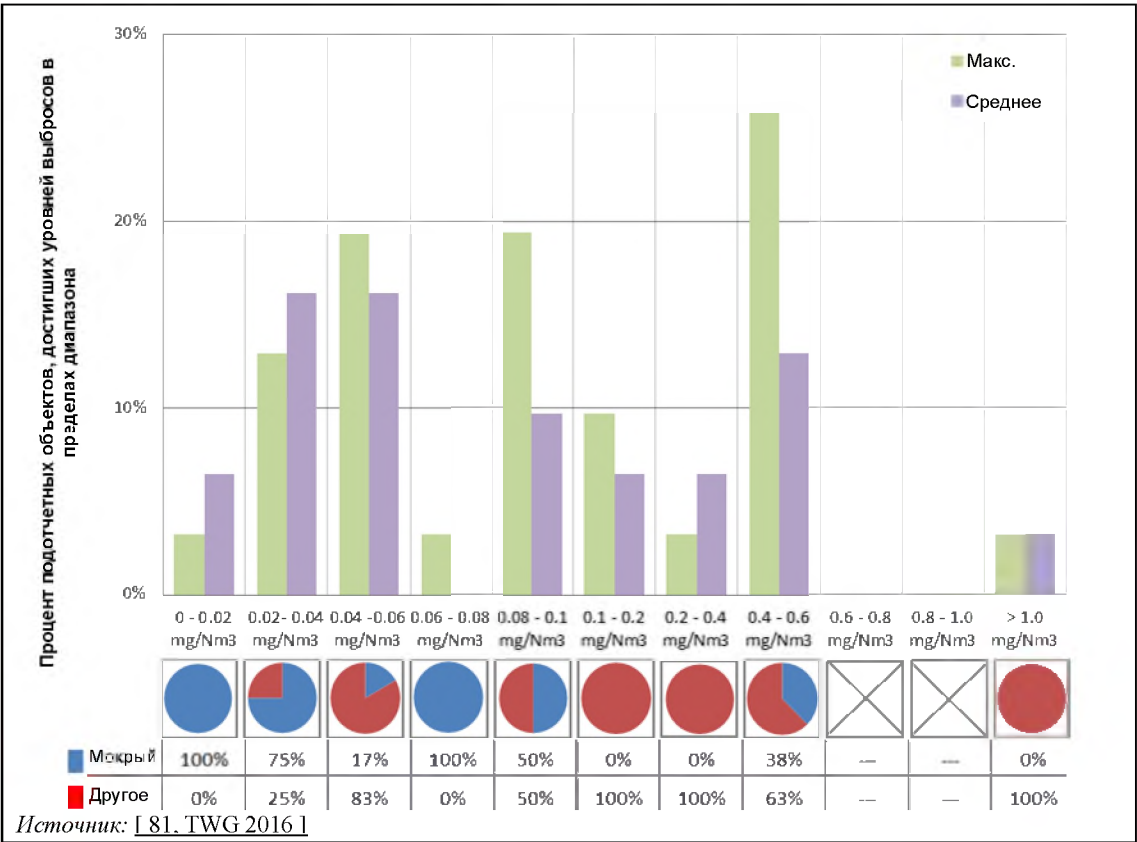


Рисунок 3.5: Периодически контролируемые выбросы HF в атмосферный воздух из подотчетных объектов, сжигающих преимущественно ДНОО

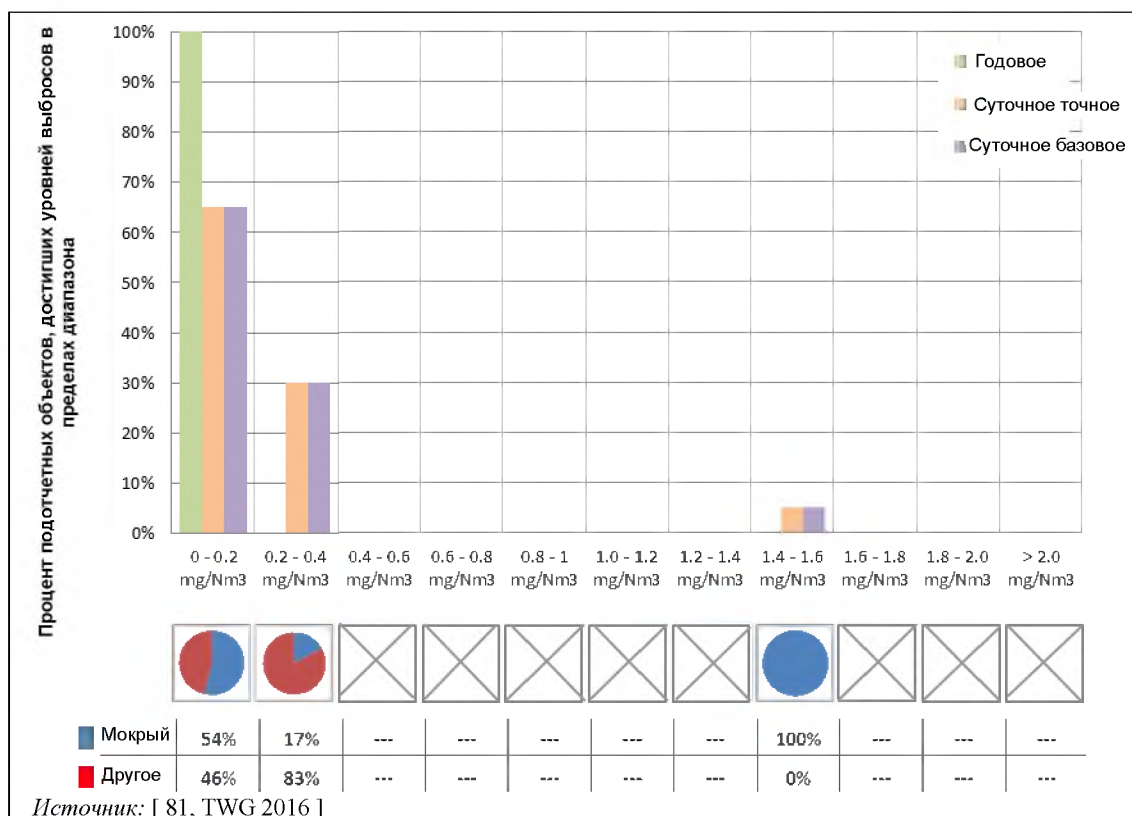


Рисунок 3.6: Постоянно контролируемые выбросы НГ в атмосферный воздух из подотчетных объектов, сжигающих преимущественно ДНОО

Уровни выбросов варьируются от близкого к пределу количественного определения до 0,4 мг/Нм³ для среднегодового значения и 1,6 мг/Нм³ для максимального среднесуточного значения, за исключением одной установки, среднегодовой показатель которой достигает 0,7 мг/Нм³, и установки максимальный среднесуточный показатель которой превышает 3 мг/Нм³. Периодически контролируемые выбросы находятся между пределом количественного определения и показателем 0,6 мг/Нм³, за исключением шести установок, на которых были зарегистрированы выбросы от 1 мг/Нм³ до 4 мг/Нм³.

Представленные данные не демонстрируют четкой корреляции между зарегистрированными уровнями выбросов и техническим оснащением установок, типом и количеством используемого реагента, сроком эксплуатации и размером установки или типом печи.

Используемые типы систем очистки дымовых газов такие же, как и для HCl, с основным отличием в том, что мокрые скрубберы работают при слегка щелочном pH (обычно 7–8).

В этой главе данные о выбросах SO₂ представлены на следующих рисунках в упрощенной форме, а также подробно в Приложении 8.6 и Приложении 8.8; получасовые уровни выбросов приведены в приложении 8.7:

- Рисунок 3.7, для 204 подотчетных объектов, сжигающих преимущественно ТКО. Из-за большого количества представленных точек данных соответствующие подробные графики разделены на три рисунка для удобства чтения: рисунок 8.7, рисунок 8.8 и рисунок 8.9 для суточных и годовых уровней выбросов, а также рисунок 8.57, рисунок 8.58 и рисунок 8.59 для получасовых уровней выбросов.
- Рисунок 3.8, для 54 подотчетных объектов, сжигающих преимущественно ДНОО. Соответствующие подробные графики представлены на рисунке 8.10 для суточных и годовых уровней выбросов и на рисунке 8.60 для получасовых уровней выбросов.

Для каждого диапазона концентраций выбросов, представленного на горизонтальной оси, на круговых диаграммах внизу показаны доли подотчетных объектов, оснащенных мокрым скруббером и другими технологиями (такими как ВСС или полумокрые абсорберы), среди тех, которые достигают уровней выбросов в данном диапазоне.

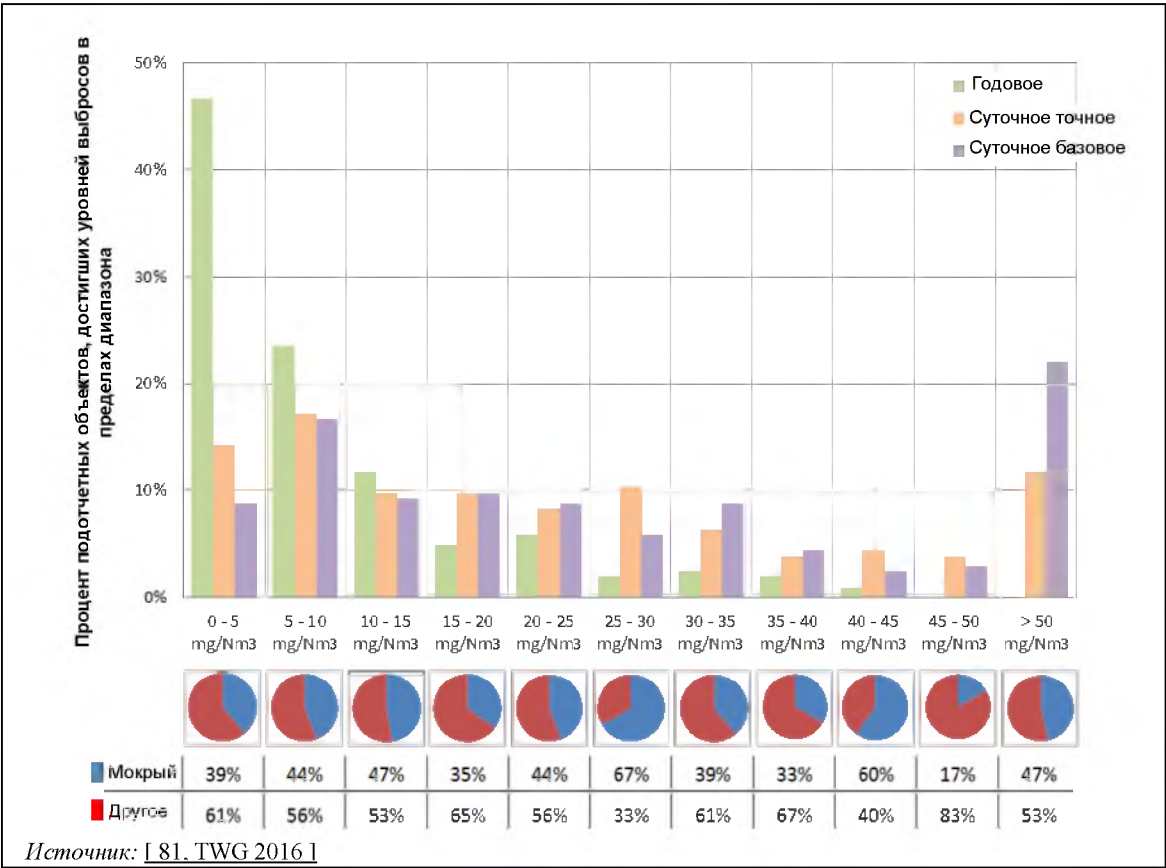


Рисунок 3.7: Постоянно контролируемые выбросы SO₂ в атмосферный воздух из подотчетных объектов, сжигающих преимущественно ТКО

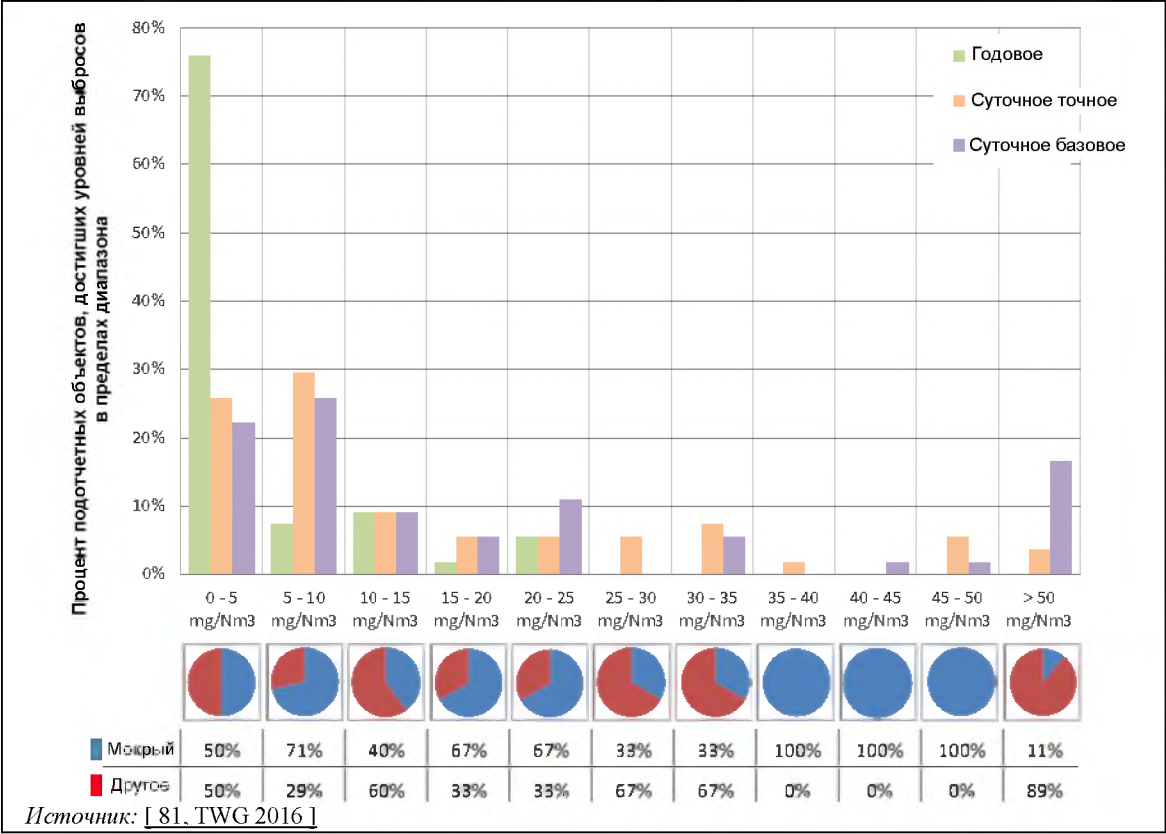


Рисунок 3.8: Постоянно контролируемые выбросы SO₂ в атмосферный воздух из подотчетных объектов, сжигающих преимущественно ДНОО

Уровни выбросов варьируются от близкого к пределу количественного определения до 45 мг/Нм³ для среднегодового значения и 90 мг/Нм³ для максимального среднесуточного значения.

Представленные данные не демонстрируют четкой корреляции между зарегистрированными уровнями выбросов и техническим оснащением установок, типом и количеством используемого реагента, сроком эксплуатации и размером установки или типом печи.

Пыль

Для пыли используются три основных типа систем очистки дымовых газов:

1. Сухой электрофильтр (сухой ЭСФ).
2. Мокрый электрофильтр (мокрый ЭСФ) (примечание: мокрый ЭСФ не часто используется в СТКО).
3. Рукавный фильтр (РФ).

В некоторых случаях некоторых из этих технологий были объединены, например, сухой электростатический фильтр использовался для предварительного удаления пыли после котла, а затем РФ перед дымовой трубой. Это позволяет отделить летучую золу от остатков ОДГ и разделить процессы переработки и обращения.

Мокрые скрубберы и неподвижные адсорбционные слои также могут способствовать удалению пыли.

На некоторых установках также используют циклоны или мультициклоны для предварительной очистки. Хотя это не является обычной конфигурацией, есть примеры установок, где система очистки дымовых газов не включает рукавный фильтр или ЭСФ, но сочетает в себе мокрую очистку с мультициклоном.

Взаимозависимости между различными частями системы часто видны в общей конструкции системы очистки дымовых газов. Например, в случае сухих и полумокрых систем рукавные фильтры также действуют как реактор для удаления кислых газов. Кроме того, при использовании подходящего реагента (например, активированного угля), они могут обеспечить удаление ПХДД/Ф и металлов (включая ртуть и кадмий).

Данные о выбросах пыли, основанные на постоянных измерениях, в этой главе представлены на следующих рисунках в упрощенной форме, а также подробно в приложении 8.6; получасовые уровни выбросов приведены в приложении 8.7:

- Рисунок 3.9, для 203 подотчетных объектов, сжигающих преимущественно ТКО. Из-за большого количества представленных точек данных соответствующие подробные графики разделены на три рисунка для удобства чтения: рисунок 8.11, рисунок 8.12 и рисунок 8.13 для суточных и годовых уровней выбросов, а также рисунок 8.61, рисунок 8.62 и рисунок 8.63 для получасовых уровней выбросов.
- Рисунок 3.10, для 54 подотчетных объектов, сжигающих преимущественно ДНОО. Соответствующие подробные графики представлены на рисунке 8.14 для суточных и годовых уровней выбросов и рисунке 8.64 для получасовых уровней выбросов.

Для каждого диапазона концентраций выбросов, представленного на горизонтальной оси, на круговых диаграммах внизу показаны доли подотчетных объектов, оснащенных рукавным фильтром и другими технологиями (такими как ЭСФ), среди тех, которые достигают уровней выбросов в данном диапазоне.

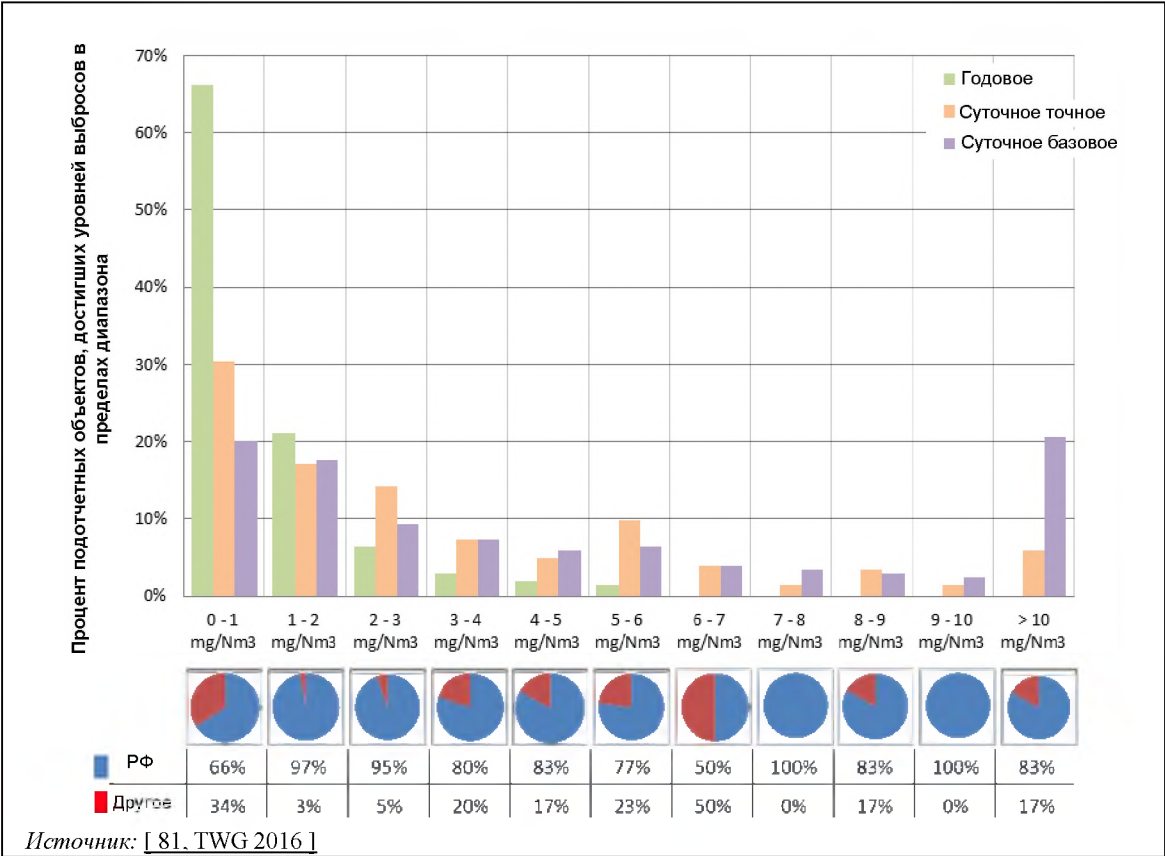


Рисунок 3.9: Постоянно контролируемые выбросы пыли в атмосферный воздух из подотчетных объектов, сжигающих преимущественно ТКО

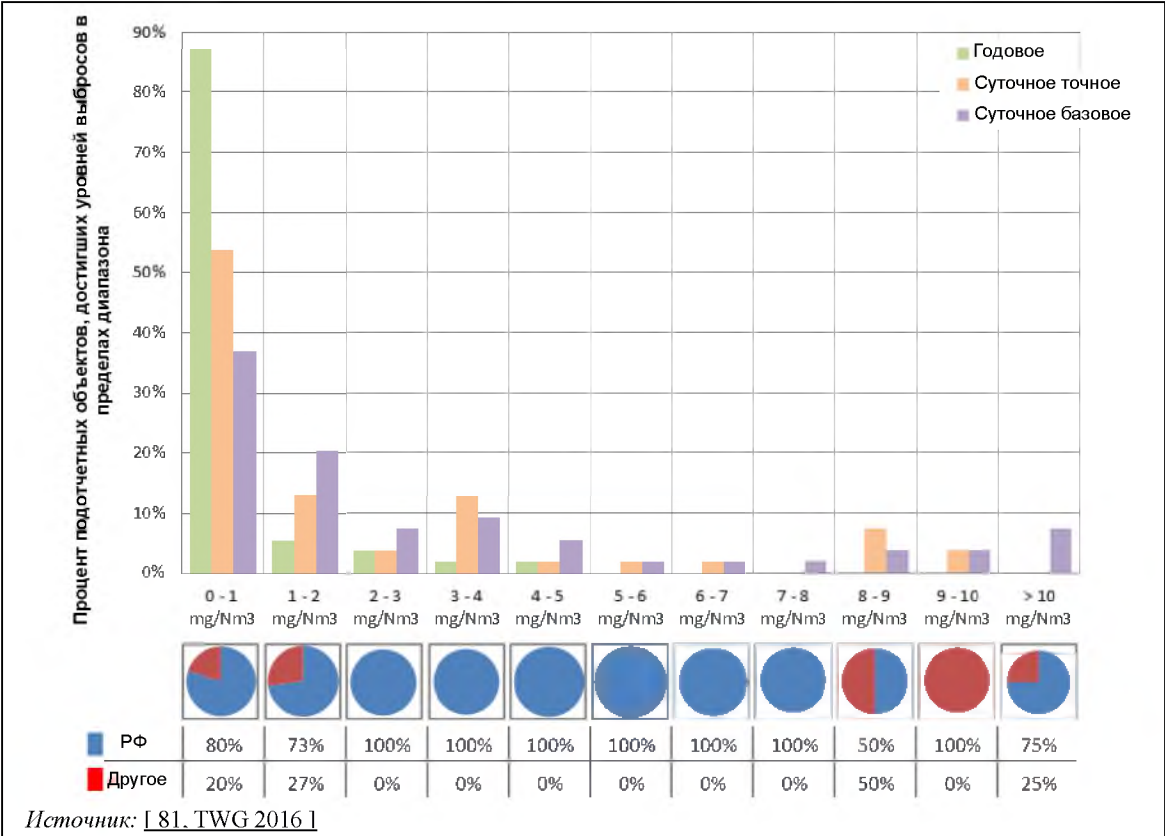


Рисунок 3.10: Постоянно контролируемые выбросы пыли в атмосферный воздух из подотчетных объектов, сжигающих преимущественно ДНОО

Уровни выбросов варьируются от близкого к пределу количественного определения до 6 мг/Нм^3 для среднегодового значения и 17 мг/Нм^3 для максимального среднесуточного значения. В некоторых случаях могут быть зарегистрированы более высокие пики выбросов, как правило, связанные с условиями за пределами НУЭ.

Графики показывают, что установки, оснащенные рукавным фильтром, обычно демонстрируют уровни выбросов ниже $2,5 \text{ мг/Нм}^3$ в среднем за год; только несколько на нескольких установках были зарегистрированы среднегодовые уровни от 3 мг/Нм^3 до 6 мг/Нм^3 , и, за исключением UK7-1 и UK7-2 – это установки с ЭСФ. В качестве максимального среднесуточного значения подавляющее большинство установок демонстрирует уровни ниже 7 мг/Нм^3 и ниже 5 мг/Нм^3 для установок, оснащенных рукавным фильтром, за исключением случаев, когда на среднесуточный уровень выбросов существенное влияние оказывают такие явления, как сбой в работе рукавного фильтра или при эксплуатации в обход использования рукавного фильтра.

Представленные данные не демонстрируют четкой корреляции между зарегистрированными уровнями выбросов и техническим оснащением установок, типом и количеством используемого реагента, сроком эксплуатации и размером установки или типом печи.

Оксиды азота

Различные технологии контроля горения используются для уменьшения образования NO_x . СКВ и СНКВ являются основными вторичными технологиями, используемыми для дальнейшего снижения выбросов NO_x в СТКО.

Данные о выбросах NO_x , основанные на постоянных измерениях, в этой главе представлены на следующих рисунках в упрощенной форме, а также подробно в приложении 8.6; получасовые уровни выбросов приведены в приложении 8.7:

- Рисунок 3.11, для 204 подотчетных объектов, сжигающих преимущественно ТКО. Из-за большого количества представленных точек данных соответствующие подробные графики разделены на три рисунка для удобства чтения: рисунки 8.15, 8.16 и 8.17 для суточных и годовых уровней выбросов, а также рисунки 8.65, 8.66 и 8.67 для получасовых уровней выбросов.
- Рисунок 3.12, для 53 подотчетных объектов, сжигающих преимущественно ДНОО. Соответствующие подробные графики представлены на рисунке 8.18 для суточных и годовых уровней выбросов и на рисунке 8.68 для получасовых уровней выбросов.

Для каждого диапазона концентраций выбросов, представленного на горизонтальной оси, на круговых диаграммах внизу показаны доли подотчетных объектов, достигающих уровней выбросов в данном диапазоне и оснащенных СКВ, СКВ без СНКВ, а также другими основными технологиями.

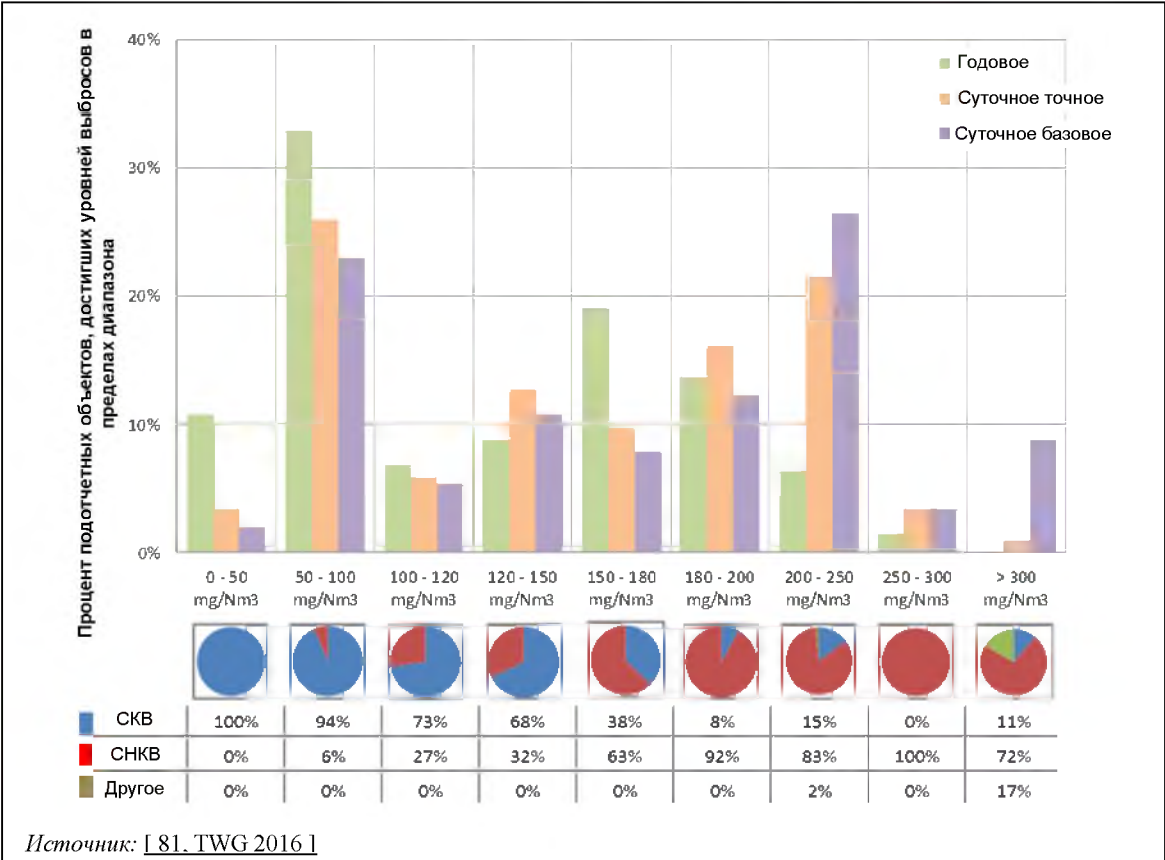


Рисунок 3.11: Постоянно контролируемые выбросы NO_x в атмосферный воздух из подотчетных объектов, сжигающих преимущественно ТКО

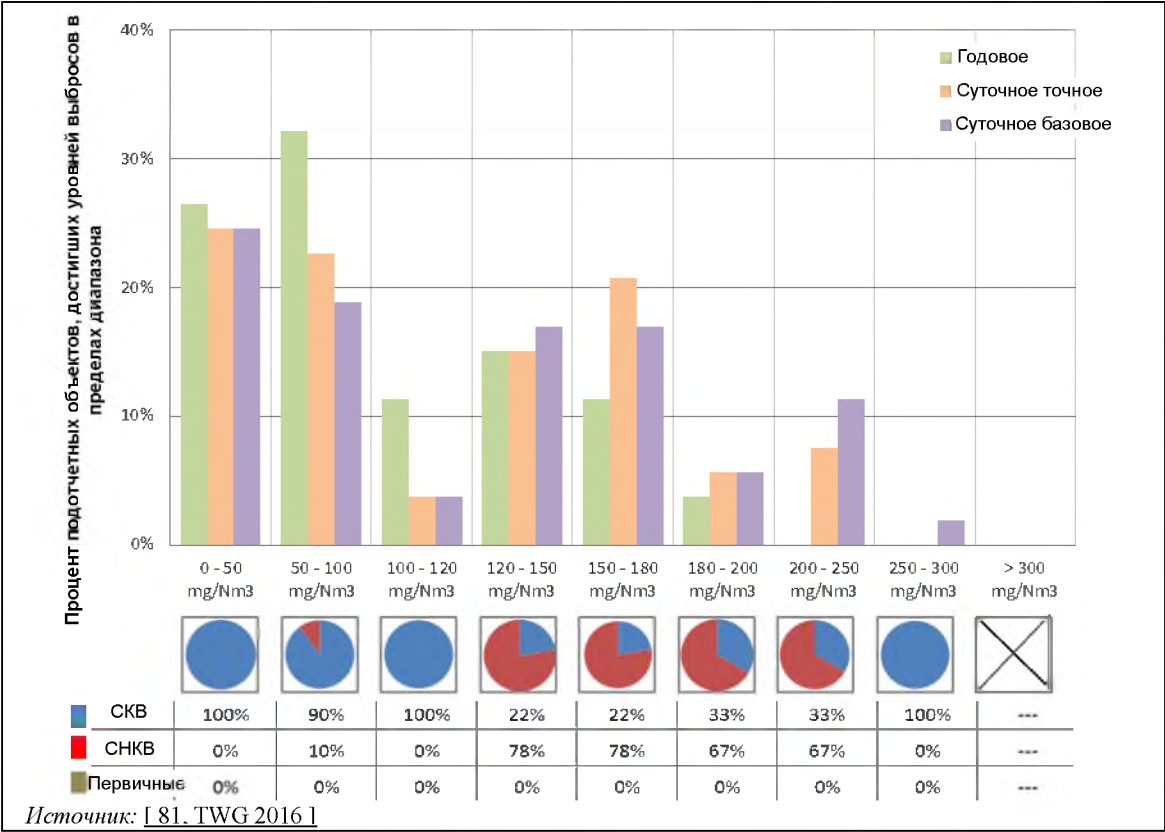


Рисунок 3.12: Постоянно контролируемые выбросы NO_x в атмосферный воздух от подотчетных объектов, сжигающих преимущественно ДНОО

Уровни выбросов варьируются от 18 мг/Нм³ до 275 мг/Нм³ для среднегодового и от 22 мг/Нм³ до 350 мг/Нм³ для максимального среднесуточного значения. В некоторых случаях более высокие пики выбросов могут быть зарегистрированы в условиях за пределами НУЭ, но в большинстве случаев наблюдается небольшая разница между «базовой» и «точной» фильтрацией данных для среднесуточных значений и, особенно для установок, оснащенных СКВ, – максимальная среднесуточная величина в большинстве случаев в пределах 125% от среднегодового значения.

Графики показывают, что установки, оснащенные СКВ, обычно демонстрируют существенно более низкие уровни выбросов (до 20 мг/Нм³ и, как правило, ниже 100 мг/Нм³ для среднегодового значения и 130 мг/Нм³ для максимального среднесуточного значения), чем установки, оснащенные СНКВ. Наиболее эффективные установки, оснащенные СНКВ, достигают среднегодового уровня 54 мг/Нм³ и максимального среднесуточного 76 мг/Нм³.

Представленные данные не демонстрируют четкой корреляции между зарегистрированными уровнями выбросов и техническим оснащением установок, типом и количеством используемого реагента, сроком эксплуатации и размером установки или типом печи.

Аммиак

Выбросы аммиака связаны с утечкой реагента из СКВ или СНКВ. Основной технологией, используемой для контроля таких выбросов, является оптимизация процесса, а также хорошее обслуживание катализатора в случае СКВ. Для СНКВ эффективное удаление аммиачной пробки может быть достигнуто на этапе очистки мокрым скруббером, работающим при низком pH. СКВ также может быть реализовано в качестве катализатора скольжения для дальнейшей реакции непрореагировавшего аммиака после того, как в системе СНКВ произошло основное восстановление.

Данные о выбросах аммиака, основанные на непрерывных или периодических измерениях, в этой главе представлены на следующих рисунках в упрощенной форме, а также подробно в приложениях 8.6 и 8.8; получасовые уровни выбросов приведены в приложении 8.7:

- Рисунок 3.13, для 120 подотчетных объектов, сжигающих преимущественно ТКО и периодически контролирующих NH₃. Из-за большого количества представленных точек данных соответствующие подробные графики разделены на два рисунка для удобства чтения: рисунки 8.108 и 8.109.
- Рисунок 3.14, для 146 подотчетных объектов, сжигающих преимущественно ТКО и непрерывно контролирующих NH₃. Из-за большого количества представленных точек данных соответствующие подробные графики разделены на три рисунка для удобства чтения: рисунки 8.19, 8.20 и 8.21 для ежедневных и годовых уровней выбросов, а также рисунки 8.69, 8.70 и 8.71 для получасовых уровней выбросов.
- Рисунок 3.15, для 27 подотчетных объектов, сжигающих преимущественно ДНОО и периодически контролирующих NH₃. Соответствующий подробный график представлен на рисунке 8.110.
- Рисунок 3.16, для 38 подотчетных объектов, сжигающих преимущественно ДНОО и непрерывно контролирующих NH₃. Соответствующие подробные графики представлены на рисунке 8.22 для суточных и годовых уровней выбросов и на рисунке 8.72 для получасовых уровней выбросов.

Для каждого диапазона концентраций выбросов, представленного на горизонтальной оси, на круговых диаграммах внизу показаны доли подотчетных объектов среди тех, которые достигают уровней выбросов в данном диапазоне, которые оснащены СКВ, СНКВ и нижним мокрым скруббером, а также СНКВ и методами сушки в нисходящем направлении (выбросы от установок, не использующих вторичные технологии удаления NO_x, не имеют отношения к проскоку аммиака).

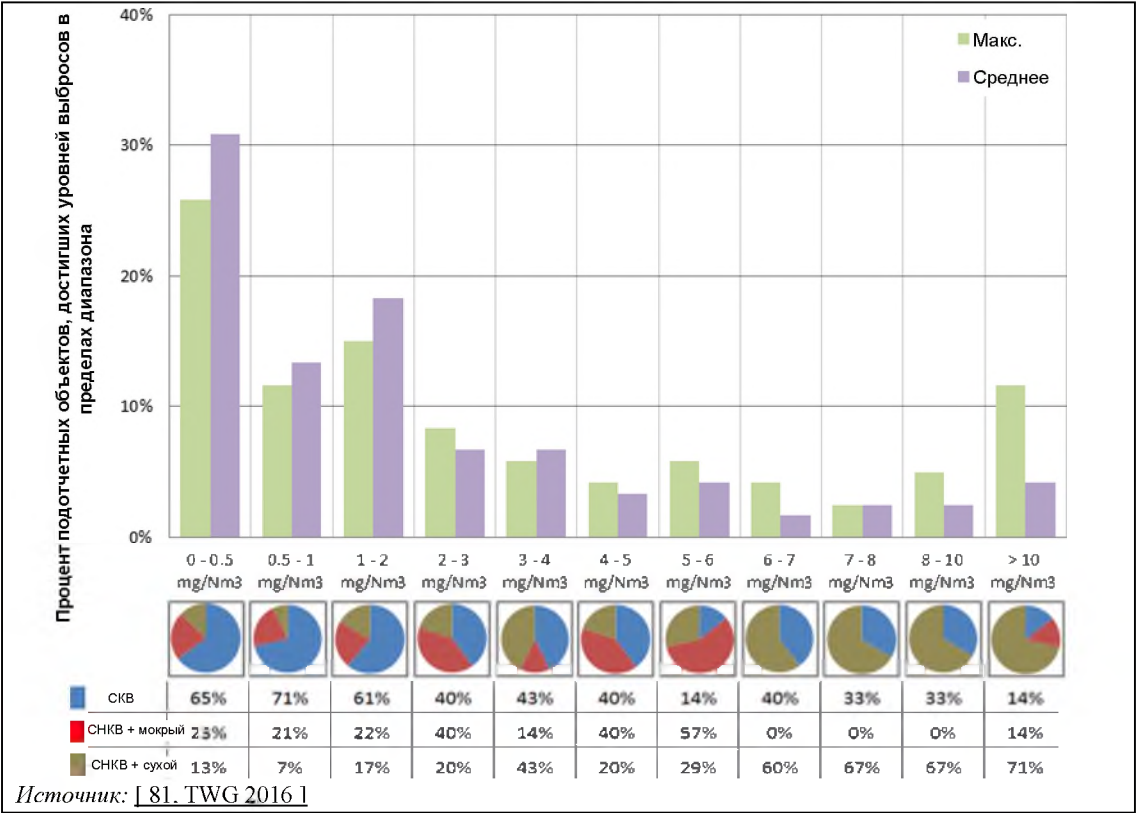


Рисунок 3.13: Периодически контролируемые выбросы NH₃ в атмосферный воздух из подотчетных объектов, сжигающих преимущественно ТКО

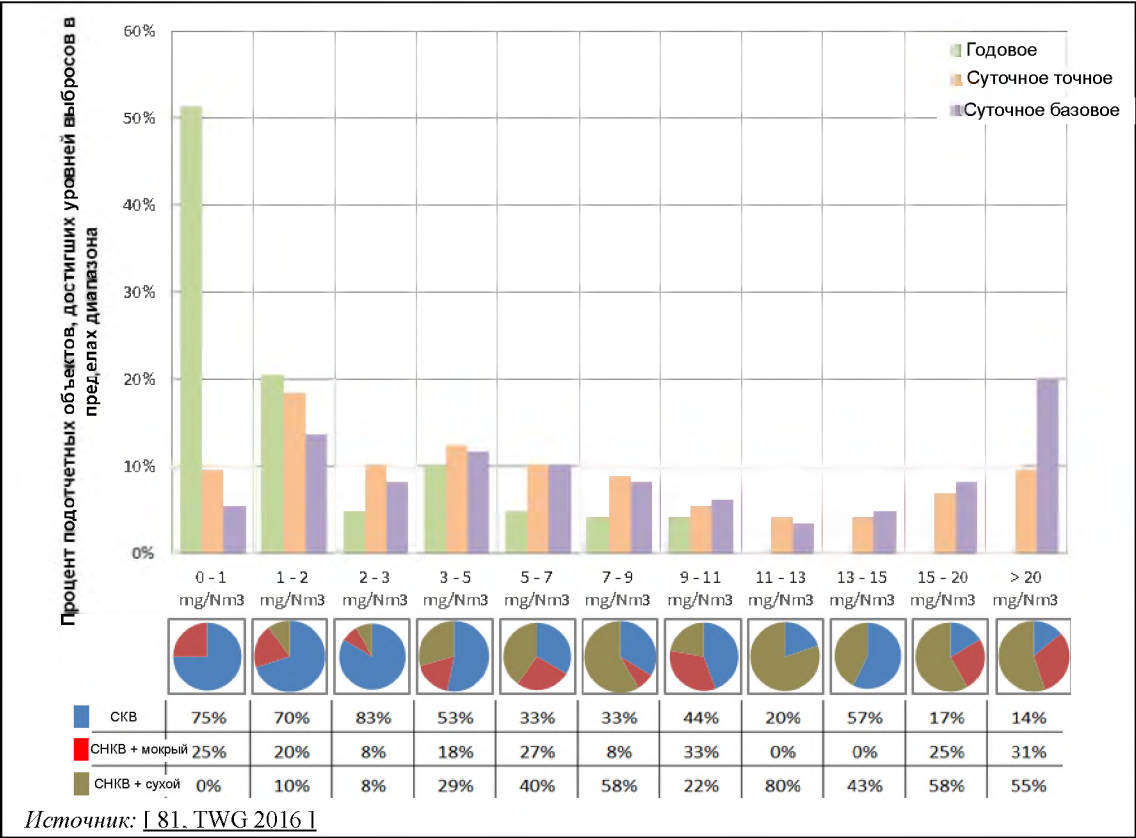


Рисунок 3.14: Постоянно контролируемые выбросы NH₃ в атмосферный воздух из подотчетных объектов, сжигающих преимущественно ТКО

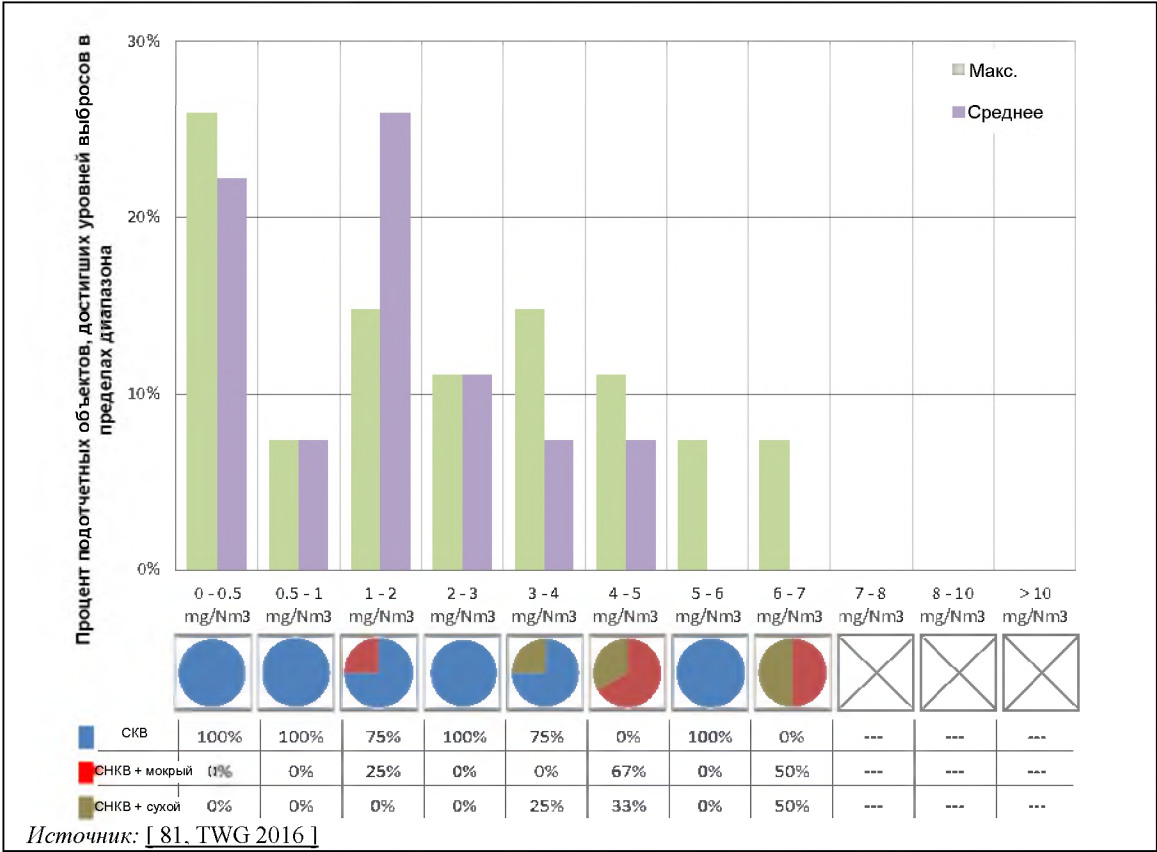


Рисунок 3.15: Периодически контролируемые выбросы NH₃ в атмосферный воздух из подотчетных объектов, сжигающих преимущественно ДНОО

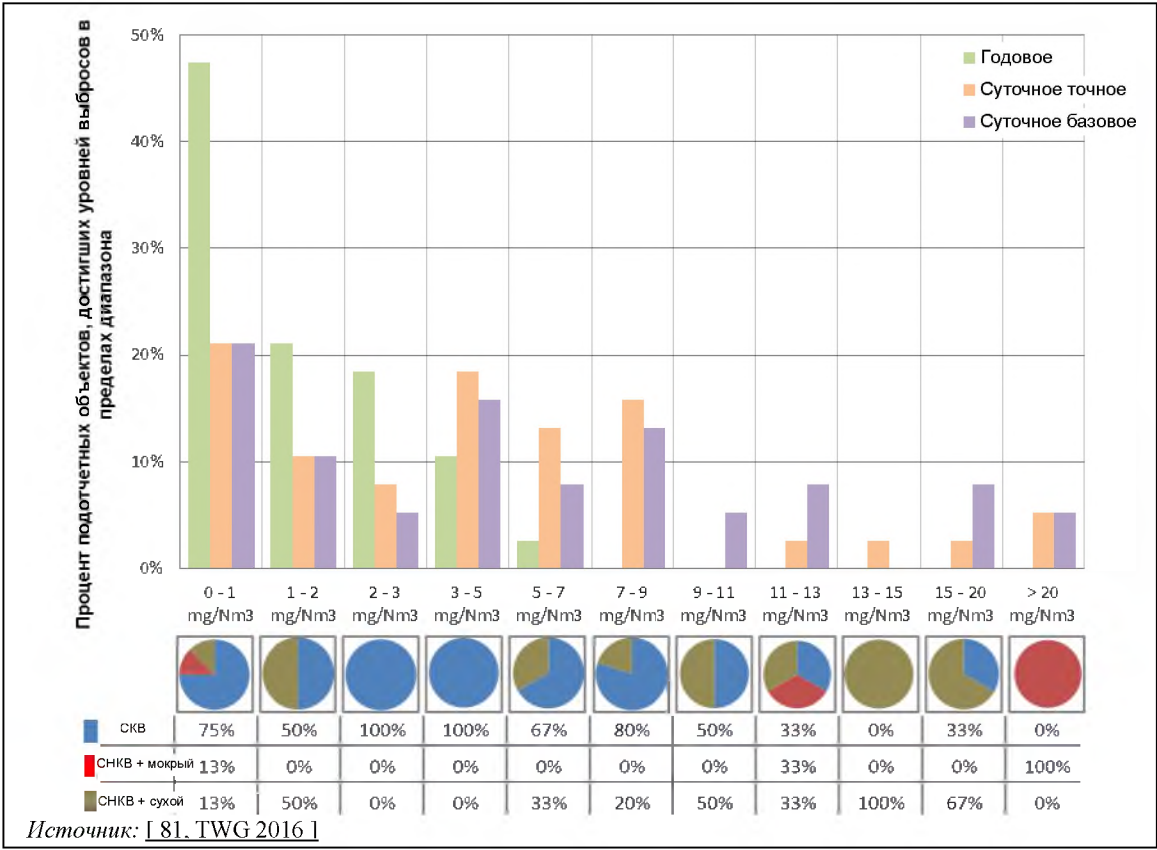


Рисунок 3.16: Постоянно контролируемые выбросы NH₃ в атмосферный воздух из подотчетных объектов, сжигающих преимущественно ДНОО

Уровни выбросов варьируются от близкого к пределу количественного определения до 10 мг/Нм³ для среднегодового значения и 37 мг/Нм³ для максимального среднесуточного или среднего значения за период выборки. В некоторых случаях наблюдаются более высокие пики выбросов, как правило, связанные с условиями за пределами НУЭ.

Графики показывают, что линии, оснащенные СКВ, обычно демонстрируют существенно более низкие уровни выбросов аммиака (как правило, значительно ниже 5 мг/Нм³ для среднегодового значения и 10 мг/Нм³ для максимального среднесуточного значения или среднего значения за период отбора проб), чем установки, оснащенные СНКВ. Установки с улучшенными характеристиками, оснащенные СНКВ, демонстрируют очень низкие уровни вплоть до предела количественного определения.

Представленные данные не демонстрируют четкой корреляции между зарегистрированными уровнями выбросов и техническим оснащением установок, типом и количеством используемого реагента, сроком эксплуатации и размером установки или типом печи.

TVOC

Значение TVOC является важной мерой эффективности сгорания. Достигнутые уровни выбросов TVOC являются главным образом результатом конструкции системы обжига и камеры дожигания, поскольку возможности для снижения этих выбросов путем очистки дымовых газов ограничены. Для уменьшения количества твердых органических частиц используется то же оборудование, что и для очистки от пыли. Концентрации некоторых органических соединений будут уменьшены за счет использования активированного угля.

Данные о выбросах TVOC, основанные на постоянных измерениях, показаны на следующих рисунках в упрощенной форме в этой главе, а также подробно в приложении 8.6; получасовые уровни выбросов приведены в приложении 8.7:

- Рисунок 3.17, для 198 подотчетных объектов, сжигающих преимущественно ТКО. Из-за большого количества представленных точек данных соответствующие подробные графики разделены на три рисунка для удобства чтения: рисунки 8.23, 8.24 и 8.25 для суточных и годовых уровней выбросов, а также рисунки 8.73, 8.74 и 8.75 для получасовых уровней выбросов.
- Рисунок 3.18, для 50 подотчетных объектов, сжигающих преимущественно ДНОО. Соответствующие подробные графики: рисунок 8.26 для суточных и годовых уровней выбросов и рисунок 8.76 для получасовых уровней выбросов.

Для каждого диапазона концентраций выбросов, представленного на горизонтальной оси, на круговых диаграммах внизу показаны доли подотчетных объектов среди тех, которые достигают уровней выбросов в данном диапазоне, которые попадают в различные классы по размеру (пороги для малых, средних и крупных установок описаны во вступительном тексте главы 3).

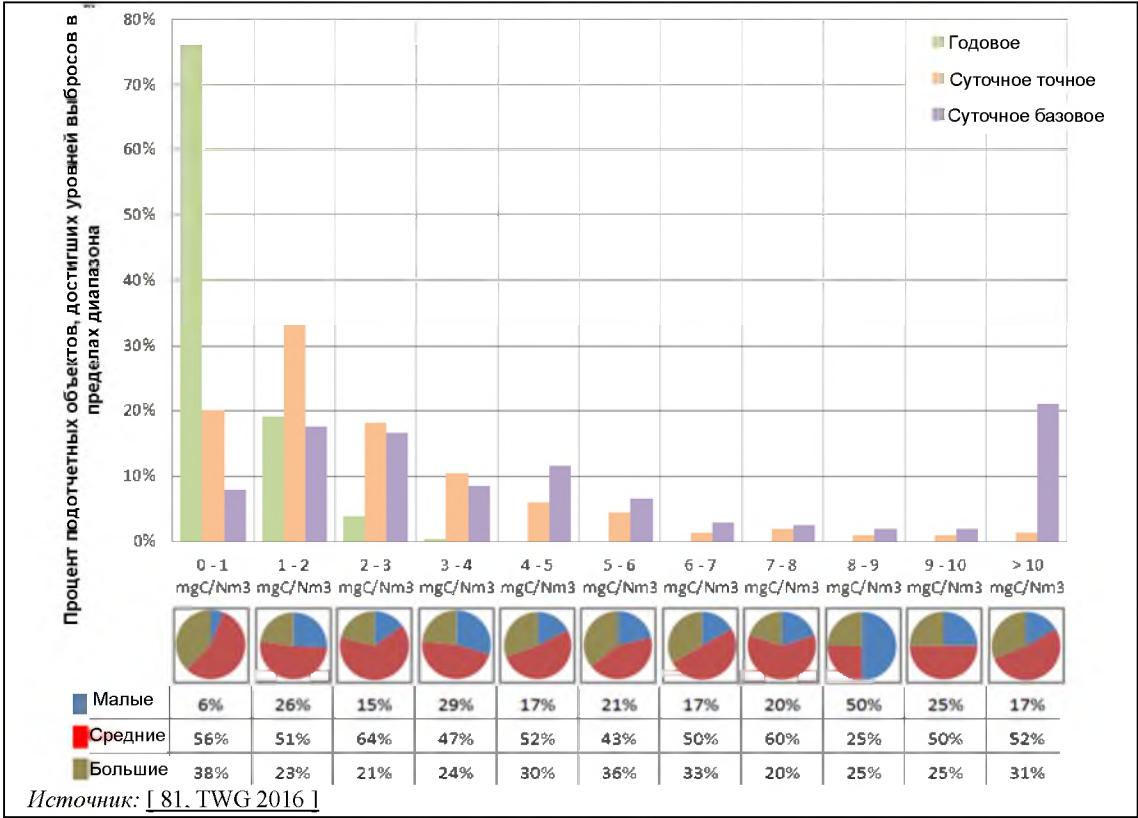


Рисунок 3.17: Постоянно контролируемые выбросы TVOC в атмосферный воздух из подотчетных объектов, сжигающих преимущественно ТКО

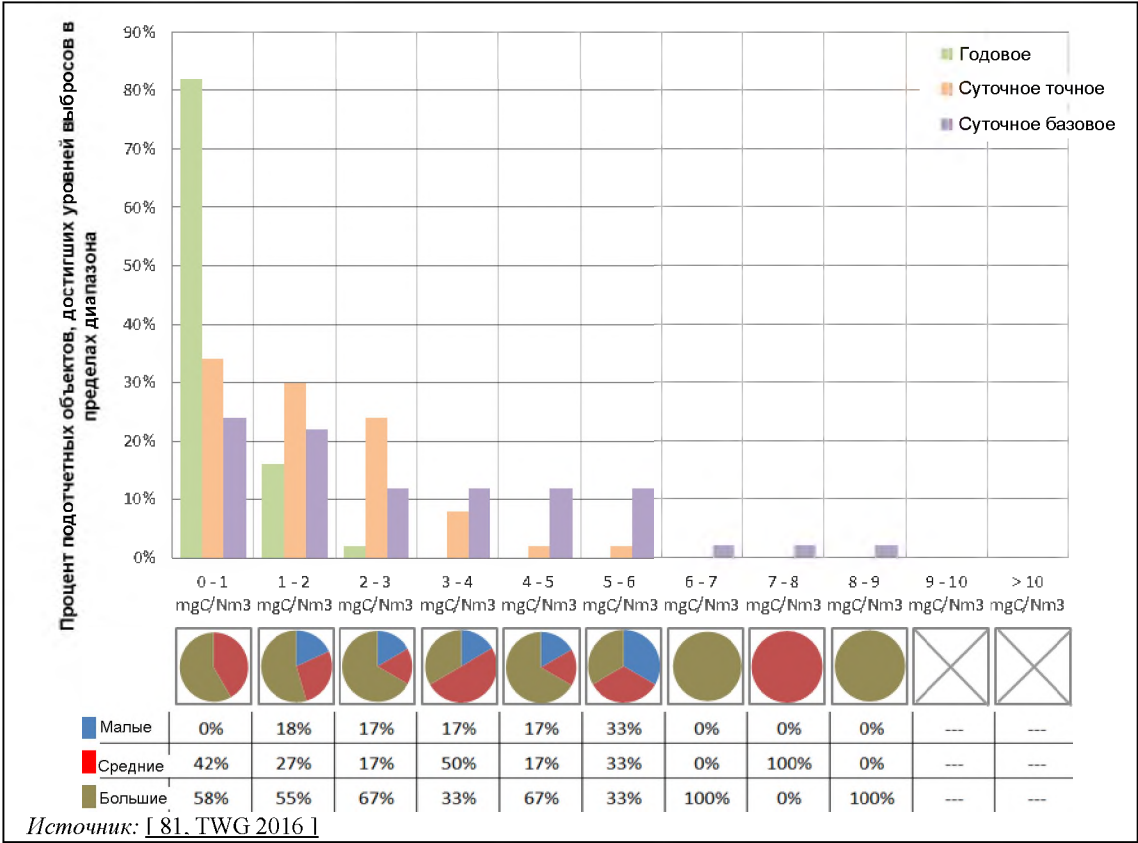


Рисунок 3.18: Постоянно контролируемые выбросы TVOC в атмосферный воздух из подотчетных объектов, сжигающих преимущественно ДНОО

Уровни выбросов варьируются от близкого к пределу количественного определения до 3 мг/Нм³ для среднегодового значения и 17 мг/Нм³ для максимального среднесуточного значения, хотя для подавляющего большинства установок максимальное среднесуточное значение составляет менее 6 мг/Нм³. Хотя даже максимальные суточные уровни, как правило, очень низкие, разница по отношению к среднегодовому значению довольно существенная. Это отражает изменчивость выбросов TVOC, которые могут показывать пики при нестабильных условиях сгорания в печи, например, при запуске и отключении, а также может быть связано с иногда большими различиями между максимумами суточных средних, полученных с помощью «базовой» и «точной» фильтрации данных.

Представленные данные не демонстрируют четкой корреляции между зарегистрированными уровнями выбросов и техническим оснащением установок, типом и количеством используемого реагента, сроком эксплуатации и размером установки или типом печи.

Монооксид углерода

Как и TVOC, показатель CO характеризует качество сгорания. Низкие уровни выбросов CO связаны с выгоранием высококачественного газа.

Данные о выбросах CO основаны на постоянных измерениях и показаны на следующих рисунках в упрощенной форме в этой главе, а также подробно в приложении 8.6; получасовые уровни выбросов приведены в приложении 8.7:

- Рисунок 3.19, для 199 подотчетных объектов, сжигающих преимущественно ТКО. Из-за большого количества представленных точек данных соответствующие подробные графики разделены на три рисунка для удобства чтения: рисунки 8.27, 8.28 и 8.29 для суточных и годовых уровней выбросов, а также рисунки 8.77, 8.78 и 8.79 для получасовых уровней выбросов.
- Рисунок 3.20, для 54 подотчетных объектов, сжигающих преимущественно ДНОО. Соответствующие подробные графики представлены на рисунке 8.30 для суточных и годовых уровней выбросов и на рисунке 8.80 для получасовых уровней выбросов.

Для каждого диапазона концентраций выбросов, представленного на горизонтальной оси, на круговых диаграммах внизу показаны доли подотчетных объектов среди тех, которые достигают уровней выбросов в данном диапазоне, которые попадают в различные классы по размеру (пороги для малых, средних и крупных установок описаны во вступительном тексте главы 3).

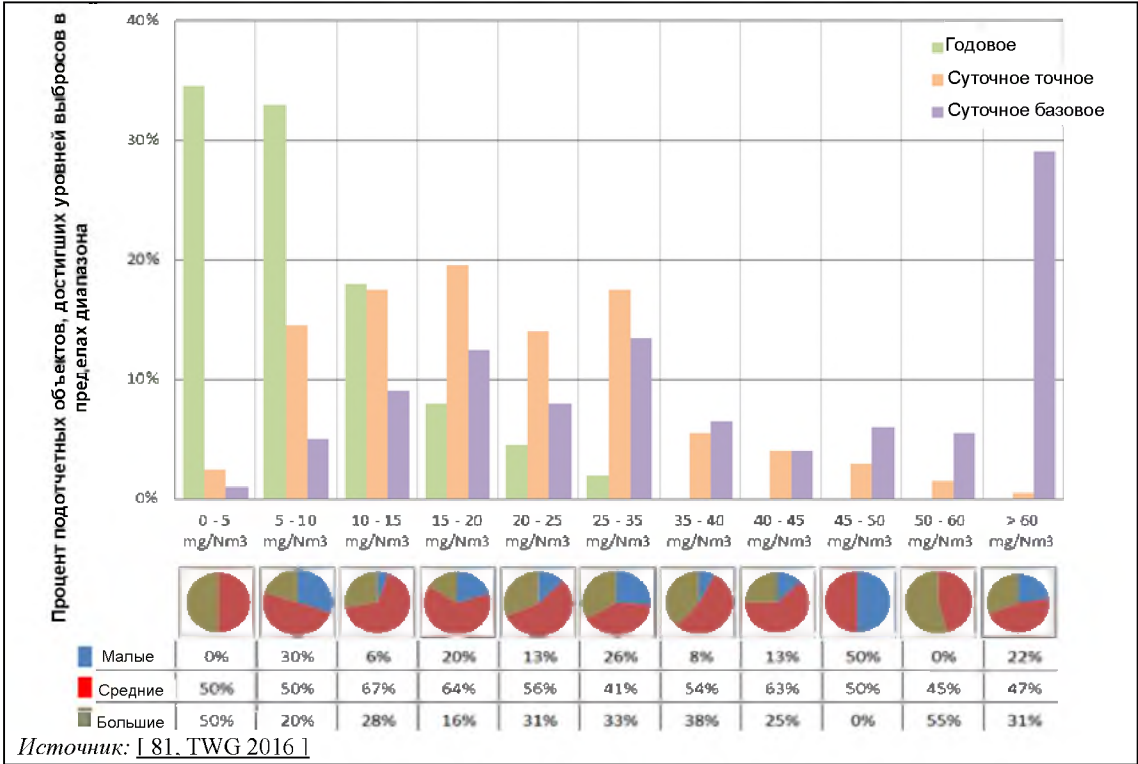


Рисунок 3.19: Постоянно контролируемые выбросы СО в атмосферный воздух из подотчетных объектов, сжигающих преимущественно ТКО

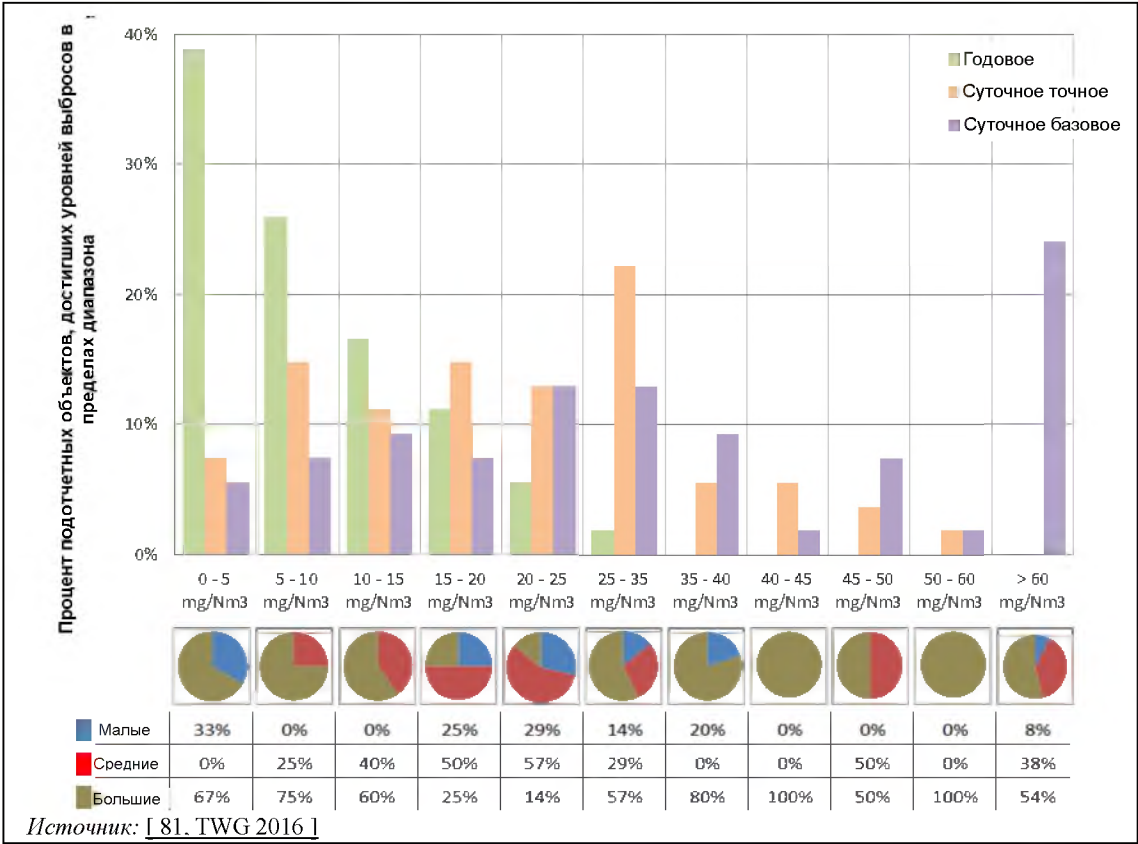


Рисунок 3.20: Постоянно контролируемые выбросы СО в атмосферный воздух из подотчетных объектов, сжигающих преимущественно ДНОО

Уровни выбросов варьируются от 0,5 мг/Нм³ до 31 мг/Нм³ для среднегодовых и от 4 мг/Нм³ до 53

мг/Нм³ для максимальных среднесуточных значений, за исключением двух установок, демонстрирующих низкие уровни, и одной установки, демонстрирующей уровень 81 мг/Нм³ в качестве максимального среднесуточного значения («точная» фильтрация данных). Подобно выбросам TVOC, разница между максимальным среднесуточным и среднегодовым значением имеет тенденцию быть существенной, отражая изменчивость выбросов СО, при нестабильных условиях сгорания в печи, например, при запуске и отключении. Также это может быть связано с иногда большими различиями между максимумами суточных средних, полученных с помощью «базовой» и «точной» фильтрации данных.

Представленные данные не демонстрируют четкой корреляции между зарегистрированными уровнями выбросов и техническим оснащением установок, типом и количеством используемого реагента, сроком эксплуатации и размером установки или типом печи.

ПХДД/Ф, ПХД и ПАУ

Для достижения низких уровней выбросов ПХДД/Ф важны как первичные, так и вторичные технологии. В системе обжига эффективное смешивание газов (высокая турбулентность) улучшает разрушение ПХДД/Ф и аналогичных соединений, уже присутствующих в отходах. Избегая температурного интервала для рекомбинации ПХДД/Ф и подобных соединений в котле и системе очистки дымовых газов, можно избежать синтеза новых ПХДД/Ф *de novo*.

Для дальнейшего сокращения используются четыре основных технологии:

1. Фильтр с активированным углем или с подвижным слоем.
2. Впрыск активированного угля (отдельно или в смеси с другими реагентами) для удаления в пылеуловителе.
3. Разрушение газообразного ПХДД/Ф на катализаторе, в том числе в случае каталитических рукавных фильтров.
4. Адсорбция ПХДД/Ф в упаковочных элементах из пропитанного углеродом полимерного материала в мокрых скрубберах или в статических слоях.

Преимущество использования активированного угля заключается также в сокращении выбросов ртути. Катализаторы в основном используются для снижения выбросов NO_x.

Данные о выбросах ПХДД/Ф основаны на периодических измерениях и показаны на следующих рисунках в упрощенной форме в этой главе и подробно в приложении 8.8:

- Рисунок 3.21 для 199 подотчетных объектов, сжигающих преимущественно ТКО и периодически контролирующих ПХДД/Ф. Из-за большого количества представленных точек данных соответствующие подробные графики разделены на три рисунка для удобства чтения: рисунки 8.111, 8.112 и 8.113.
- Рисунок 3.22, для 45 подотчетных объектов, сжигающих преимущественно ДНОО и периодически отслеживающих ПХДД/Ф. Соответствующий подробный график – рисунок 8.114.

Для каждого диапазона концентраций выбросов, представленного на горизонтальной оси, на круговых диаграммах внизу показаны доли подотчетных объектов, оснащенных неподвижным слоем адсорбции, без неподвижного адсорбционного слоя (АС) и мокрого скруббера, а также без фиксированного адсорбционного слоя и технологий сухой ОДГ, среди тех, которые достигают уровней выбросов в данном диапазоне.

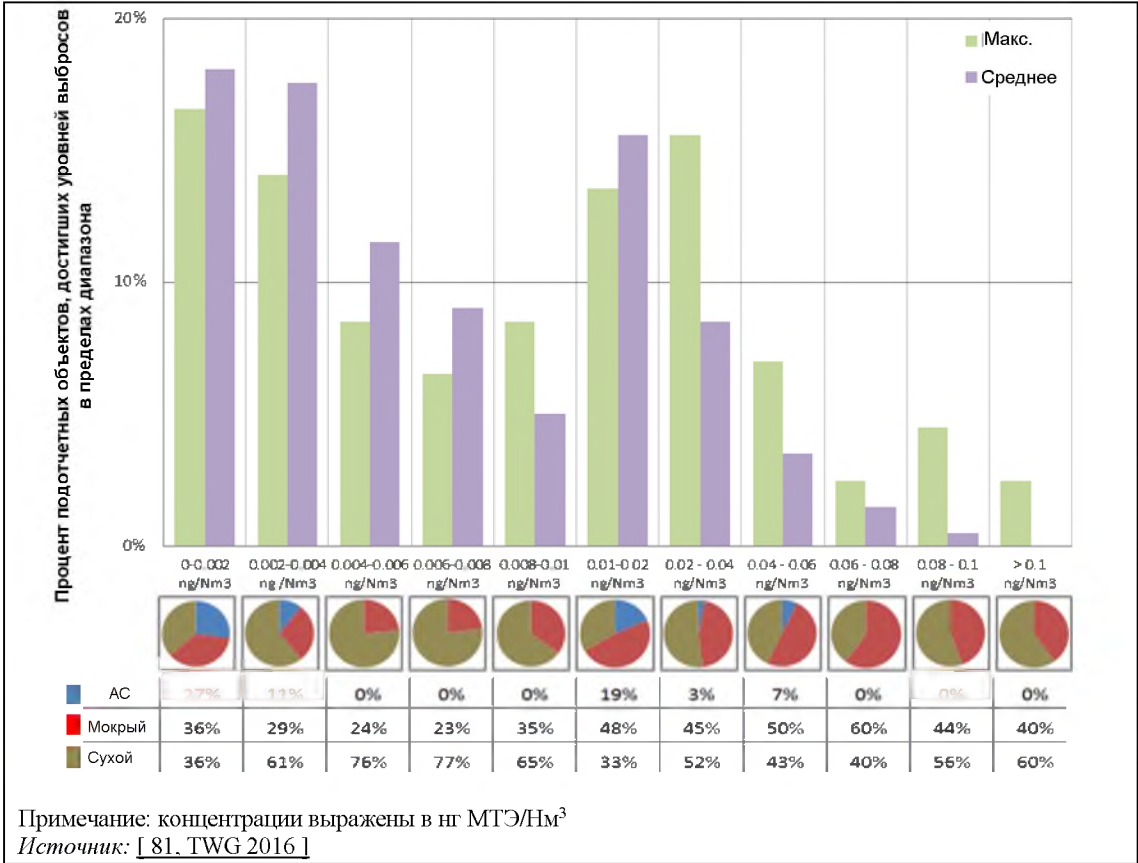


Рисунок 3.21: Периодически контролируемые выбросы ПХДД/Ф в атмосферный воздух из подотчетных объектов, сжигающих преимущественно ТКО

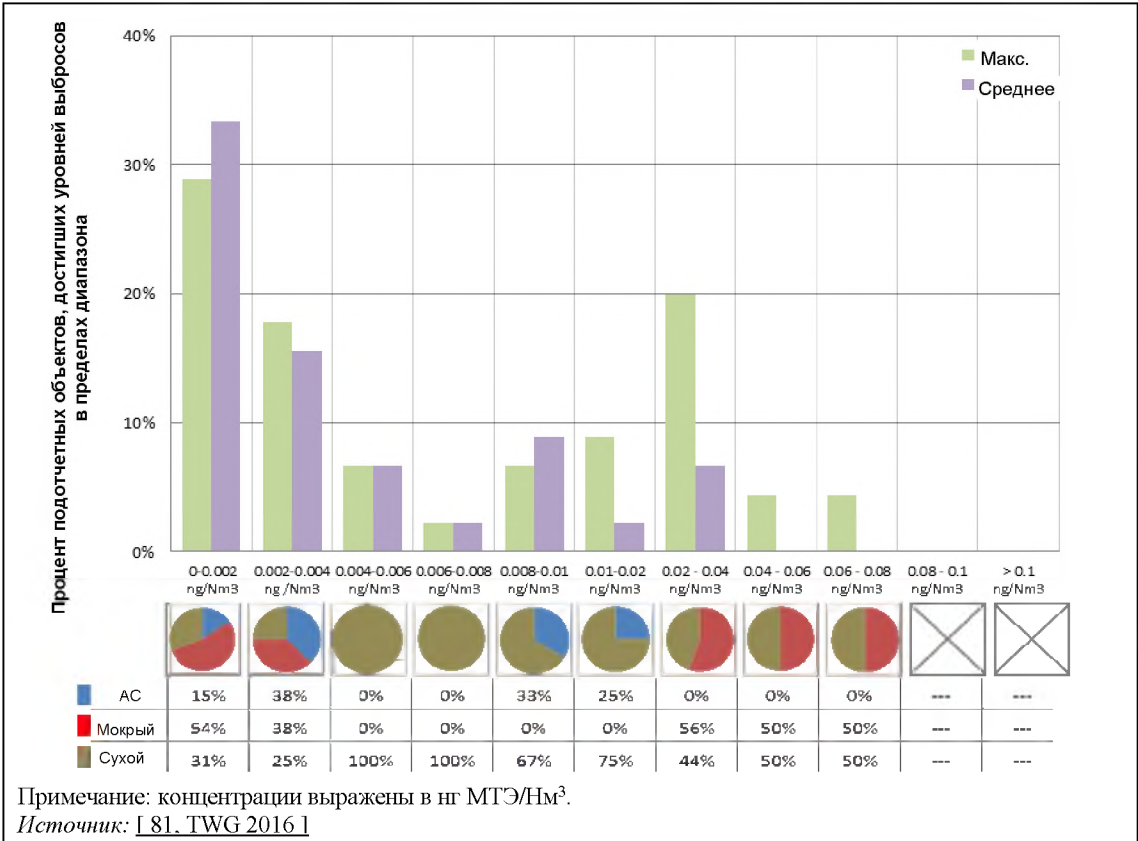


Рисунок 3.22: Периодически контролируемые выбросы ПХДД/Ф в атмосферный воздух из подотчетных объектов, сжигающих преимущественно ДНОО

Уровни выбросов колеблются между близкими к пределу количественного определения и $0,24 \text{ нг МТЭ/Нм}^3$, при этом на подавляющем большинстве подотчетных объектов регистрируются уровни ниже $0,06 \text{ нг МТЭ/Нм}^3$. Все установки, оборудованные неподвижным адсорбционным слоем, демонстрируют уровни выбросов ниже $0,05 \text{ нг МТЭ/Нм}^3$.

Представленные данные не демонстрируют четкой корреляции между зарегистрированными уровнями выбросов и техническим оснащением установок, типом и количеством используемого реагента, сроком эксплуатации и размером установки или типом печи.

Описанные до настоящего времени данные о выбросах ПХДД/Ф касаются только выбросов, измеряемых периодически с типичным (кратковременным) временем отбора проб 6–8 часов. Вместе с тем растет и опыт долгосрочных измерений выбросов ПХДД/Ф, отобранных в периоды, обычно составляющие 2–4 недели.

В целях сравнения уровней выбросов, измеренных в рамках краткосрочной и долгосрочной выборки, представлены данные о выбросах, зарегистрированных 142 подотчетными объектами в Бельгии и Франции, которые выполняли как долгосрочные, так и краткосрочные измерения в один и тот же период времени. Анализ данных представлен в приложении 8.9.

Полихлорированные дифенилы (ПХД) и полиароматические углеводороды (ПАУ) удаляются теми же технологиями, что и ПХДД/Ф, что означает, что если система очистки дымовых газов эффективна для ПХДД/Ф, то также эффективно будет работать с ПХД и ПАУ.

Данные о выбросах диоксиноподобных ПХБ, основанные на периодических измерениях, показаны в приложении 8.8 на следующих рисунках:

- Рисунок 8.115, для 42 подотчетных объектов, сжигающих преимущественно ТКО;
- Рисунок 8.116, для 17 подотчетных объектов, сжигающих преимущественно ДНОО;
- Рисунок 8.117 демонстрирует выбросы ПХДД/Ф и диоксиноподобных ПХБ вместе для случаев, когда обе группы веществ были измерены в одном и том же образце, независимо от преобладающего типа сжигаемых отходов.

Уровни выбросов в основном низкие и ниже уровней ПХДД/Ф. Тем не менее, существует значительное количество станций, сообщающих о значительно более высоких выбросах, до 3 нг ВОЗ-ТЭ для ТКО и до 56 нг ВОЗ-ТЭ для ДНОО. Тем не менее, эти высокие значения, возможно, искажаются (например, не нормированы для ТЭФ).

Данные о выбросах ПАУ и БАП, основанные на периодических измерениях, показаны в приложении 8.8 на следующих рисунках:

- Рисунок 8.118, выбросы ПАУ от 44 подотчетных объектов, сжигающих преимущественно ТКО;
- Рисунок 8.119, выбросы ПАУ от 13 подотчетных объектов, сжигающих преимущественно ДНОО;
- Рисунок 8.120, выбросы БАП от 48 подотчетных объектов, сжигающих преимущественно ТКО;
- Рисунок 8.121, выбросы БАП от 19 подотчетных объектов, сжигающих преимущественно ДНОО.

Уровни выбросов варьируются от $0,01 \text{ нг/Нм}^3$ до 50 мкг/Нм^3 для ПАУ и от $0,004 \text{ нг/Нм}^3$ до 1 мкг/Нм^3 для БАП.

Ртуть

Подавляющее большинство установок использует активированный уголь либо в качестве системы с неподвижным слоем, либо в системе впрыска активированного угля с вовлеченным потоком. Норма расхода, а также качество активированного угля (например, бромированного или пропитанного серой) непосредственно влияют на уровни выбросов. Другими менее часто используемыми технологиями являются использование цеолитов или улавливание ртути в кислотном мокром скруббере, который может служить поглотителем ртути, если она присутствует в форме хлорида Hg (II) . Ртуть, которая была перенесена из газового потока в раствор скруббера, затем может быть удалена с помощью станции очистки сточных вод.

Если ртуть присутствует в металлической форме, необходимо использовать окислители, такие как впрыск бромированного активированного угля или добавление брома в котле (см. технологии удаления ртути). [74, TWG 2004]

При определенных условиях (например, высокая скорость ввода ртути) пределы пропускной способности систем ОДГ могут быть превышены, что приведет к временно повышенным выбросам ртути. ТКО обычно содержит небольшое количество ртути. Однако некоторые кратковременные пики выбросов ртути могут наблюдаться, если превышена буферная емкость или способность реагировать на пиковые концентрации системы очистки дымовых газов. Они обычно связаны с попаданием в состав ТКО батарей, электрических выключателей, термометров, лабораторных отходов и т.д. Это может быть отражено случаями, когда уровни производительности подотчетного объекта для различных периодов усреднения показывают большие вариации.

Данные о выбросах ртути основаны либо на непрерывных, либо на периодических измерениях и показаны на следующих рисунках в упрощенной форме в этой главе, а также подробно в приложениях 8.6 и 8.8; получасовые уровни выбросов приведены в приложении 8.7:

- Рисунок 3.23, для уровней выбросов 171 подотчетных объектов, сжигающих преимущественно ТКО и периодически отслеживающих Hg. Из-за большого количества представленных точек данных соответствующие подробные графики разделены на три рисунка для удобства чтения: рисунки 8.122, 8.123 и 8.124.
- Рисунок 3.24, для суточных и годовых уровней выбросов 53 подотчетных объектов, сжигающих преимущественно ТКО и непрерывно контролирующих содержание ртути. Соответствующий подробный график – рисунок 8.31.
- Рисунок 3.25, для получасовых уровней выбросов 53 подотчетных объектов, сжигающих преимущественно ТКО и непрерывно контролирующих уровень ртути. Соответствующий подробный график – рисунок 8.81.
- Рисунок 3.26, для ежемесячных уровней выбросов 53 подотчетных объектов, сжигающих преимущественно ТКО и непрерывно контролирующих уровень ртути. Соответствующий подробный график – рисунок 8.83.
- Рисунок 3.27, для уровней выбросов 35 подотчетных объектов, сжигающих преимущественно ДНОО и периодически отслеживающих Hg. Соответствующий подробный график – рисунок 8.125.
- Рисунок 3.28, для суточных и годовых уровней выбросов 19 подотчетных объектов, сжигающих преимущественно ДНОО и постоянно отслеживающих Hg. Соответствующий подробный график – рисунок 8.82.
- Рисунок 3.29, для получасовых уровней выбросов 19 подотчетных объектов, сжигающих преимущественно ДНОО и непрерывно контролирующих Hg. Соответствующий подробный график – рисунок 8.84.
- Рисунок 3.30, для ежемесячных уровней выбросов 19 подотчетных объектов, сжигающих преимущественно ДНОО и непрерывно контролирующих Hg. Соответствующий подробный график – рисунок 8.32.

Для каждого диапазона концентраций выбросов, представленного на горизонтальной оси, на круговых диаграммах внизу показаны доли подотчетных объектов, оснащённых неподвижным слоем адсорбции, без неподвижного слоя адсорбции и мокрого скруббера, а также без фиксированного адсорбционного слоя и технологий сухой ОДГ, среди тех, которые достигают уровней выбросов в данном диапазоне.

Месячные уровни, представленные на рисунке 3.26 и рисунке 3.30, получены на основе данных непрерывного мониторинга и дают представление об уровнях выбросов, зарегистрированных при измерении ртути с периодом усреднения, типичным для долгосрочных методов отбора проб. Для месячных уровней, на которые вряд ли влияют краткосрочные пики, представлен только «базовый» режим фильтрации.

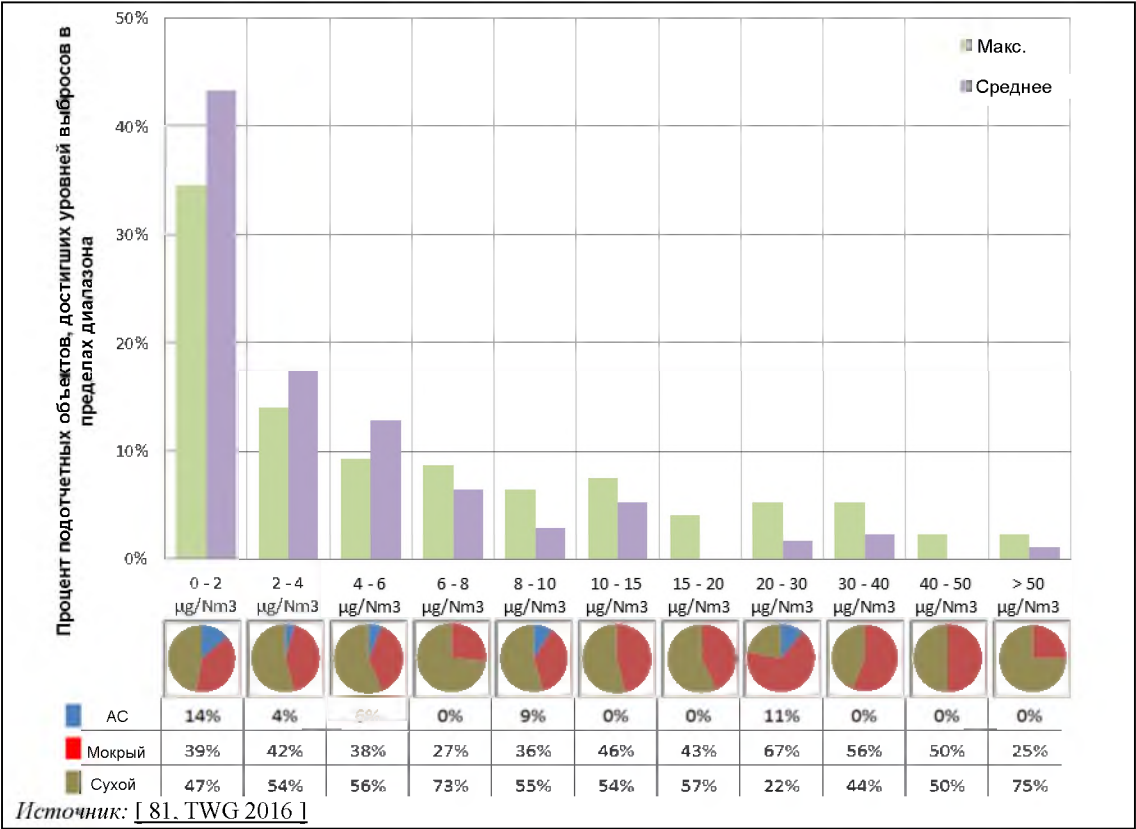


Рисунок 3.23: Периодически контролируемые выбросы ртути в атмосферный воздух из подотчетных объектов, сжигающих преимущественно ТКО

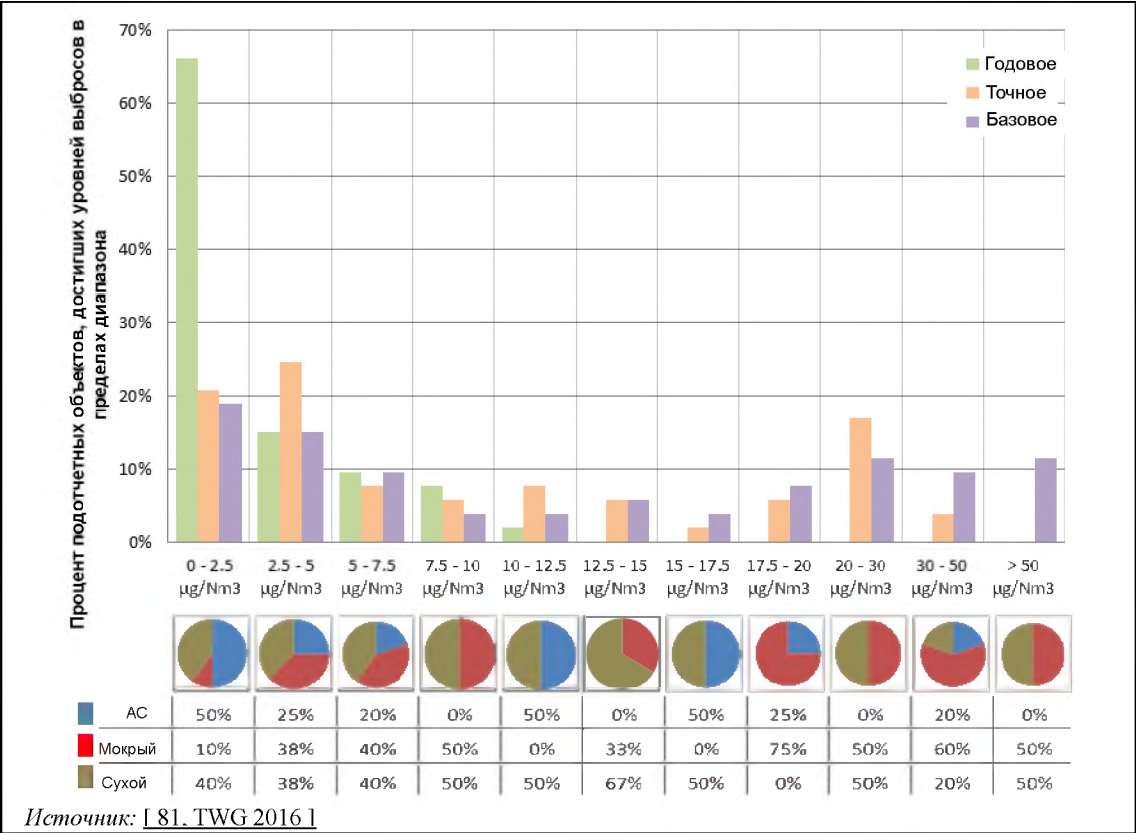


Рисунок 3.24: Постоянно контролируемые выбросы ртути в атмосферный воздух из подотчетных объектов, сжигающих преимущественно ТКО: ежедневные и годовые уровни выбросов

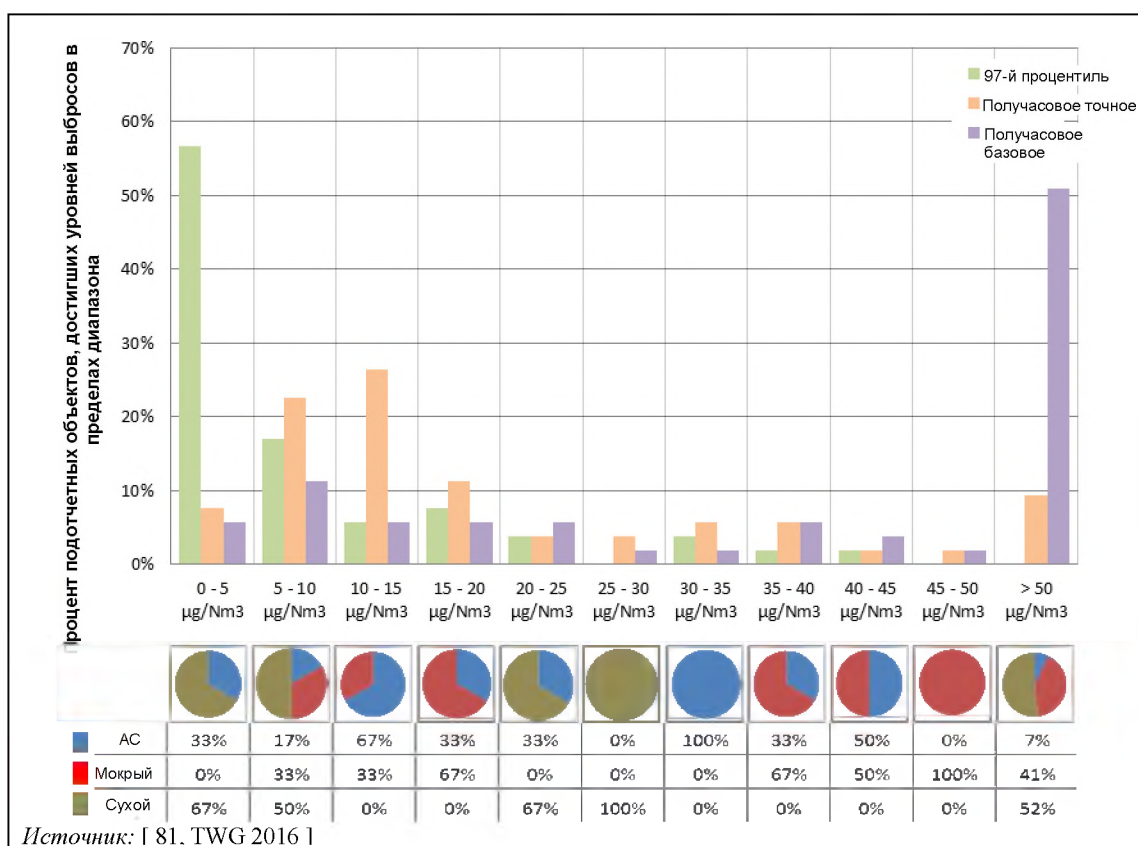


Рисунок 3.25: Постоянно контролируемые выбросы ртути в атмосферный воздух из подотчетных объектов, сжигающих преимущественно ТКО: получасовые уровни выбросов

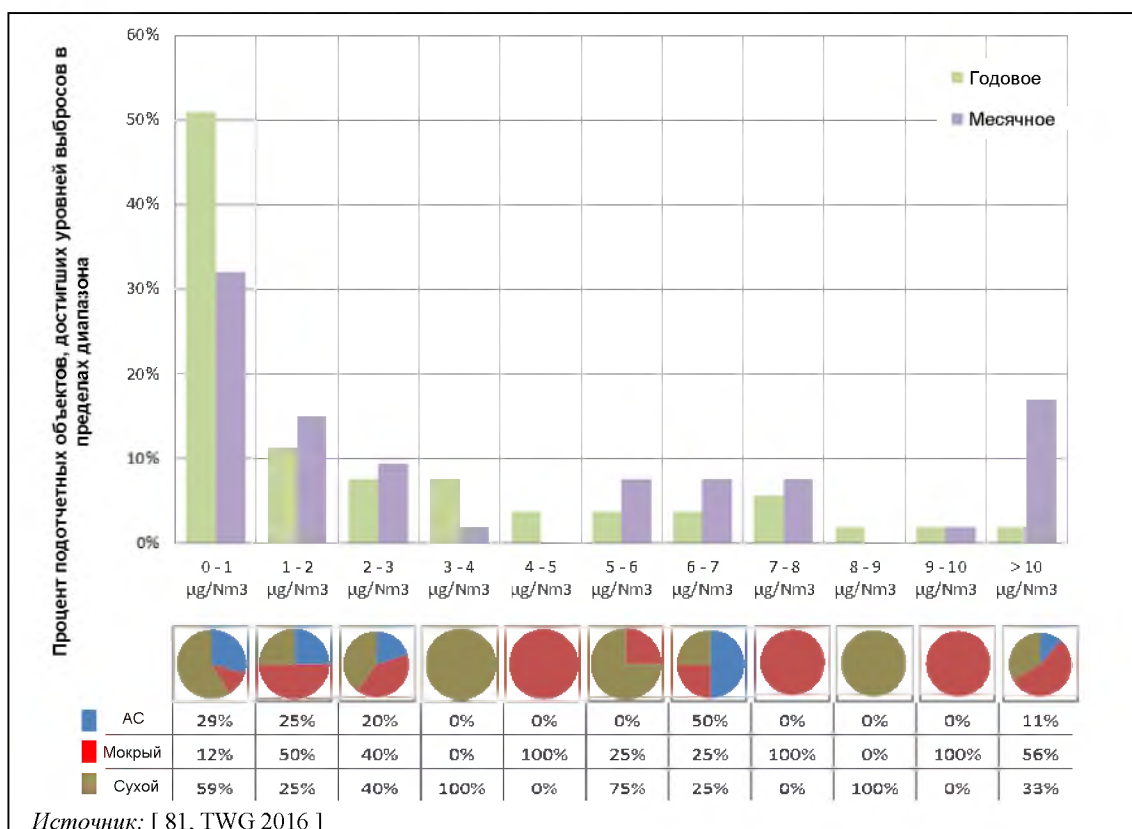
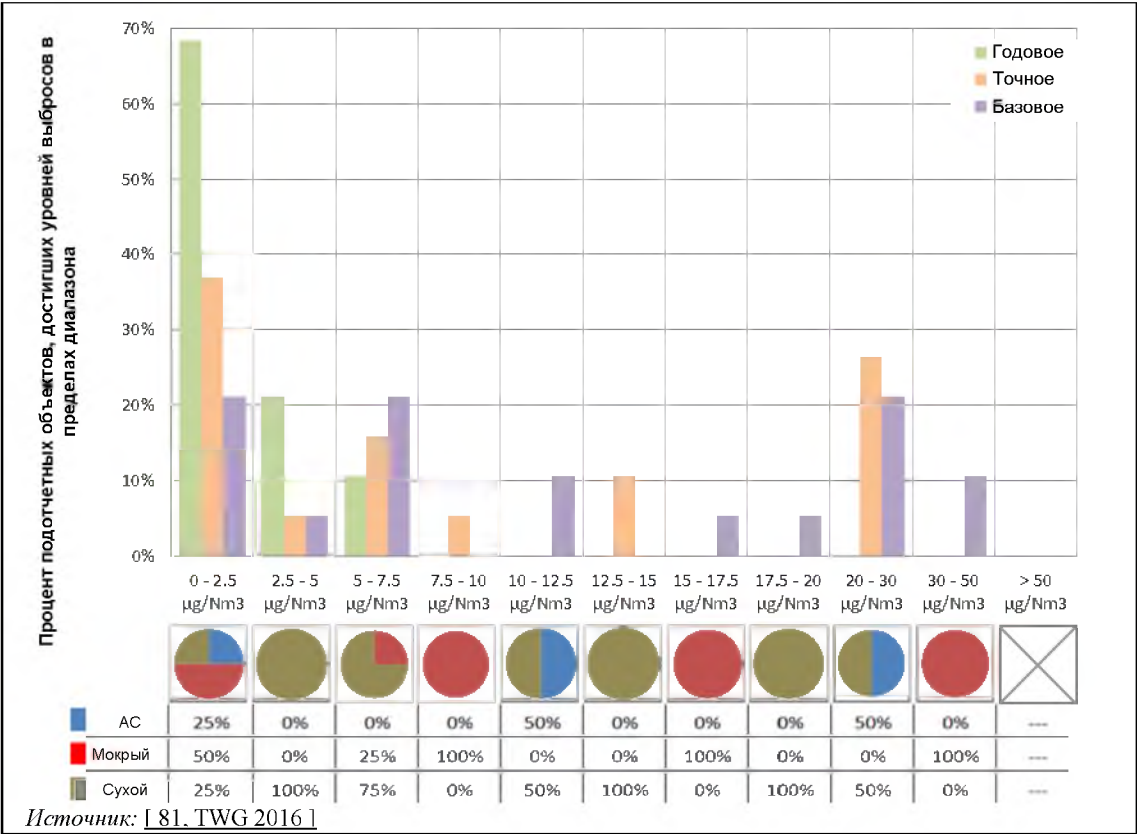


Рисунок 3.26: Постоянно контролируемые выбросы ртути в атмосферный воздух из подотчетных объектов, сжигающих преимущественно ТКО: месячные уровни выбросов



выбросов

Рисунок 3.27: Периодически контролируемые выбросы ртути в атмосферный воздух из подотчетных объектов, сжигающих преимущественно ДНОО

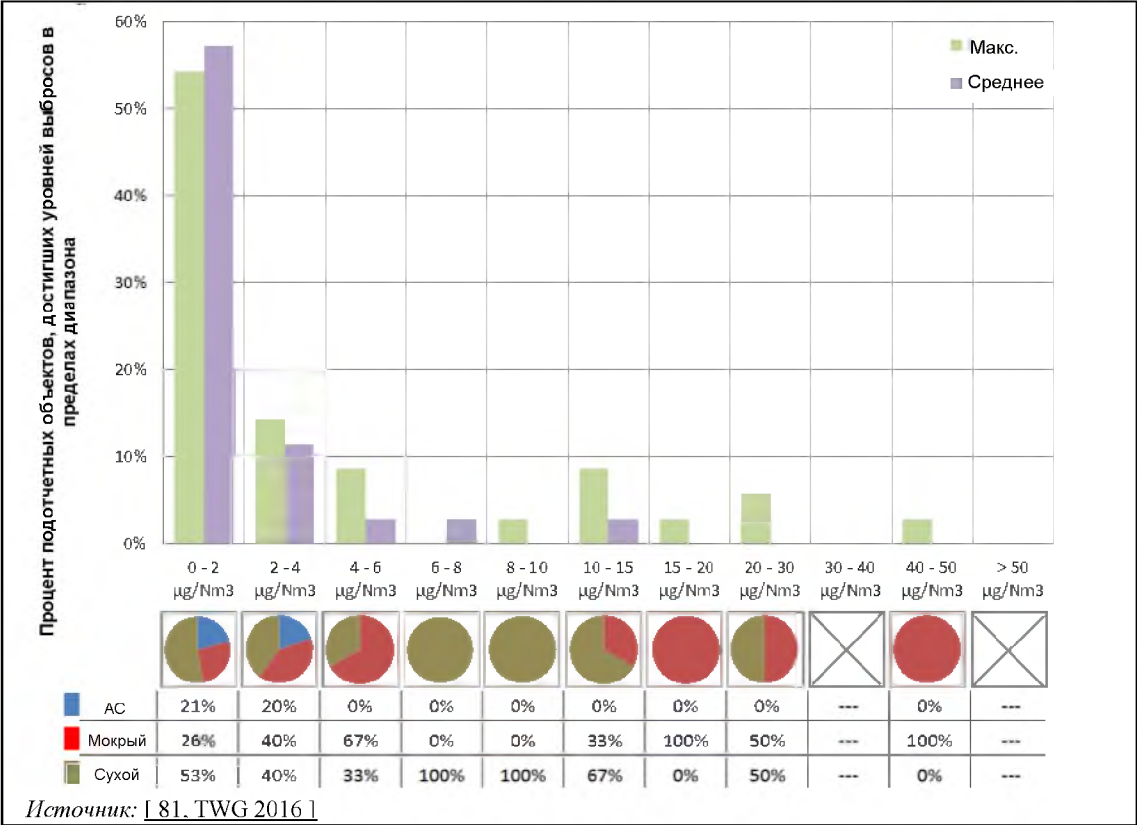


Рисунок 3.28: Постоянно контролируемые выбросы ртути в атмосферный воздух из подотчетных объектов, сжигающих преимущественно ДНОО: ежедневные и годовые уровни выбросов

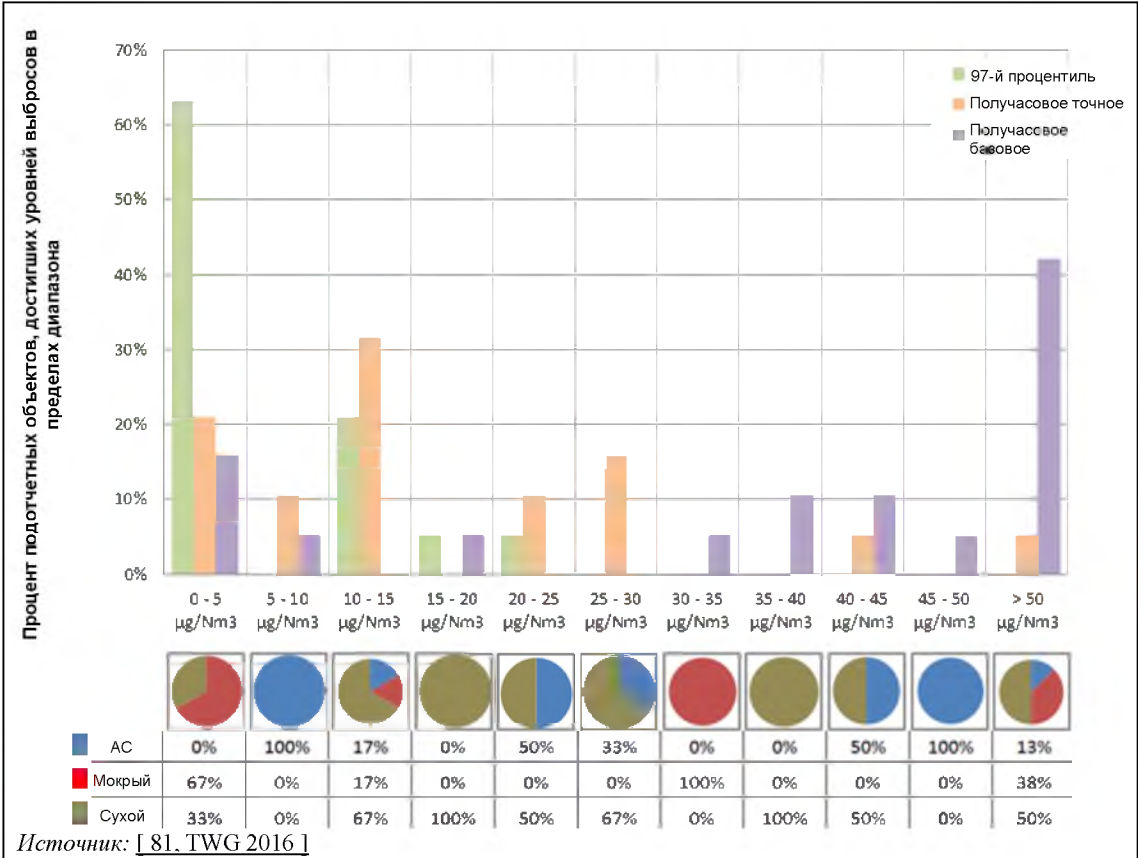


Рисунок 3. 29: Постоянно контролируемые выбросы ртути в атмосферный воздух из подотчетных объектов, сжигающих преимущественно ДНОО: получасовые уровни выбросов

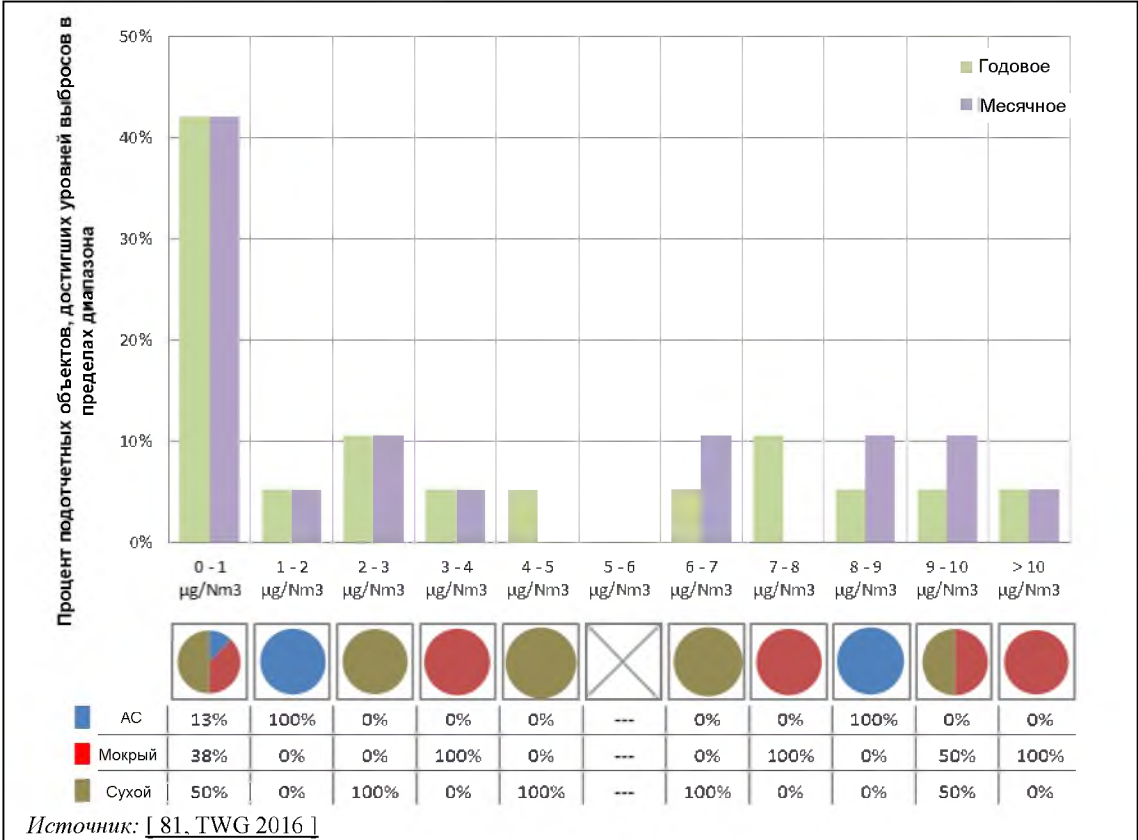


Рисунок 3.30: Постоянно контролируемые выбросы ртути в атмосферный воздух из подотчетных объектов, сжигающих преимущественно ДНОО: месячные

уровни выбросов

Уровни выбросов варьируются от близкого к пределу количественного определения до 0,01 мг/Нм³ для среднегодового значения, 0,018 мг/Нм³ для максимального среднесуточного значения и 0,036 мг/Нм³ для максимального среднесуточного значения («точная» фильтрация данных). В некоторых случаях максимальное среднесуточное значение, полученное с помощью «базовой» фильтрации данных, может быть существенно выше (до 0,09 мг/Нм³), что может отражать не только случаи с высоким содержанием ртути, но и ситуации за пределами НУЭ, где среднесуточное значение обычно включает лишь несколько получасовых периодов с повышенными уровнями ртути. Установки, на которых производится измерение ртути, периодически сообщают средние значения за период отбора проб, как правило, ниже 0,025 мг/Нм³, за некоторыми исключениями, которые включают установки, не сообщающие об использовании реагентов для контроля выбросов ртути.

Установки, оснащенные неподвижным адсорбционным слоем, обычно сообщают об уровнях выбросов, которые являются стабильными с максимальными среднесуточными значениями, относительно нечувствительными к фильтрации данных, в основном ниже 0,01 мг/Нм³ и во всех случаях ниже 0,025 мг/Нм³. Эти уровни также поддерживаются как средние значения за период отбора проб, сообщаемые предприятиями, которые осуществляют периодические измерения ртути.

Представленные данные не демонстрируют четкой корреляции между зарегистрированными уровнями выбросов и техническим оснащением установок, типом и количеством используемого реагента, сроком эксплуатации и размером установки или типом печи.

Сурьма, мышьяк, хром, кобальт, медь, свинец, марганец, никель и ванадий

Для уменьшения выбросов металлов, связанных с пылью, в основном используются те же технологии, что и для удаления пыли. Данные о выбросах [Sb+As+Cr+Co+Cu+Pb+Mn+Ni+V] основаны на периодических измерениях и показаны на следующих рисунках в упрощенной форме в этой главе и подробно в приложении 8.8:

- Рисунок 3.31 для 205 подотчетных объектов, сжигающих преимущественно ТКО и периодически контролирующих выбросы Sb+As+Cr+Co+Cu+Pb+Mn+Ni+V. Из-за большого количества представленных точек данных соответствующий подробный график разделен на три рисунка для удобства чтения: рисунки 8.126, 8.127 и 8.128.
- Рисунок 3.32, для 54 подотчетных объектов, сжигающих преимущественно ДНОО и периодически контролирующих выбросы Sb+As+Cr+Co+Cu+Pb+Mn+Ni+V. Соответствующий подробный график – рисунок 8.129.

Для каждого диапазона концентраций выбросов, представленного на горизонтальной оси, на круговых диаграммах внизу показаны доли подотчетных объектов, оснащенных рукавным фильтром и другими технологиями (такими как ЭСФ), среди тех, которые достигают уровней выбросов в данном диапазоне.

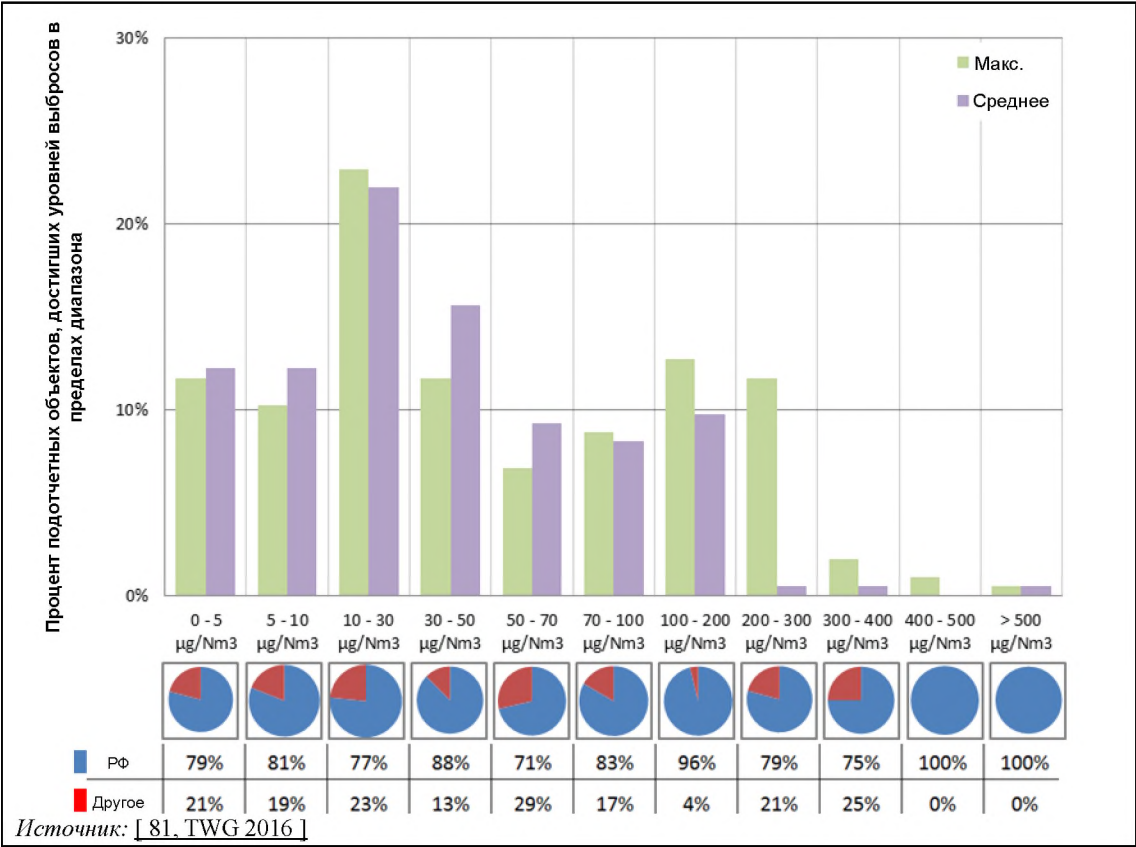


Рисунок 3.31: Периодически контролируемые выбросы Sb+As+Cr+Co+Cu+Pb+Mn+Ni+V в атмосферный воздух из подотчетных объектов, сжигающих преимущественно ТКО

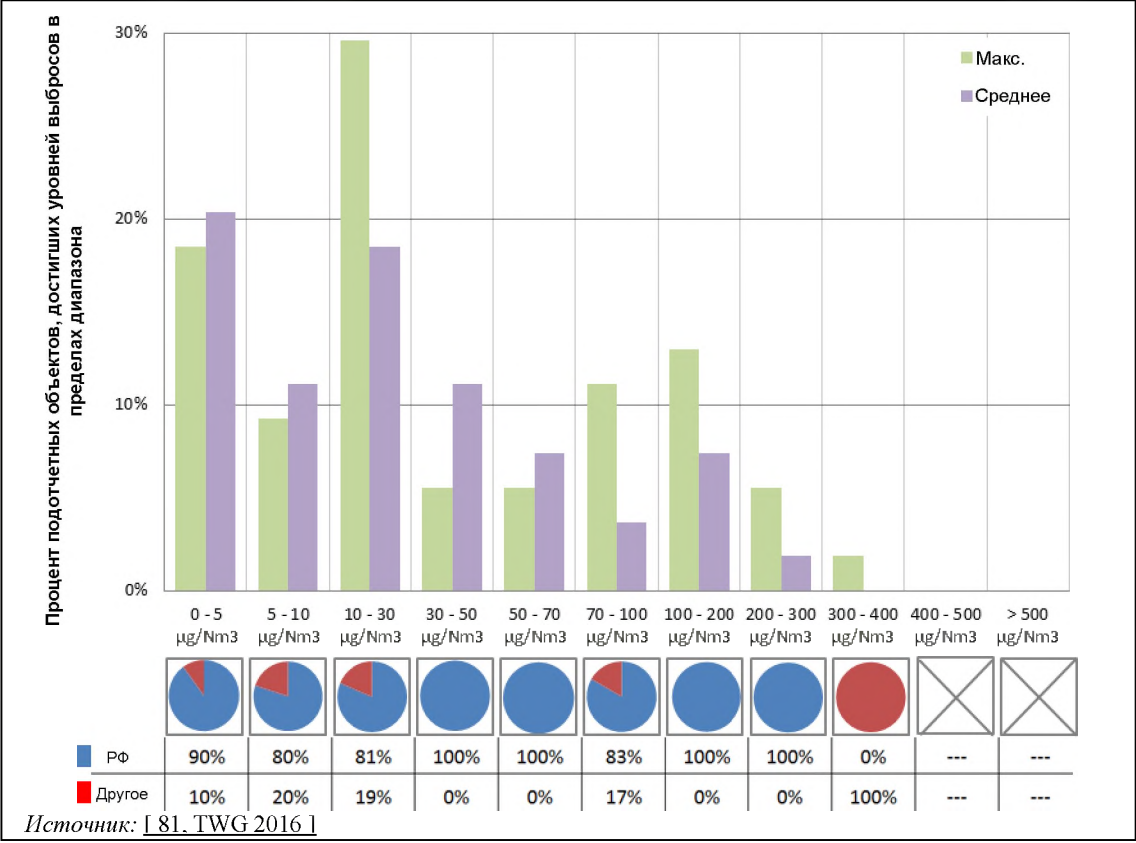


Рисунок 3.32: Периодически контролируемые выбросы Sb+As+Cr+Co+Cu+Pb+Mn+Ni+V в атмосферный воздух из подотчетных объектов, сжигающих преимущественно ТКО

ДНОО

Уровни выбросов колеблются между близкими к пределу количественного определения и 0,3 мг/Нм³, за исключением шести подотчетных объектов, показывающих уровни между 0,3 мг/Нм³ и 0,5 мг/Нм³ – максимум средних значений за период отбора проб; один подотчетный объект сообщил о максимальном уровне около 5 мг/Нм³.

Представленные данные не демонстрируют четкой корреляции между зарегистрированными уровнями выбросов и техническим оснащением установок, типом и количеством используемого реагента, сроком эксплуатации и размером установки или типом печи.

Кадмий и таллий

Для уменьшения выбросов металлов, связанных с пылью, в основном используются те же технологии, что и для удаления пыли. Данные о выбросах [Cd+Tl] основаны на периодических измерениях и показаны на следующих рисунках в упрощенной форме в этой главе и подробно в приложении 8.8:

- Рисунок 3.33 для 197 подотчетных объектов, сжигающих преимущественно ТКО и периодически контролирующих выбросы Cd+Tl. Из-за большого количества представленных точек данных соответствующий подробный график разделен на три рисунка для удобства чтения: рисунки 8.130, 8.131 и 8.132.
- Рисунок 3.34 для 45 подотчетных объектов, сжигающих преимущественно ДНОО и периодически контролирующих выбросы Cd+Tl. Соответствующий подробный график – рисунок 8.133.

Для каждого диапазона концентраций выбросов, представленного на горизонтальной оси, на круговых диаграммах внизу показаны доли подотчетных объектов, оснащенных рукавным фильтром и другими технологиями (такими как ЭСФ), среди тех, которые достигают уровней выбросов в данном диапазоне.

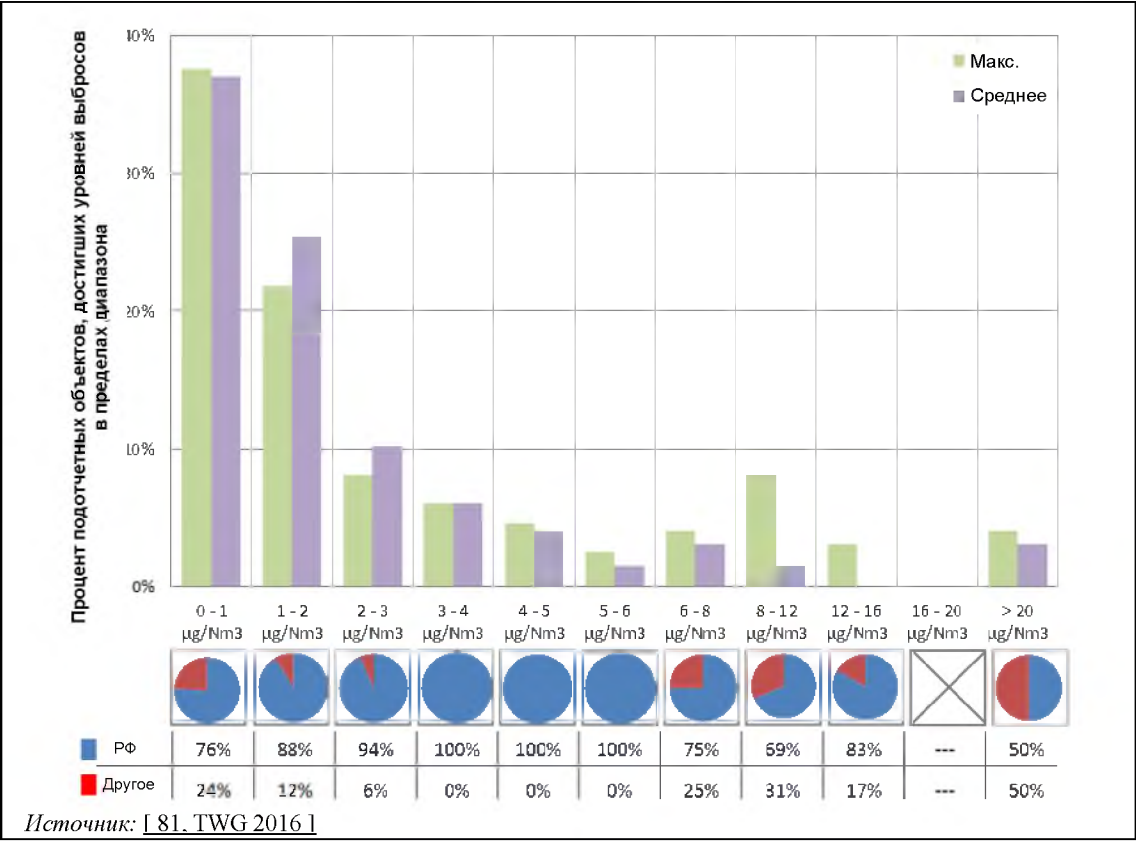


Рисунок 3.33: Периодически контролируемые выбросы Cd+Tl в атмосферный воздух из подотчетных объектов, сжигающих преимущественно ТКО

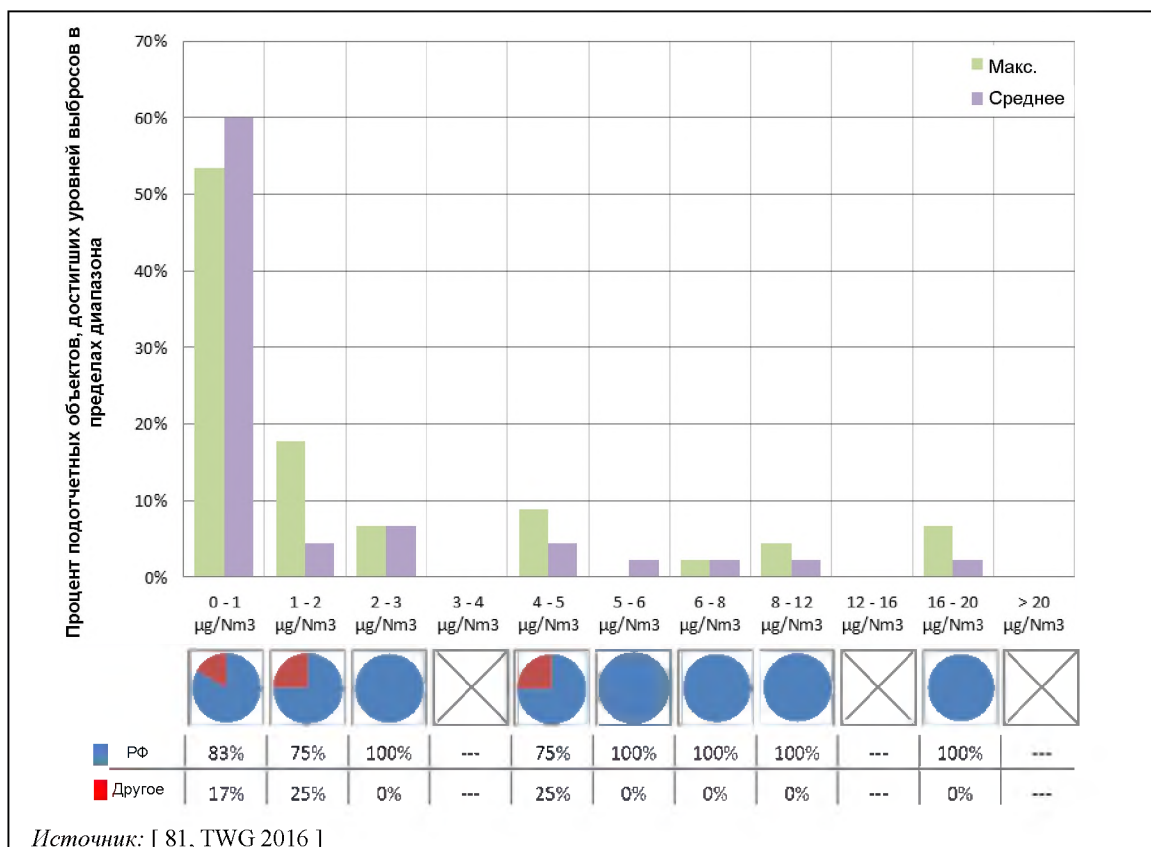


Рисунок 3.34: Периодически контролируемые выбросы Cd+Pb в атмосферный воздух из подотчетных объектов, сжигающих преимущественно ДНОО

Уровни выбросов почти всегда очень низки и колеблются между близким к пределу количественного определения и 0,02 мг/Нм³, за исключением шести подотчетных объектов, показывающих уровни от 0,02 мг/Нм³ до 0,1 мг/Нм³, как максимум средних значений за период выборки; один подотчетный объект сообщил о максимальном уровне выше 1 мг/Нм³.

Представленные данные не демонстрируют четкой корреляции между зарегистрированными уровнями выбросов и техническим оснащением установок, типом и количеством используемого реагента, сроком эксплуатации и размером установки или типом печи.

3.2.2.2 Выбросы в атмосферный воздух при сжигании осадка сточных вод

Хлористый водород и фтористый водород

Установки для сжигания осадка сточных вод (ОСВ), которые участвовали в сборе данных 2016 года, оснащены либо мокрыми, либо сухими системами; ни одна из установок не представила данные об использовании полумокрых или полусухих систем.

Данные о выбросах HCl из 17 подотчетных объектов, сжигающих преимущественно ОСВ, основанные на постоянных измерениях, показаны на рисунке 3.35 в упрощенном виде. Соответствующие подробные графики представлены на рисунке 8.33 приложения 8.6 для суточных и годовых уровней выбросов и на рисунке 8.85 приложения 8.7 для получасовых уровней выбросов.

Для каждого диапазона концентраций выбросов, представленного на горизонтальной оси, на круговых диаграммах внизу показаны доли подотчетных объектов, оснащенных мокрым скруббером и другими технологиями (в основном ВСС), среди тех, которые достигают уровней выбросов в данном диапазоне.

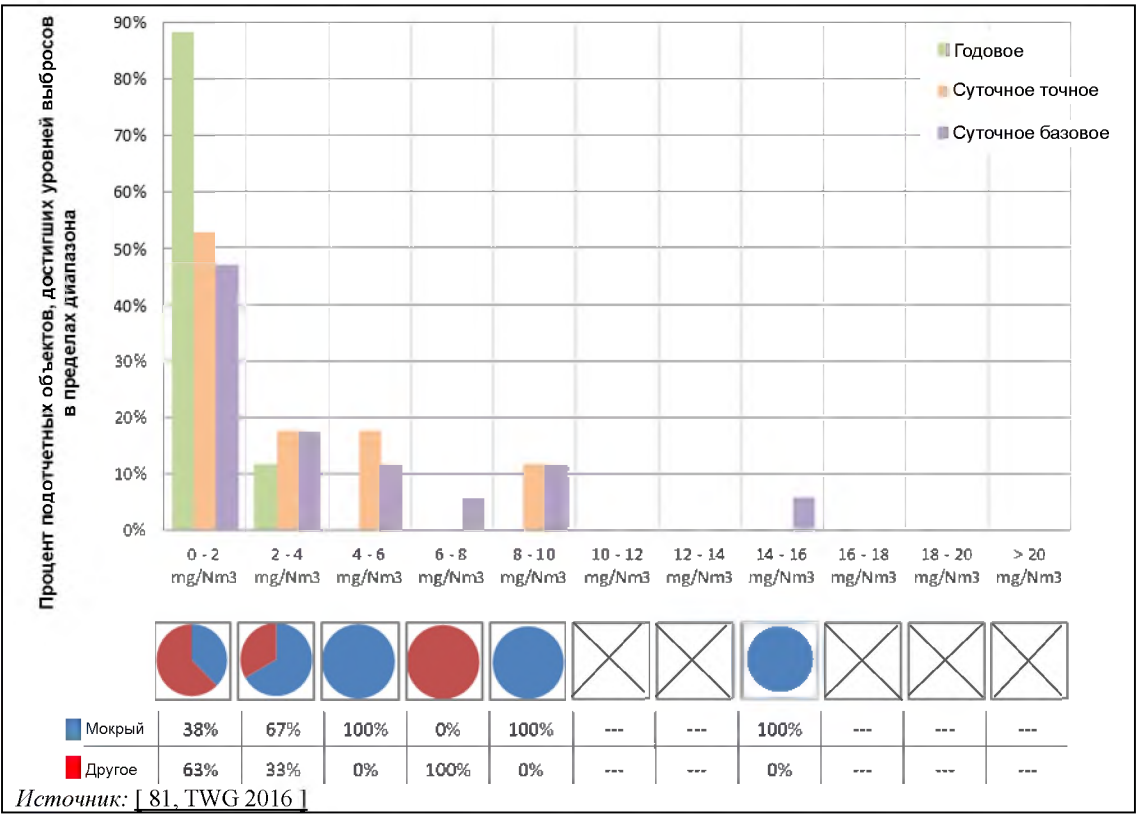


Рисунок 3.35: Постоянно контролируемые выбросы HCl в атмосферный воздух из подотчетных объектов, сжигающих преимущественно ОСВ

Уровни выбросов варьируются от близкого к пределу количественного определения до 8 мг/Нм³ для среднегодового значения и 10 мг/Нм³ для максимального среднесуточного значения («точная» фильтрация данных). В большинстве случаев максимальное суточное среднее значение, полученное с помощью «базовой» фильтрации данных, существенно не отличается от значения, полученного с помощью «точной» фильтрации данных; наиболее заметным исключением является установка DE87.2R, где максимальное среднесуточное значение возрастает с 5,8 мг/Нм³ до 14,8 мг/Нм³ в сутки, когда выбросы, зарегистрированные при запуске, существенно превышают обычные уровни, а среднесуточное значение включает только ограниченное число получасовых периодов.

Представленные данные не демонстрируют четкой корреляции между зарегистрированными уровнями выбросов и техническим оснащением установок, типом и количеством используемого реагента, сроком эксплуатации и размером установки или типом печи.

Данные о выбросах фтористого водорода (HF), основанные либо на непрерывных, либо на периодических измерениях, показаны на следующих рисунках в упрощенной форме в этой главе и подробно в приложениях 8.6 и 8.8; получасовые уровни выбросов приведены в приложении 8.7:

- Рисунок 3.36, для 6 подотчетных объектов, сжигающих преимущественно ОСВ и периодически контролирующих HF. Соответствующий подробный график – рисунок 8.134.
- Рисунок 3.37, для 7 подотчетных объектов, сжигающих преимущественно ОСВ и постоянно контролирующих HF. Соответствующие подробные графики представлены на рисунке 8.34 для суточных и годовых уровней выбросов и на рисунке 8.86 для получасовых уровней выбросов.

Для каждого диапазона концентраций выбросов, представленного на горизонтальной оси, на круговых диаграммах внизу показаны доли подотчетных объектов, оснащенных мокрым скруббером и другими технологиями (в основном ВСС), среди тех, которые достигают уровней выбросов в данном диапазоне.

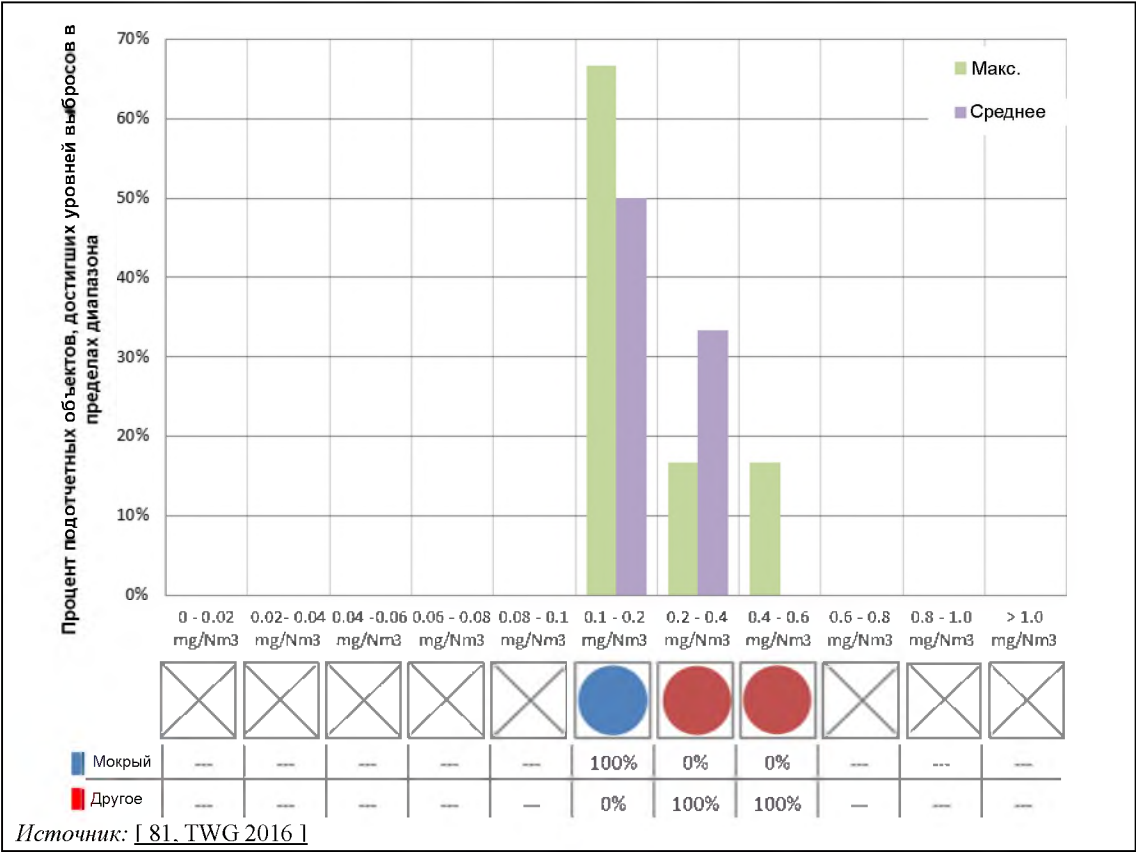


Рисунок 3.36: Периодически контролируемые выбросы HF в атмосферный воздух из подотчетных объектов, сжигающих преимущественно ОСВ

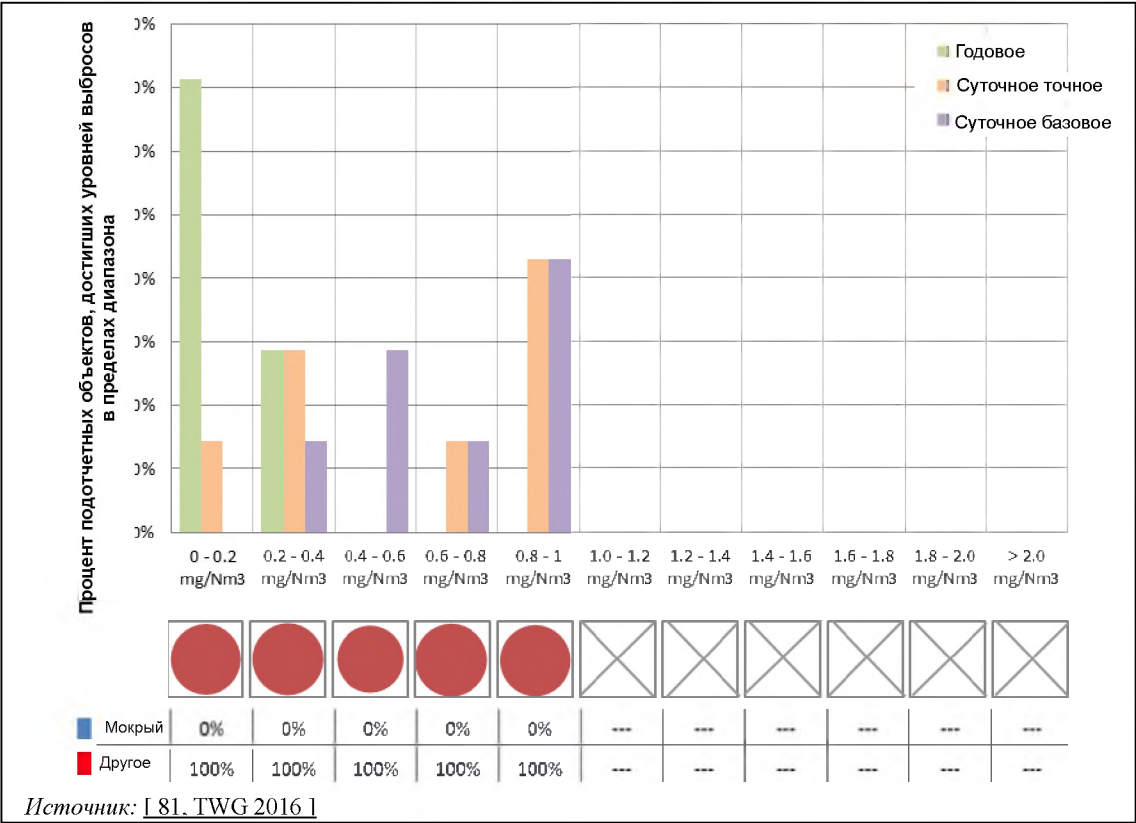


Рисунок 3.37: Постоянно контролируемые выбросы HF в атмосферный воздух из подотчетных объектов, сжигающих преимущественно ОСВ

Уровни выбросов варьируются от близких к пределу количественного определения до $0,3 \text{ мг/Нм}^3$ для среднегодового значения и $1,2 \text{ мг/Нм}^3$ для максимального среднесуточного или среднего значения за период выборки. Максимальное суточное среднее значение, полученное с помощью «базовой» фильтрации данных, существенно не отличается от значения, полученного с помощью «точной» фильтрации данных. На одной установке уровень выбросов превышает 1 мг/Нм^3 (максимальное среднесуточное значение – $1,2 \text{ мг/Нм}^3$), тогда как на остальных установках максимальные среднесуточные значения ниже $0,9 \text{ мг/Нм}^3$.

В основном, установки, на которых проводится постоянный контроль HF, оснащены ВСС и используют NaHCO_3 в качестве реагента, в то время как установки с периодическим контролем HF оснащены ВСС или мокрым скруббером и в основном используют в качестве реагента NaOH .

Представленные данные не демонстрируют четкой корреляции между зарегистрированными уровнями выбросов и сроком эксплуатации или размером установки. Все установки являются установками для сжигания в кипящем (псевдоожиженном) слое.

Диоксид серы

Используемые типы систем очистки дымовых газов такие же, как и для HCl , с основным отличием в том, что мокрые скрубберы работают при слегка щелочном pH (обычно 7–8).

Данные о выбросах SO_2 от 17 подотчетных объектов, сжигающих преимущественно ОСВ, основанные на постоянных измерениях, в упрощенном виде показаны на рисунке 3.38. Соответствующие подробные графики представлены на рисунке 8.35 приложения 8.6 для суточных и годовых уровней выбросов и на рисунке 8.87 приложения 8.7 для получасовых уровней выбросов.

Для каждого диапазона концентраций выбросов, представленного на горизонтальной оси, на круговых диаграммах внизу показаны доли подотчетных объектов, оснащенных мокрым скруббером и другими технологиями (в основном ВСС), среди тех, которые достигают уровней выбросов в данном диапазоне

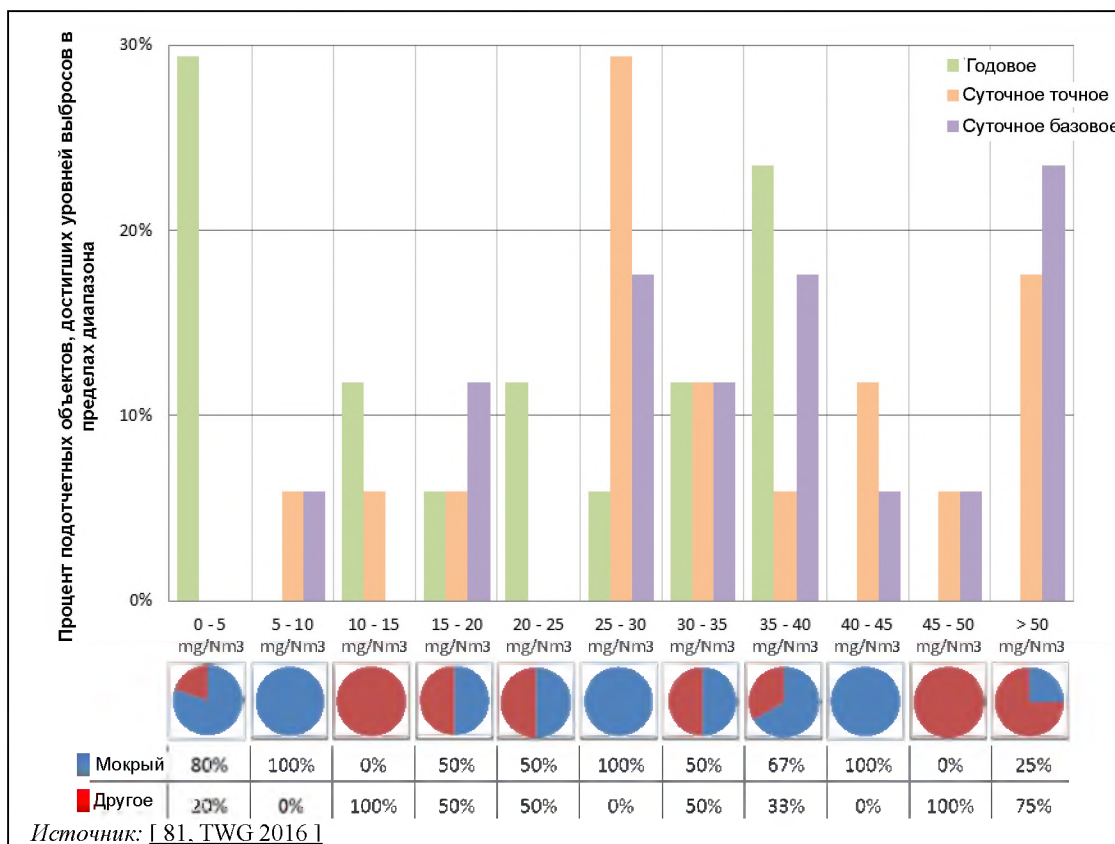


Рисунок 3.38: Постоянно контролируемые выбросы SO_2 в атмосферный воздух из подотчетных объектов, сжигающих преимущественно ОСВ

Уровни выбросов варьируются от близкого к пределу количественного определения до 40 мг/Нм³ для среднегодового значения и 72 мг/Нм³ для максимального среднесуточного значения. График показывает, что установки, оснащенные комбинацией технологий ВСС и мокрым скруббером, обычно демонстрируют уровни выбросов ниже 30 мг/Нм³ для максимального среднесуточного значения.

Представленные данные не демонстрируют четкой корреляции между зарегистрированными уровнями выбросов и типом, и количеством используемого реагента, а также сроком эксплуатации или размером установки. Все установки являются установками для сжигания в кипящем (псевдоожигенном) слое.

Пыль

Установки по сжиганию осадка сточных вод, которые принимали участие в сборе данных 2016 года, оснащены либо электрофильтром (ЭСФ), либо рукавным фильтром (РФ) для уменьшения выбросов пыли.

В некоторых случаях обе технологии комбинируются, например, сухой электростатический фильтр используется для предварительного удаления пыли после котла, а затем рукавный фильтр перед дымовой трубой. Это позволяет отделить летучую золу от остатков ОДГ и разделить процессы переработки и обращения. На некоторых установках также используются циклоны или мультициклоны для предварительной очистки.

Мокрые скрубберы и неподвижные адсорбционные слои также могут способствовать удалению пыли.

Взаимозависимости между различными частями системы часто видны в общей конструкции системы очистки дымовых газов. Например, в случае сухих и полувлажных систем рукавные фильтры также действуют как реактор для удаления кислых газов. Кроме того, они могут обеспечить удаление ПХДД/Ф и металлов (включая ртуть и кадмий), если используется подходящий реагент (например, активированный уголь).

Данные о выбросах пыли с 16 подотчетных объектов, сжигающих преимущественно ОСВ, основанные на постоянных измерениях, в упрощенном виде показаны на рисунке 3.39. Соответствующие подробные графики представлены на рисунке 8.36 приложения 8.6 для суточных и годовых уровней выбросов и на рисунке 8.88 приложения 8.7 для получасовых уровней выбросов.

Для каждого диапазона концентраций выбросов, представленного на горизонтальной оси, на круговых диаграммах внизу показаны доли подотчетных объектов, оснащенных рукавным фильтром и другими технологиями (такими как ЭСФ), среди тех, которые достигают уровней выбросов в данном диапазоне.

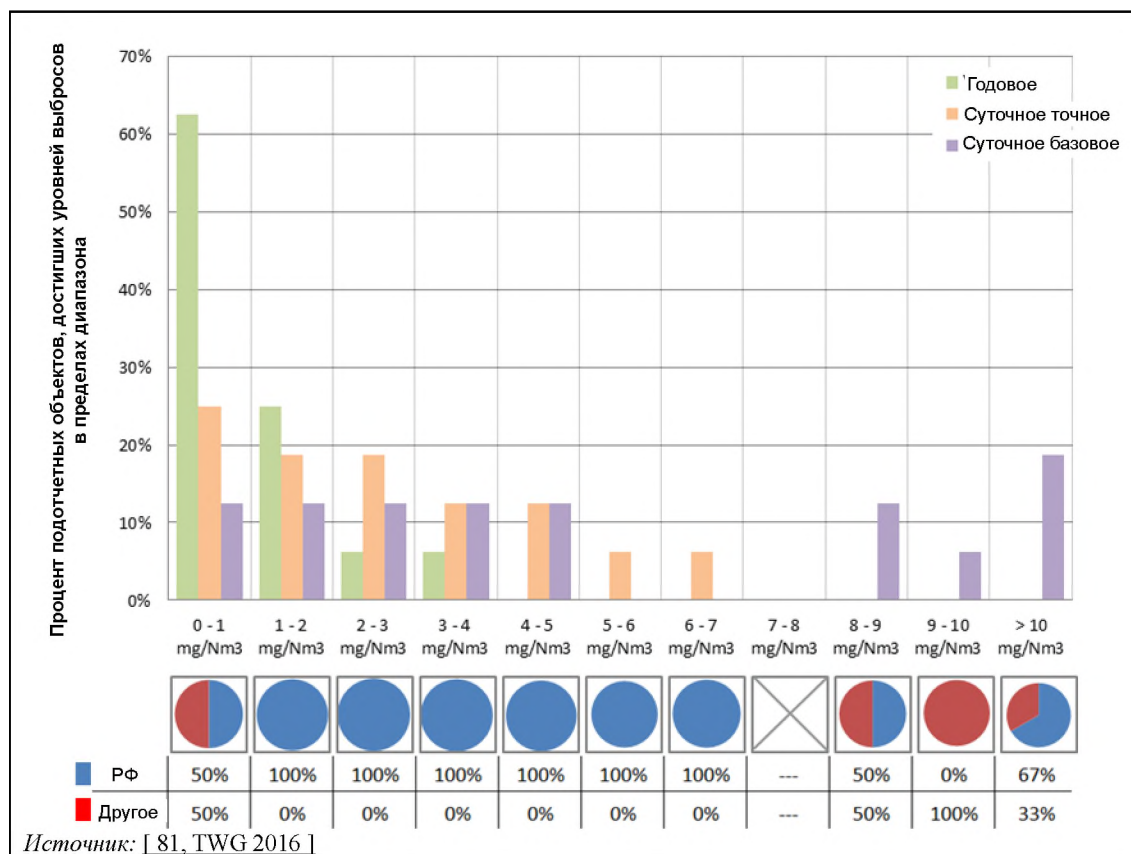


Рисунок 3.39: Постоянно контролируемые выбросы пыли в атмосферный воздух из подотчетных объектов, сжигающих преимущественно ОСВ

Уровни выбросов варьируются от близких к пределу количественного определения до 3,4 мг/Нм³ для среднегодового значения и 6,2 мг/Нм³ для максимального среднесуточного значения («точная» фильтрация данных). В некоторых случаях максимальное суточное среднее значение, полученное с помощью «базовой» фильтрации данных, может быть существенно выше, что, как правило, связано с ситуациями за пределами НУЭ. График показывает, что все установки с максимальными среднесуточными уровнями выше 3,7 мг/Нм³ («тонкая» фильтрация данных) представляют собой недавно построенные небольшие установки, в то время как все установки среднего и крупного размера демонстрируют более низкие уровни выбросов. Все представленные установки являются установками для сжигания в кипящем слое.

Оксиды азота

Процесс сжигания в кипящем слое, используемый в установках для сжигания осадка сточных вод, обеспечивает более низкие уровни выбросов NO_x, чем в других типах печей. Около 60% установок для сжигания осадков сточных вод, которые принимали участие в сборе данных 2016 года, используют СКВ и/или СНКВ в качестве вторичных технологий для дальнейшего сокращения выбросов NO_x.

Данные о выбросах NO_x из 17 подотчетных объектов, сжигающих преимущественно ОСВ, основанные на постоянных измерениях, в упрощенном виде показаны на рисунке 3.40. Соответствующие подробные графики представлены на рисунке 8.37 приложения 8.6 для суточных и годовых уровней выбросов и на рисунке 8.89 приложения 8.7 для получасовых уровней выбросов.

Для каждого диапазона концентрации выбросов, представленного на горизонтальной оси, на круговых диаграммах внизу показаны доли подотчетных объектов, оснащенных СКВ, с СНКВ, но без СКВ, а также исключительно первичными технологиями, среди тех, которые достигают уровней выбросов в данном диапазоне.

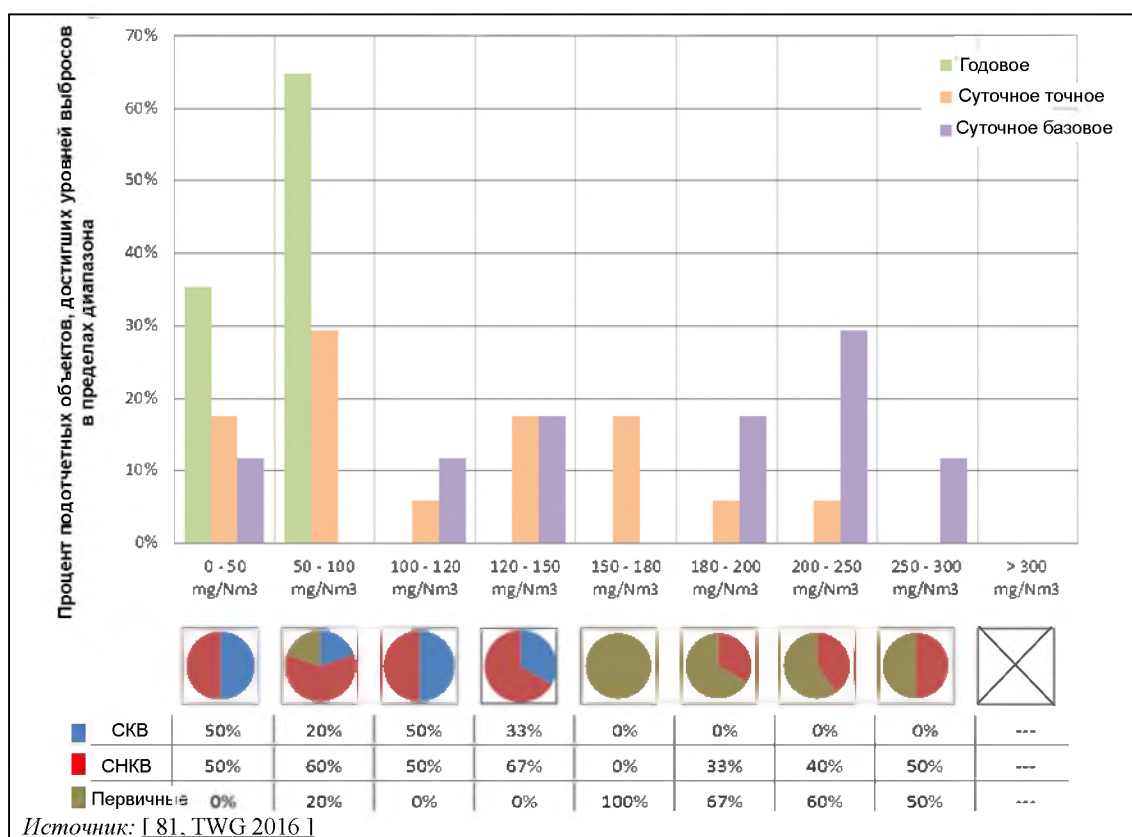


Рисунок 3.40: Постоянно контролируемые выбросы NO_x в атмосферный воздух из подотчетных объектов, сжигающих преимущественно ОСВ

Уровни выбросов варьируются от 12 мг/Нм³ до 223 мг/Нм³ в среднем за год и от 20 мг/Нм³ до 233 мг/Нм³ для максимального среднесуточного значения («тонкая» фильтрация данных). Значения выше 140 мг/Нм³ наблюдаются на установках, оснащенных СНКВ или без каких-либо вторичных технологий снижения выбросов NO_x.

На установках, оснащенных СКВ, не наблюдается значительной разницы между максимальным среднесуточным значением, полученным с помощью «базовой» и «точной» фильтрации данных, в то время как на установках, оснащенных СНКВ или без вторичных технологий очистки, эта разница, как правило, выше, и отражает более низкую внутреннюю стабильность процесса.

Представленные данные не демонстрируют четкой корреляции между зарегистрированными уровнями выбросов и типом, и количеством используемого реагента, а также сроком эксплуатации или размером установки. Все установки являются установками для сжигания в кипящем (псевдоожигенном) слое.

Аммиак

Выбросы аммиака связаны с утечкой реагента из СКВ или СНКВ. Основной технологией, используемой для контроля таких выбросов, является оптимизация процесса, а также хорошее обслуживание катализатора в случае СКВ. СКВ также может быть реализовано в качестве катализатора скольжения для дальнейшей реакции непрореагировавшего аммиака после того, как в системе СНКВ произошло основное восстановление.

Данные о выбросах аммиака из установок, сжигающих преимущественно ОСВ, основанные на постоянных измерениях, показаны на рисунке 3.41 для 7 подотчетных объектов. Соответствующие подробные графики представлены на рисунке 8.38 приложения 8.6 для суточных и годовых уровней выбросов и на рисунке 8.90 приложения 8.7 для получасовых уровней выбросов.

Для каждого диапазона концентраций выбросов, представленного на горизонтальной оси, на круговых диаграммах внизу показаны доли подотчетных объектов, оснащенных СКВ, СНКВ и

нижним мокрым скруббером, а также СНКВ и технологиями сушки в нисходящем направлении, среди тех, которые достигают уровней выбросов в данном диапазоне, (выбросы от установок, не использующих вторичные технологии удаления NO_x , не имеют отношения к выбросам аммиака).

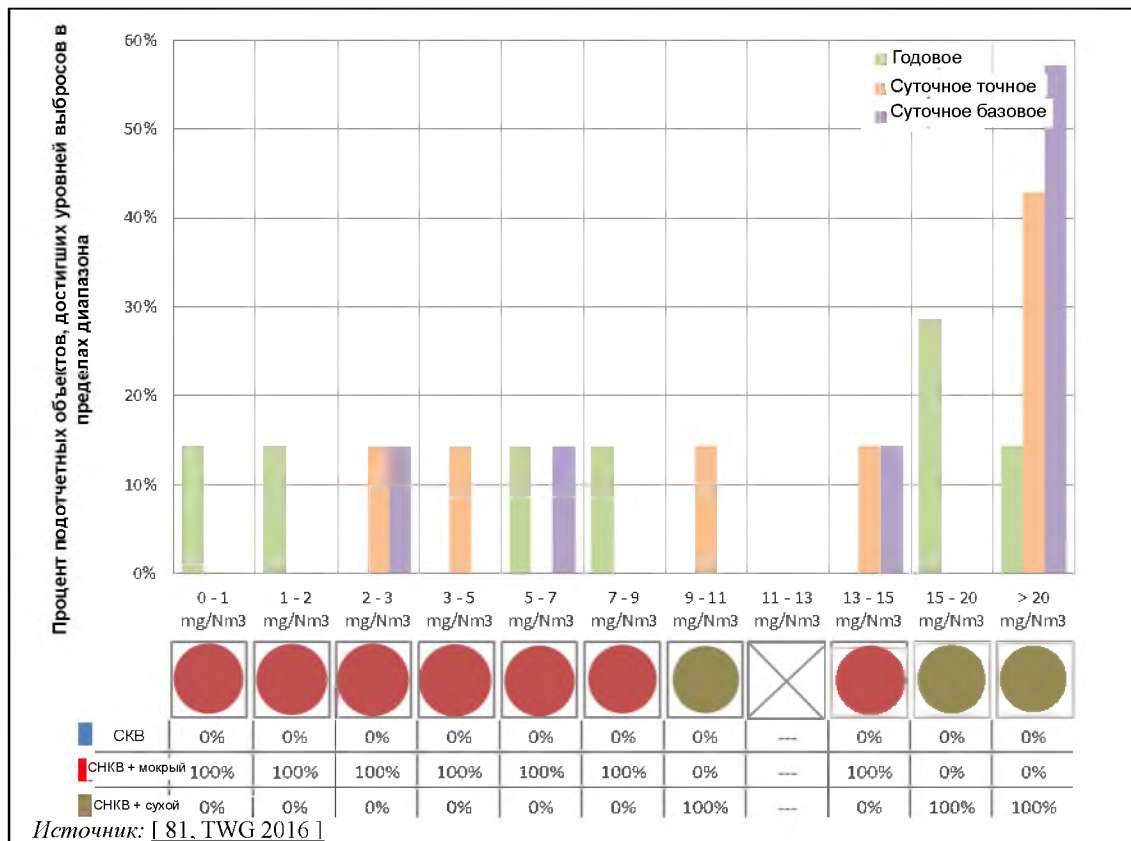


Рисунок 3.41: Постоянно контролируемые выбросы NH_3 в атмосферный воздух из подотчетных объектов, сжигающих преимущественно ОСВ

За исключением PL02, которая оснащена СНКВ и демонстрирует уровни выбросов NH_3 , близкие к 90 мг/Нм³ для среднегодового значения, и 235 мг/Нм³ для максимального среднесуточного значения, уровни выбросов, регистрируемые на установках, контролирующих концентрации аммиака, непрерывно колеблются между близкими к пределу количественного определения и 19 мг/Нм³ для среднегодового значения и 47 мг/Нм³ для максимального среднесуточного значения. Установки, оснащенные СНКВ и мокрым скруббером, обычно демонстрируют уровни выбросов ниже 13,4 мг/Нм³. Ни один из заводов, оснащенных СКВ, не осуществляет непрерывной контроль выбросов аммиака. В дополнение к PL02 подотчетные объекты PL07.1 и PL07.2 также оснащены СНКВ и демонстрируют повышенные уровни выбросов NH_3 (32 мг/Нм³ и 46 мг/Нм³ для максимальных среднесуточных значений); в то же время эти два подотчетных объекта указывают на чрезвычайно низкие уровни NO_x (в среднем за год 11 мг/Нм³ и 19 мг/Нм³). Сообщается, что такие высокие уровни выбросов NH_3 связаны не с чрезмерной скоростью закачки аммиака (проскок аммиака), а с прямыми выбросами аммиака от сжигания влажного (только механически обезвоженного) осадка сточных вод в условиях сжигания на этих установках. Выбросы в атмосферный воздух аммиака, извлеченного из установки обезвоживания осадка и использованного в качестве воздуха для горения, является еще одним источником выбросов аммиака.

Не наблюдается значительных различий между максимальными среднесуточными значениями, полученными в режимах фильтрации данных «базовый» и «точный».

Только два подотчетных объекта представили данные для периодического мониторинга, с сообщенными максимумами выбросов 0,1 мг/Нм³ (подотчетный объект AT08-1, оснащенная СКВ и мокрым скруббером) и 5,7 мг/Нм³ (подотчетный объект FR98, оснащенный СНКВ и ВСС).

Представленные данные не демонстрируют четкой корреляции между зарегистрированными уровнями выбросов и типом или количеством используемого реагента, а также сроком

эксплуатации или размером установки. Все установки являются установками для сжигания в кипящем (псевдоожиженном) слое.

TVOC

Данные о выбросах TVOC из 14 подотчетных объектов, сжигающих преимущественно ОСВ, на основе непрерывных измерений, в упрощенном виде показаны на рисунке 3.42. Соответствующие подробные графики представлены на рисунке 8.39 приложения 8.6 для суточных и годовых уровней выбросов, и на рисунке 8.91 приложения 8.7 для получасовых уровней выбросов.

Для каждого диапазона концентраций выбросов, представленного на горизонтальной оси, на круговых диаграммах внизу показаны доли подотчетных объектов среди тех, которые достигают уровней выбросов в данном диапазоне, которые попадают в различные классы по размеру (пороги для малых, средних и крупных установок описаны во вступительном тексте главы 3).

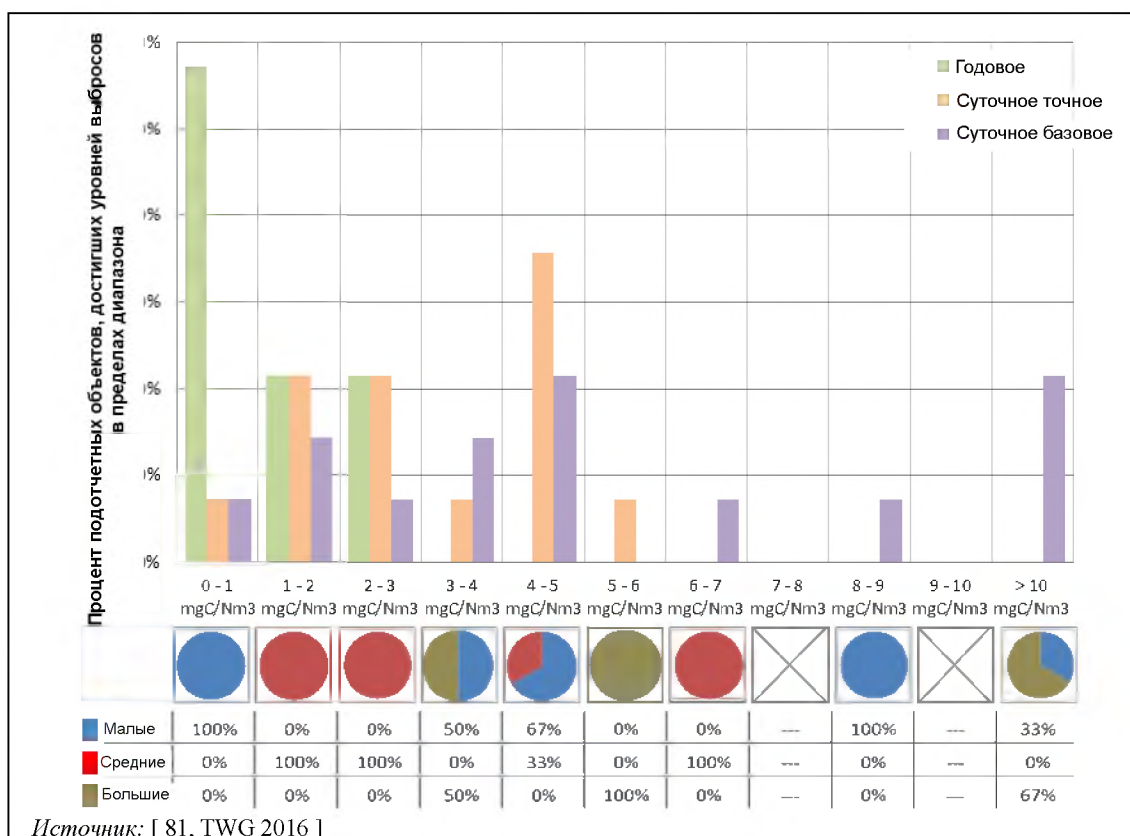


Рисунок 3.42: Постоянно контролируемые выбросы TVOC в атмосферный воздух из подотчетных объектов, сжигающих преимущественно ОСВ

Уровни выбросов варьируются от близких к пределу количественного определения до 3 мг/Нм³ для среднегодового значения и 5,1 мг/Нм³ для максимального среднесуточного значения («точная» фильтрация данных). Для трех подотчетных объектов максимальное суточное среднее показывает более высокие пики выбросов при использовании «базовой» фильтрации данных, обычно связанной с условиями за пределами НУЭ.

Представленные данные не демонстрируют четкой корреляции между зарегистрированными уровнями выбросов и техническим оснащением установок, типом и количеством используемого реагента, а также сроком эксплуатации или размером установки. Все установки являются установками для сжигания в кипящем (псевдоожиженном) слое.

Монооксид углерода

Данные о выбросах CO из 17 подотчетных объектов, сжигающих преимущественно ОСВ, основанные на постоянных измерениях, в упрощенном виде показаны на рисунке 3.43.

Соответствующие подробные графики представлены на рисунке 8.40 приложения 8.6 для суточных и годовых уровней выбросов и на рисунке 8.92 приложения 8.7 для получасовых уровней выбросов.

Для каждого диапазона концентраций выбросов, представленного на горизонтальной оси, на круговых диаграммах внизу показаны доли подотчетных объектов среди тех, которые достигают уровней выбросов в данном диапазоне, которые попадают в различные классы по размеру (пороги для малых, средних и крупных установок описаны во вступительном тексте главы 3).

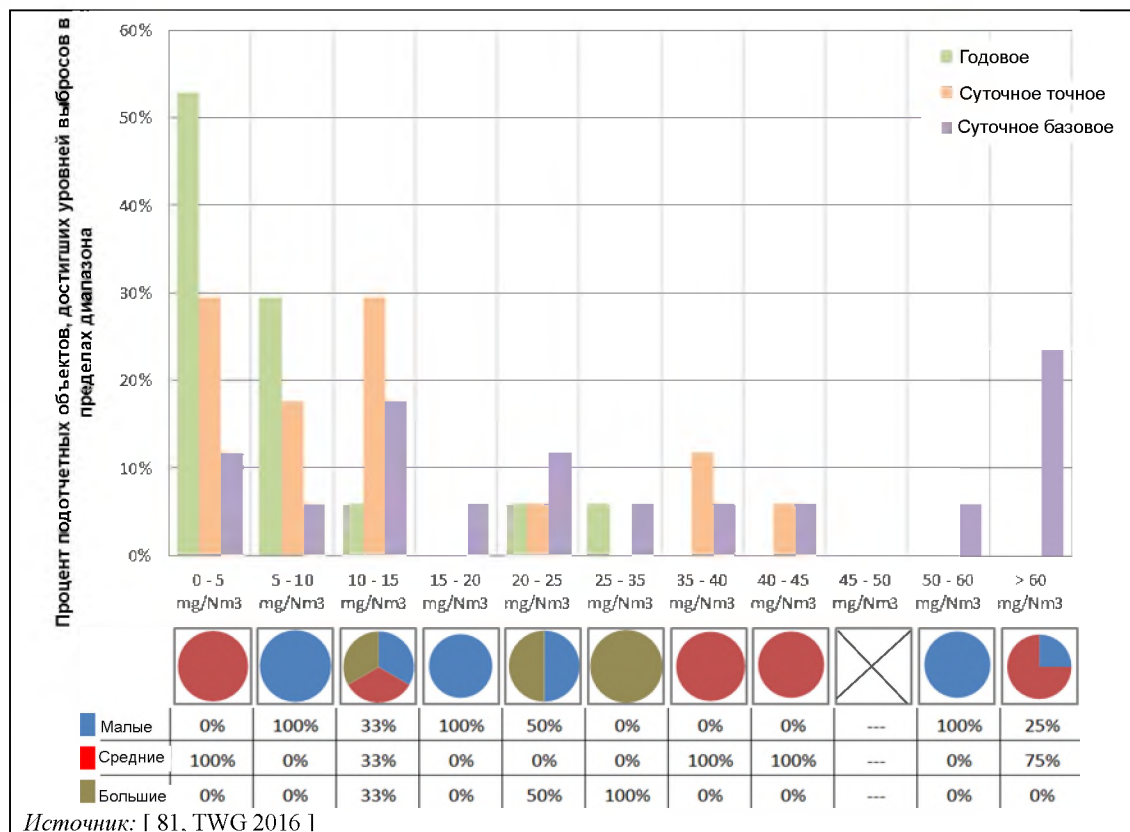


Рисунок 3.43: Постоянно контролируемые выбросы СО в атмосферный воздух из подотчетных объектов, сжигающих преимущественно ОСВ

Уровни выбросов варьируются от близких к пределу количественного определения до 29 мг/Нм³ для среднегодового значения и 42 мг/Нм³ для максимального среднесуточного значения («тонкая» фильтрация данных). Подобно выбросам TVOC, в некоторых случаях более высокие пики выбросов наблюдаются в значениях, полученных при «базовой» фильтрации данных, как правило, связанных с ситуациями за пределами НУЭ.

Представленные данные не демонстрируют четкой корреляции между зарегистрированными уровнями выбросов и техническим оснащением установок, типом и количеством используемого реагента, а также сроком эксплуатации или размером установки. Все установки являются установками для сжигания в кипящем (псевдоожиженном) слое

ПХДД/Ф, ПХД и ПАУ

Для достижения низких уровней выбросов ПХДД/Ф важны как первичные, так и вторичные технологии. В системе обжига эффективное смешивание газов (высокая турбулентность) улучшает разрушение ПХДД/Ф и аналогичных соединений, уже присутствующих в отходах. Избегая температурного интервала для рекомбинации ПХДД/Ф и подобных соединений в котле и системе очистки дымовых газов, можно избежать синтеза новых ПХДД/Ф *de novo*.

Для дальнейшего сокращения выбросов этих веществ используются три основных типа технологий:

1. фильтр с активированным углем или с подвижным слоем;
2. впрыск активированного угля (отдельно или в смеси с другими реагентами) для удаления в

- пылеуловителе;
- разрушение газообразного ПХДД/Ф на катализаторе, в том числе в случае каталитических рукавных фильтров.

Преимущество использования активированного угля заключается также в сокращении выбросов ртути. Катализаторы в основном используются для снижения выбросов NO_x .

Данные о выбросах ПХДД/Ф из 14 подотчетных объектов, сжигающих преимущественно ОСВ, на основе периодических измерений, в упрощенной форме показаны на рисунке 3.44. Соответствующий подробный график – рисунок 8.135 приложения 8.8.

Для каждого диапазона концентраций выбросов, представленного на горизонтальной оси, на круговых диаграммах внизу показаны доли подотчетных объектов, оснащённых неподвижным слоем адсорбции, без неподвижного адсорбционного слоя (АС) и мокрого скруббера, а также без фиксированного адсорбционного слоя и технологий сухой ОДГ, среди тех, которые достигают уровней выбросов в данном диапазоне.

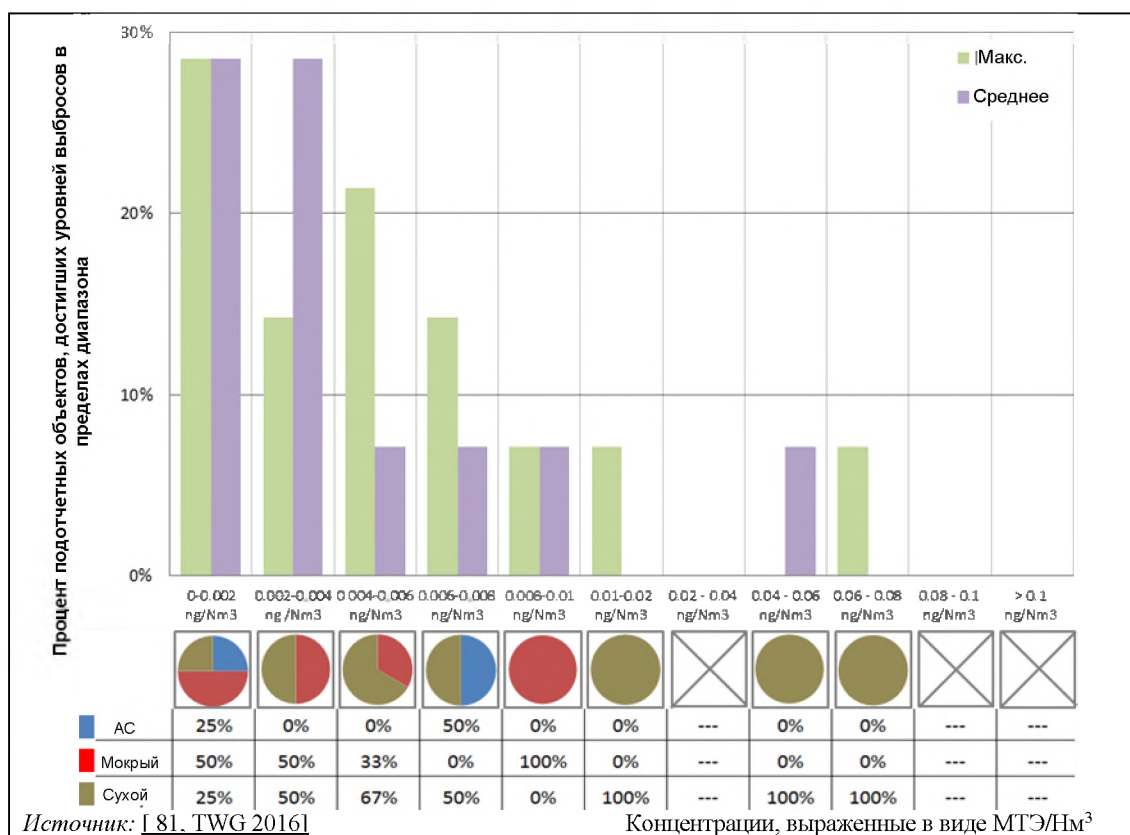


Рисунок 3.44: Периодически контролируемые выбросы ПХДД/Ф в атмосферный воздух из подотчетных объектов, сжигающих преимущественно ОСВ

Уровни выбросов колеблются между близкими к пределу количественного определения и 0,011 нг МТЭ/Нм³, за исключением одной подотчетного объекта, показывающей уровень 0,06 нг МТЭ/Нм³.

Представленные данные не демонстрируют четкой корреляции между зарегистрированными уровнями выбросов и типом или количеством используемого реагента, а также сроком эксплуатации или размером установки. Все установки являются установками для сжигания в кипящем (псевдоожиженном) слое

Полихлорированные дифенилы (ПХД) и полиароматические углеводороды (ПАУ) удаляются теми же технологиями, что и ПХДД/Ф, что означает, что если система очистки дымовых газов эффективна для ПХДД/Ф, то также эффективно будет работать с ПХД и ПАУ.

Следующие подотчетные объекты, сжигающие преимущественно ОСВ, зарегистрировали уровни

выбросов, основанные на периодических измерениях, для диоксиноподобных ПХД, для ПАУ и для БаП:

- Два подотчетных объекта (UK15 и FR98) для диоксиноподобных печатных плат. Максимальное зарегистрированное значение ниже 0,001 нг ВОЗ-КТЭ.
- Три подотчетных объекта (DE15-1, DE15-2 и UK15) для ПАУ. Все они являются установками для сжигания в псевдоожиженном слое, оснащенными ЭСФ, мокрым скруббером и рукавным фильтром, и все сообщают о впрыске активированного угля. DE15-1 – это недавно модернизированная установка среднего размера, уровень выбросов в которой составляет 0,002 мкг/Нм³. UK15 – это более старая небольшая установка, уровень выбросов в которой составляет 13 мкг/Нм³.
- Один подотчетный объект для выбросов БаП (DE16, установка для сжигания в псевдоожиженном слое, оснащенная ЭСФ, мокрым скруббером, рукавным фильтром и с использованием впрыска активированного угля) сообщила об уровне 0,1 мкг/Нм³.

Ртуть

подавляющее большинство установок использует активированный уголь либо в качестве системы с неподвижным слоем, либо в системе впрыска активированного угля с вовлеченным потоком. Норма расхода, а также качество активированного угля (например, бромированного или пропитанного серой) непосредственно влияют на уровни выбросов. Другими менее часто используемыми технологиями являются использование цеолитов или улавливание ртути в кислотном мокром скруббере, который может служить поглотителем ртути, если она присутствует в форме хлорида Hg (II). Ртуть, которая была перенесена из газового потока в раствор скруббера, затем может быть удалена с помощью станции очистки сточных вод.

Если ртуть присутствует в металлической форме, необходимо использовать окислители, такие как впрыск бромированного активированного угля или добавление брома в котле (см. технологии удаления ртути). [74, TWG 2004]

При определенных условиях (например, высокая скорость ввода ртути) пределы пропускной способности систем ОДГ могут быть превышены, что приведет к временно повышенным выбросам ртути. Это может быть отражено случаями, когда уровни производительности подотчетных объектов для различных периодов усреднения показывают большие вариации.

Данные о выбросах ртути основаны либо на непрерывных, либо на периодических измерениях и показаны на следующих рисунках в упрощенной форме в этой главе, а также подробно в приложениях 8.6 и 8.8; получасовые уровни выбросов приведены в приложении 8.7:

- Рисунок 3.45, для уровней выбросов 14 подотчетных объектов, сжигающих преимущественно ОСВ и периодически контролирующих Hg. Соответствующий подробный график – рисунок 8.136.
- Рисунок 3.46, для суточных и годовых уровней выбросов 5 подотчетных объектов, сжигающих преимущественно ОСВ и непрерывно контролирующих Hg. Соответствующий подробный график – рисунок 8.41.
- Рисунок 3.47, для получасовых уровней выбросов 5 подотчетных объектов, сжигающих преимущественно ОСВ и непрерывно контролирующих Hg. Соответствующий подробный график – рисунок 8.93.
- Рисунок 3.48, для ежемесячных уровней выбросов 5 подотчетных объектов, сжигающих преимущественно ОСВ и непрерывно контролирующих Hg. Соответствующий подробный график – рисунок 8.94.

Для каждого диапазона концентраций выбросов, представленного на горизонтальной оси, на круговых диаграммах внизу показаны доли подотчетных объектов, оснащенных неподвижным слоем адсорбции, без неподвижного слоя адсорбции и мокрого скруббера, а также без фиксированного адсорбционного слоя и технологий сухой ОДГ, среди тех, которые достигают уровней выбросов в данном диапазоне.

Месячные уровни, представленные на рисунке 3.48, получены на основе данных непрерывного мониторинга и дают представление об уровнях выбросов, зарегистрированных при измерении ртути с периодом усреднения, типичным для долгосрочных методов отбора проб. Для месячных уровней, на которые вряд ли влияют краткосрочные пики, представлен только «базовый» режим фильтрации.

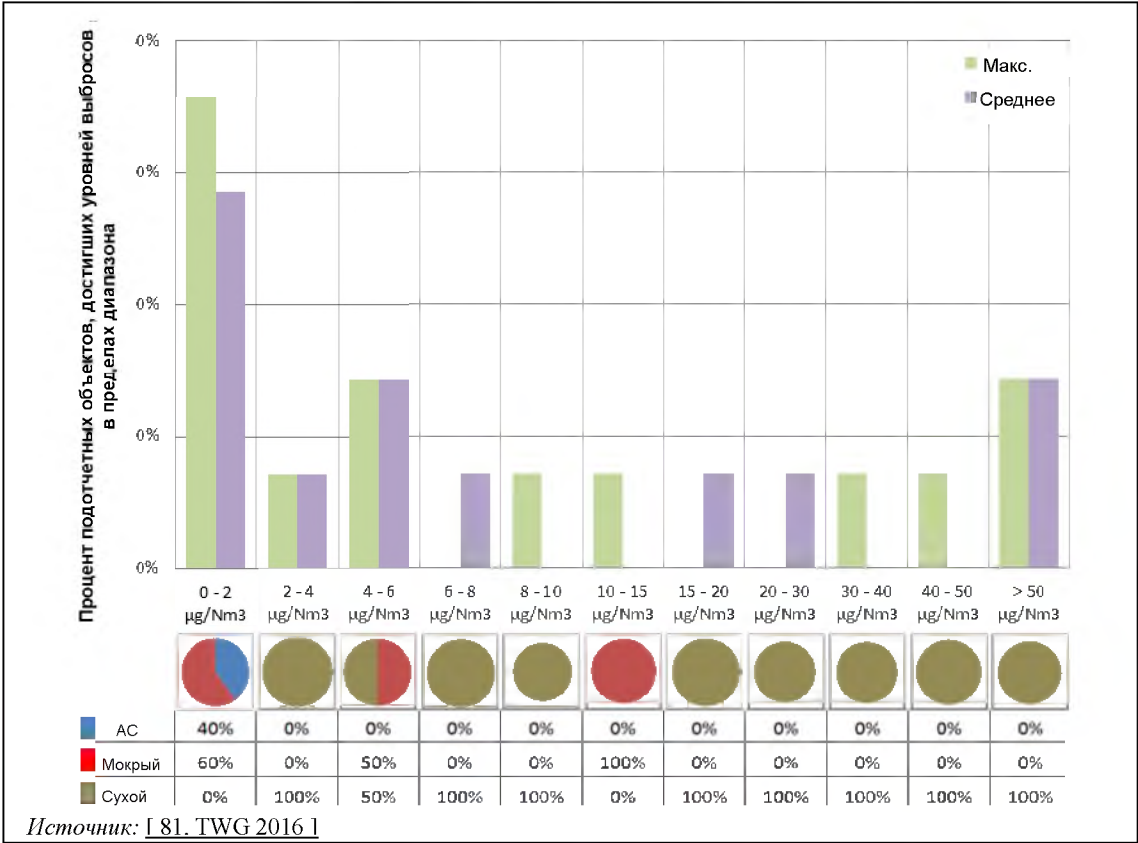


Рисунок 3.45: Периодически контролируемые выбросы ртути в атмосферный воздух из подотчетных объектов, сжигающих преимущественно ОСВ

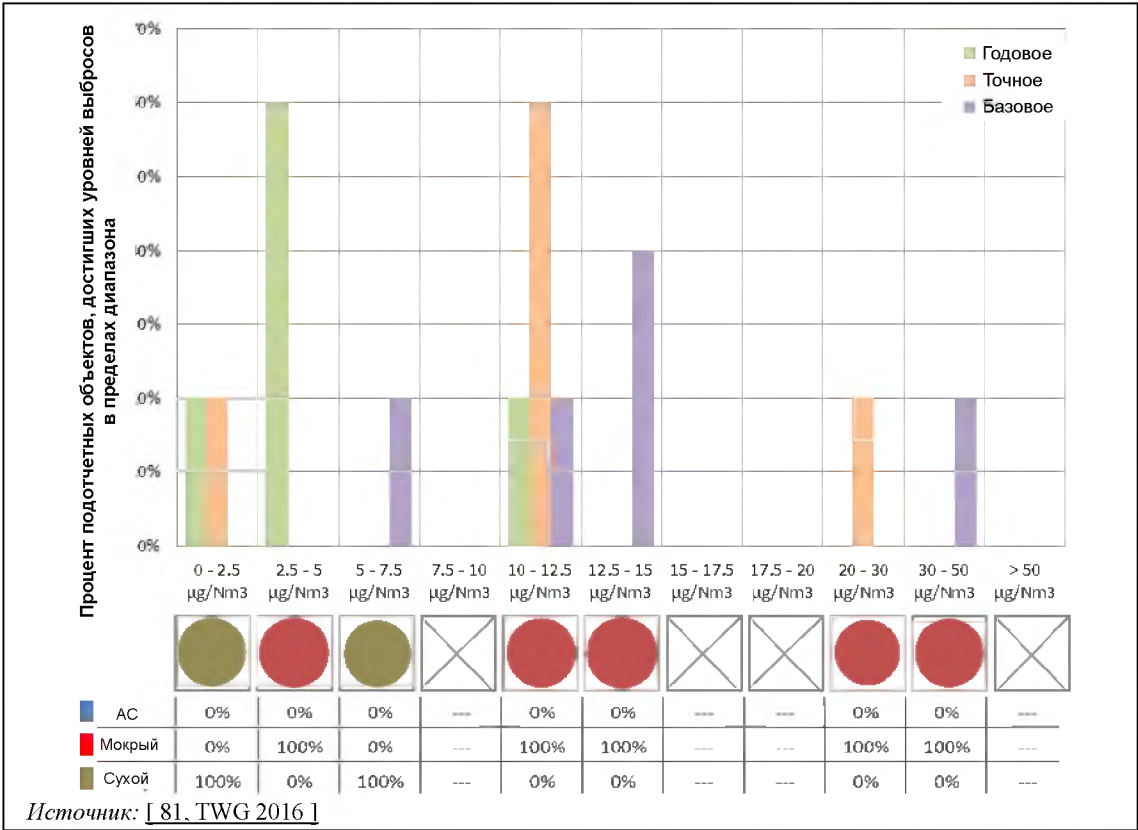


Рисунок 3.46: Постоянно контролируемые выбросы ртути в атмосферный воздух из подотчетных объектов, сжигающих преимущественно ОСВ: ежедневные и годовые уровни выбросов

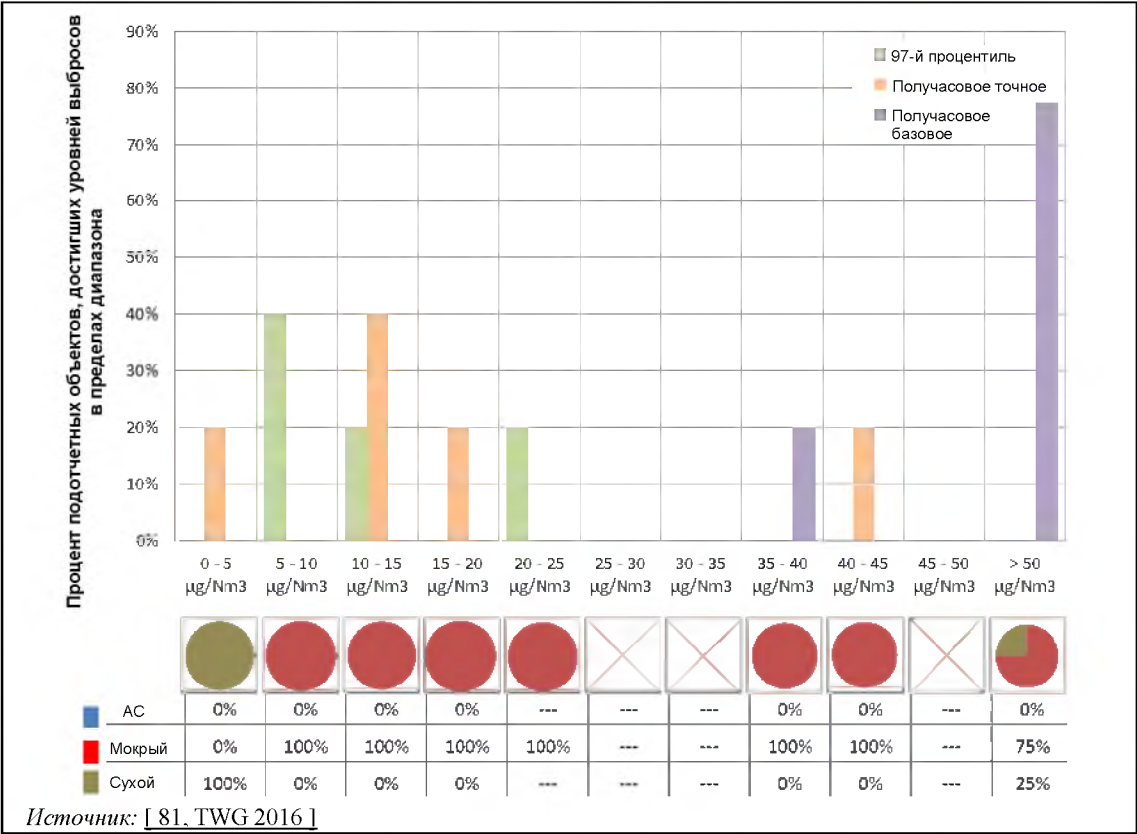


Рисунок 3.47: Постоянно контролируемые выбросы ртути в атмосферный воздух из подотчетных объектов, сжигающих преимущественно ОСВ: получасовые уровни выбросов

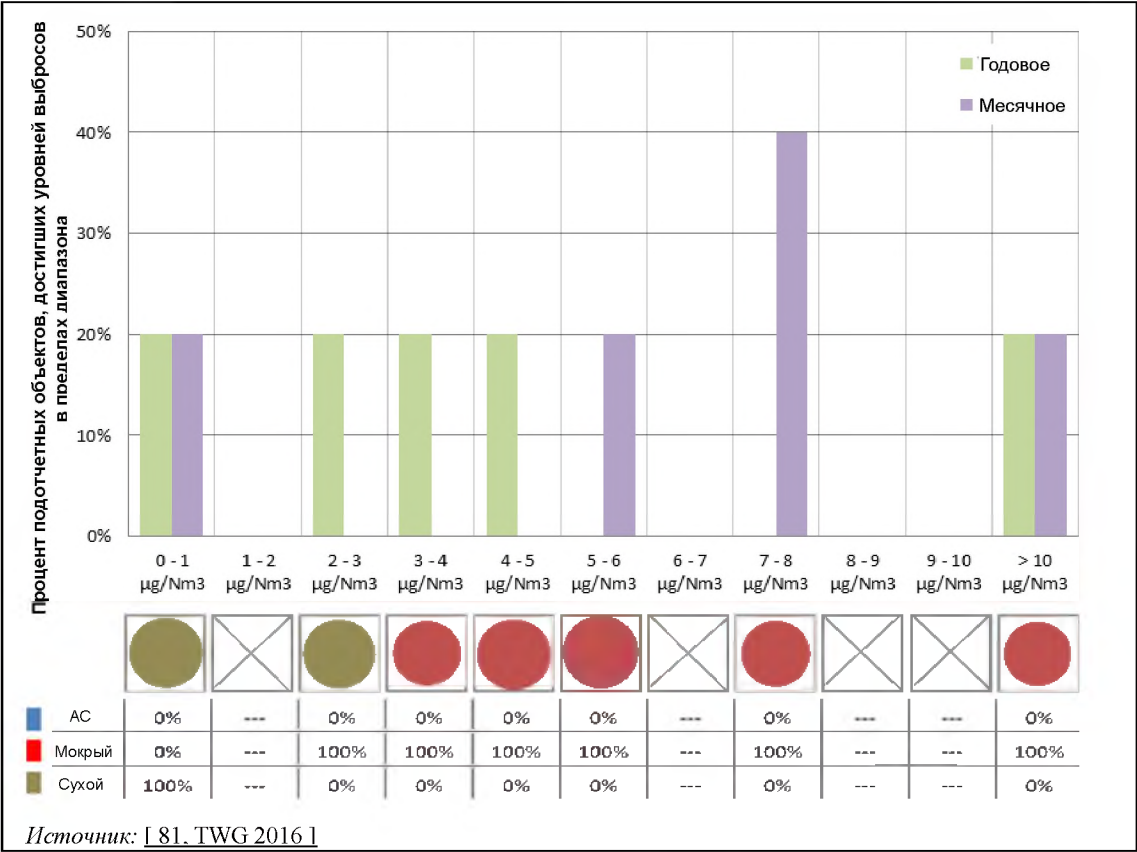


Рисунок 3.48: Постоянно контролируемые выбросы ртути в атмосферный воздух из

подотчетных объектов, сжигающих преимущественно ОСВ: месячные уровни выбросов

Уровни выбросов варьируются от близких к пределу количественного определения до 0,01 мг/Нм³ для среднегодового и месячного значений и до 0,024 мг/Нм³ для максимального среднесуточного значения («точная» фильтрация данных). В некоторых случаях максимальное среднесуточное значение, полученное с помощью «базовой» фильтрации данных, может быть существенно выше (до 0,036 мг/Нм³), что может отражать не только выбросы с высоким содержанием ртути, но и ситуации за пределами НУЭ, где среднесуточное значение обычно включает лишь некоторые получасовые периоды и периоды, когда измеренные уровни ртути повышены.

Установки, которые измеряют ртуть, периодически сообщают средние значения за период отбора проб, как правило, ниже 0,01 мг/Нм³, с четырьмя исключениями (PL02, PL05, PL07-2 и PL07-1), которые сообщают значения от 0,04 мг/Нм³ до 0,13 мг/Нм³.

Представленные данные не демонстрируют четкой корреляции между зарегистрированными уровнями выбросов и типом или количеством используемого реагента, а также сроком эксплуатации или размером установки. Все установки являются установками для сжигания в кипящем (псевдоожиженном) слое

Сурьма, мышьяк, хром, кобальт, медь, свинец, марганец, никель и ванадий

Для уменьшения выбросов металлов, связанных с пылью, в основном используются те же технологии, что и для удаления пыли.

Данные о выбросах [Sb+As+Cr+Co+Cu+Pb+Mn+Ni+V] основанные на периодических измерениях, показаны в упрощенном виде на рисунке 3.49 для 17 подотчетных объектов, сжигающих преимущественно ОСВ. Соответствующий подробный график – рисунок 8.137 приложения 8.8.

Для каждого диапазона концентраций выбросов, представленного на горизонтальной оси, на круговых диаграммах внизу показаны доли подотчетных объектов, оснащенных рукавным фильтром и другими технологиями (такими как ЭСФ), среди тех, которые достигают уровней выбросов в данном диапазоне.

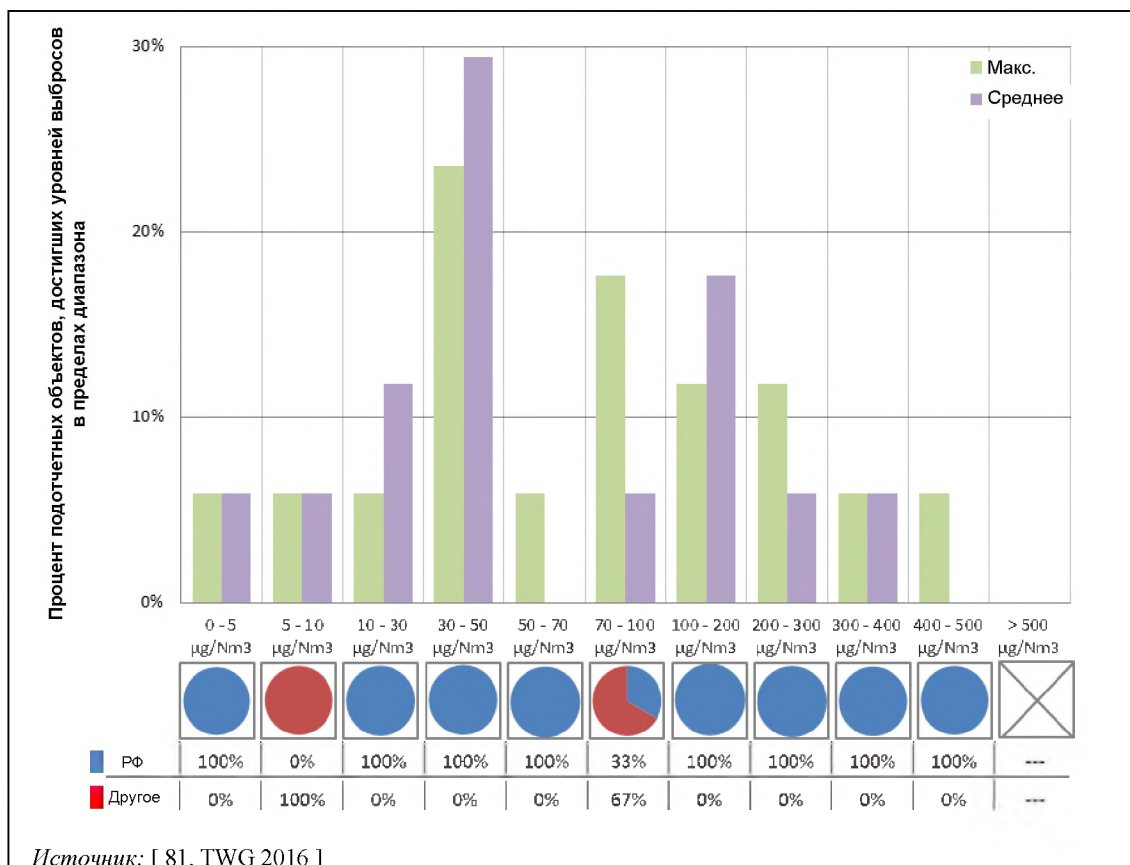


Рисунок 3.49: Периодически контролируемые выбросы Sb+As+Cr+Co+Cu+Pb+Mn+Ni+V в атмосферный воздух из подотчетных объектов, сжигающих преимущественно ОСВ

Уровни выбросов варьируются от близких к пределу количественного определения до 0,3 мг/Нм³, за исключением одного подотчетного объекта, демонстрирующего уровень 0,5 мг/Нм³, как максимум средних значений за период отбора проб.

Представленные данные не демонстрируют четкой корреляции между зарегистрированными уровнями выбросов и техническим оснащением установок, сроком эксплуатации и размером установки. Все установки являются установками для сжигания в кипящем слое.

Кадмий и таллий

Для уменьшения выбросов металлов, связанных с пылью, в основном используются те же технологии, что и для удаления пыли.

Данные о выбросах [Cd+Tl], основанные на периодических измерениях, показаны в упрощенном виде на рисунке 3.50 для 13 подотчетных объектов, сжигающих преимущественно ОСВ. Соответствующий подробный график – рисунок 8.138 приложения 8.8.

Для каждого диапазона концентраций выбросов, представленного на горизонтальной оси, на круговых диаграммах внизу показаны доли подотчетных объектов, оснащенных рукавным фильтром и другими технологиями (такими как ЭСФ), среди тех, которые достигают уровней выбросов в данном диапазоне.

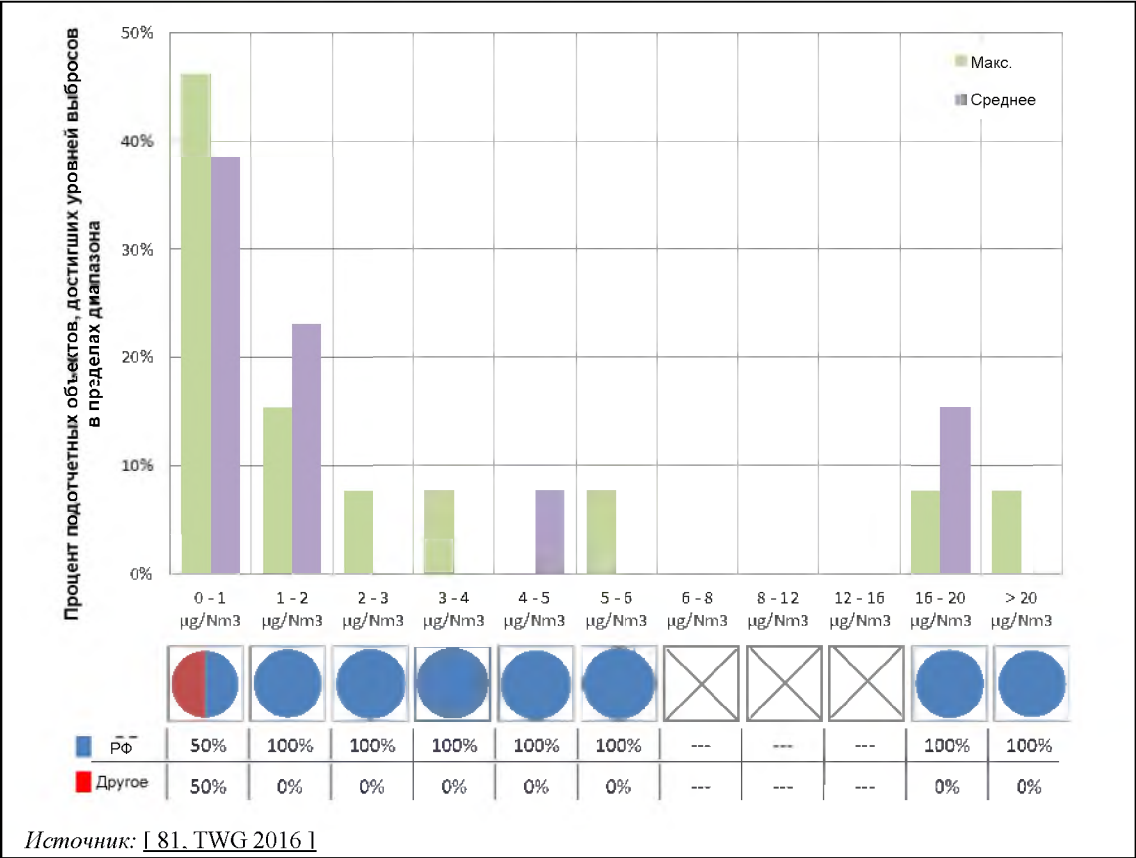


Рисунок 3.50: Периодически контролируемые выбросы Cd+Tl в атмосферный воздух из подотчетных объектов, сжигающих преимущественно ОСВ

Уровни выбросов почти всегда очень низки и колеблются между близким к пределу количественного определения и 0,02 мг/Нм³, за исключением шести подотчетных объектов, показывающих уровни от 0,02 мг/Нм³ до 0,1 мг/Нм³, как максимум средних значений за период выборки; один подотчетный объект сообщил о максимальном уровне выше 1 мг/Нм³.

Уровни выбросов почти всегда очень низки и находятся в диапазоне между пределом количественного определения и $0,005 \text{ мг/Нм}^3$, за исключением двух подотчетных объектов (NL06 и PL05), на которых зарегистрированы уровни $0,02 \text{ мг/Нм}^3$ и $0,036 \text{ мг/Нм}^3$ соответственно, как максимум средних значений за период выборки.

Представленные данные не демонстрируют четкой корреляции между зарегистрированными уровнями выбросов и техническим оснащением установок, сроком эксплуатации и размером установки. Все установки являются установками для сжигания в кипящем слое.

3.2.2.3 Выбросы в атмосферный воздух при сжигании опасных отходов

Хлористый водород и фтористый водород

За немногими исключениями, установки по сжиганию опасных отходов, которые участвовали в сборе данных 2016 года, представляют собой ротационные печи, оснащенные системами мокрой очистки. Исключение составляют в основном печи с жидкими отходами, сжигающие отходы химического сектора, и мусоросжигательные установки с решетками, оснащенные сухими или полумокрыми системами, такими как DE31, DE32 и DE33, которые сжигают загрязненные древесные отходы.

Данные о выбросах HCl из 33 подотчетных объектов, сжигающих преимущественно ОО, основанные на постоянных измерениях, в упрощенном виде показаны на рисунке 3.51. Соответствующие подробные графики представлена на рисунке 8.42 приложения 8.6 для суточных и годовых уровней выбросов и на рисунке 8.95 приложения 8.7 для получасовых уровней выбросов.

Для каждого диапазона концентраций выбросов, представленного на горизонтальной оси, на круговых диаграммах внизу показаны доли подотчетных объектов, оснащенных мокрым скруббером и другими технологиями (полумокрыми абсорберами или ВСС), среди тех, которые достигают уровней выбросов в данном диапазоне.

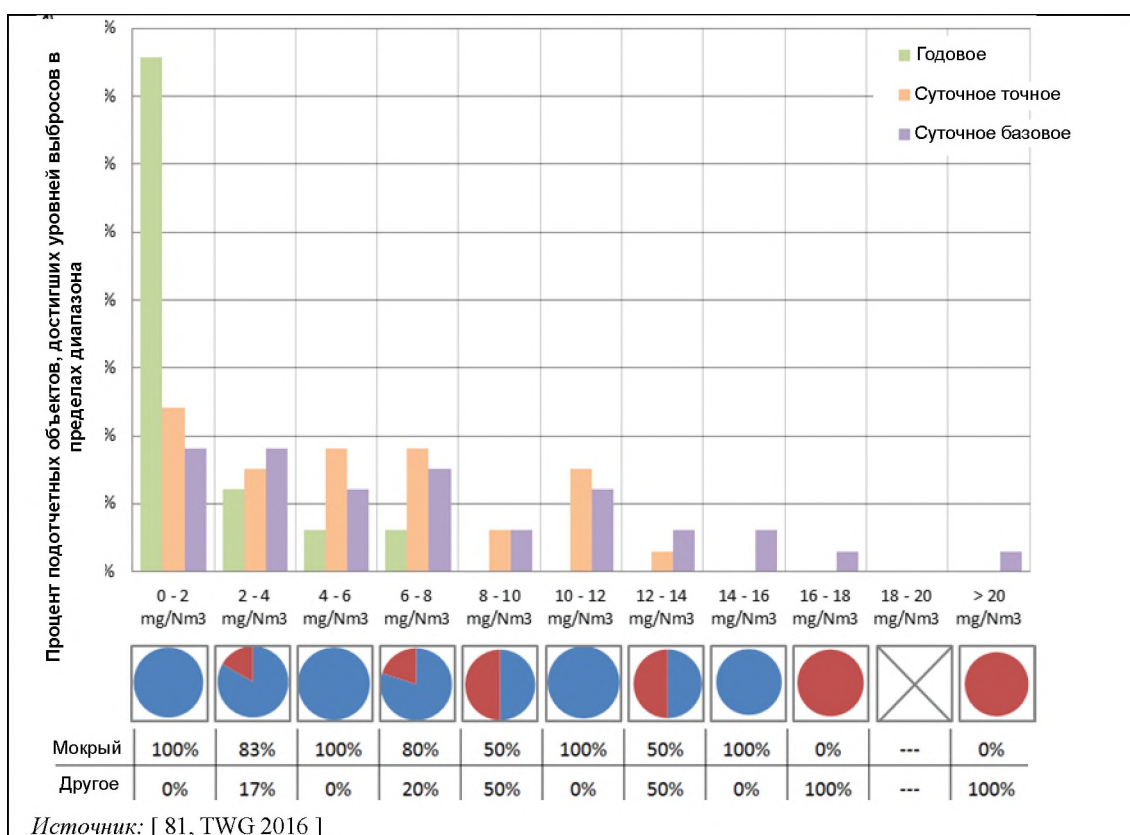


Рисунок 3.51: Постоянно контролируемые выбросы HCl в атмосферный воздух из подотчетных объектов, сжигающих преимущественно ОО

Уровни выбросов варьируются от близких к пределу количественного определения до 7,5 мг/Нм³ для среднегодового значения и 12 мг/Нм³ для максимума среднесуточного значения («точная» фильтрация данных). В большинстве случаев максимальное суточное среднее значение, полученное с помощью «базовой» фильтрации данных, существенно не отличается от значения, полученного с помощью «точной» фильтрации данных; некоторые исключения, в которых эти значения расходятся, связаны с неучтенными периодами обслуживания (например, BE09.1 и BE09.3).

Представленные данные не демонстрируют четкой корреляции между зарегистрированными уровнями выбросов и типом или количеством используемого реагента, а также сроком эксплуатации или размером установки. Большинство установок – ротационные печи.

Данные о выбросах фтористого водорода (HF), основанные либо на постоянных, либо на периодических измерениях, в упрощенной форме показаны на следующих рисунках в рамках этой главы и подробно в приложениях 8.6 и 8.8; получасовые уровни выбросов приведены в приложении 8.7:

- Рисунок 3.52 для 32 подотчетных объектов, сжигающих преимущественно ОО и периодически контролирующих HF. Соответствующий подробный график – рисунок 8.139.
- Рисунок 3.53 для 9 подотчетных объектов, сжигающих преимущественно ОО и периодически контролирующих HF. Соответствующие подробные графики представлены на рисунке 8.43 для суточных и годовых уровней выбросов и на рисунке 8.96 для получасовых уровней выбросов.

Для каждого диапазона концентраций выбросов, представленного на горизонтальной оси, на круговых диаграммах внизу показаны доли подотчетных объектов, оснащенных мокрым скруббером и другими технологиями (полумокрые абсорберы или ВСС), среди тех, которые достигают уровней выбросов в данном диапазоне.

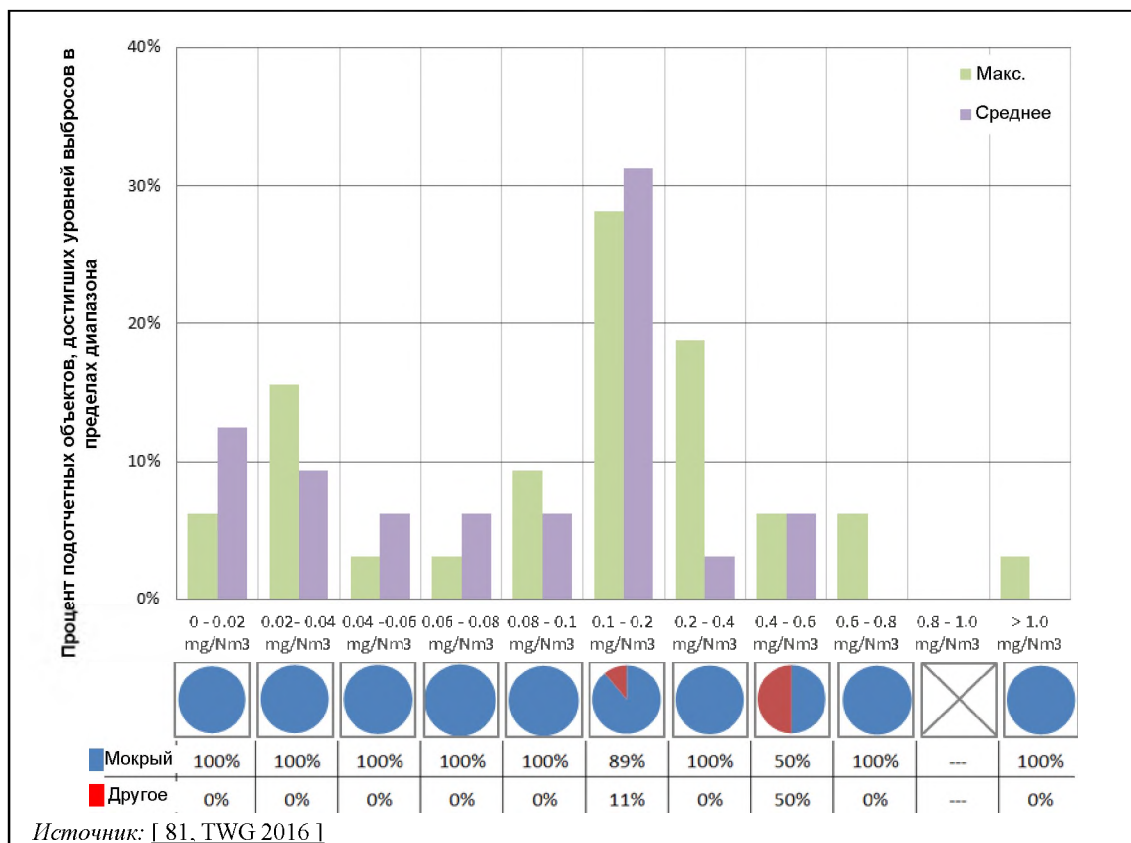


Рисунок 3.52: Периодически контролируемые выбросы HF в атмосферный воздух из подотчетных объектов, сжигающих преимущественно ОО

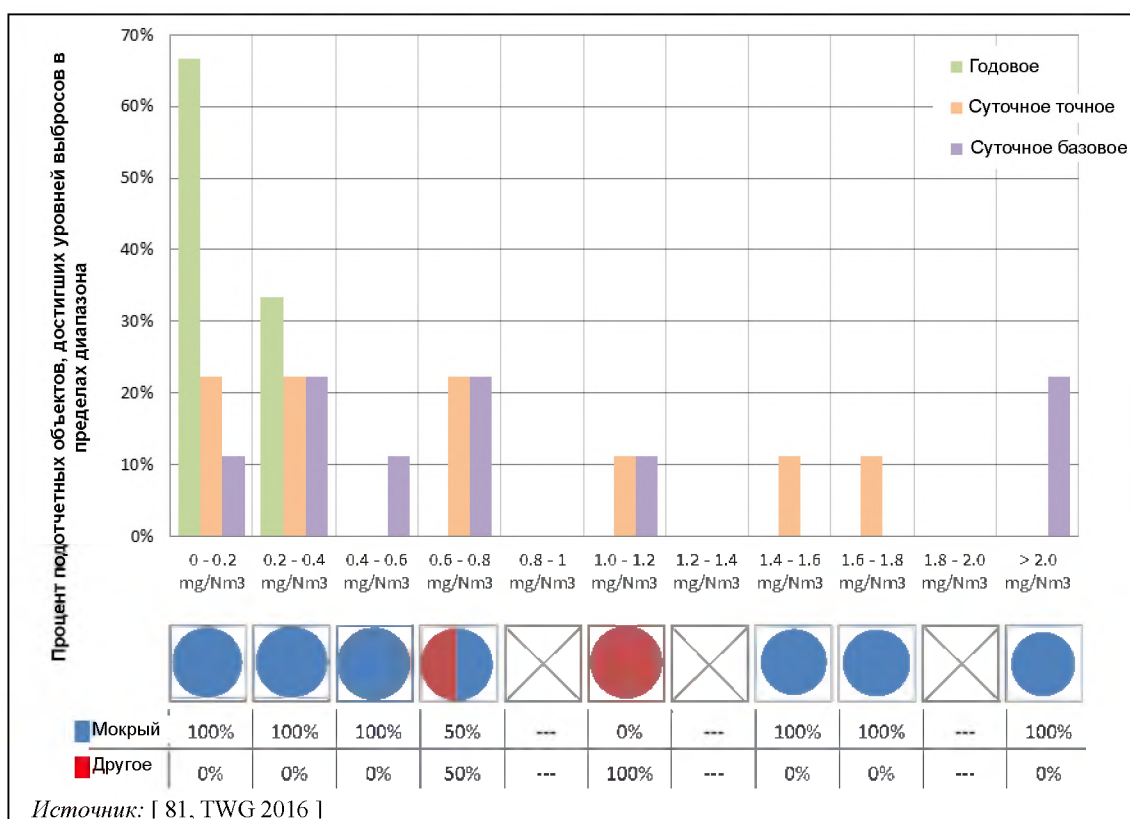


Рисунок 3.53: Постоянно контролируемые выбросы HF в атмосферный воздух из подотчетных объектов, сжигающих преимущественно ОО

Уровни выбросов варьируются от близких к пределу количественного определения до 0,35 мг/Нм³ для среднегодового значения и 1,6 мг/Нм³ для максимального среднесуточного значения; все, за исключением одной установки, измеряющие HF, периодически сообщают о максимальных уровнях ниже 0,66 мг/Нм³ как среднее значение за период отбора проб. Максимальное среднесуточное значение, полученное с помощью «базовой» фильтрации данных, существенно не отличается от значения, полученного с помощью «точной» фильтрации данных.

Представленные данные не демонстрируют четкой корреляции между зарегистрированными уровнями выбросов и типом или количеством используемого реагента, а также сроком эксплуатации или размером установки.

Диоксид серы

Используемые типы систем очистки дымовых газов такие же, как и для HCl, с основным отличием в том, что мокрые скрубберы работают при слегка щелочном pH (обычно 7–8).

Данные о выбросах SO₂ из 34 подотчетных объектов, сжигающих преимущественно ОО, на основе непрерывных измерений, в упрощенном виде показаны на рисунке 3.54. Соответствующие подробные графики представлены на рисунке 8.44 приложения 8.6 для суточных и годовых уровней выбросов и на рисунке 8.97 приложения 8.7 для получасовых уровней выбросов.

Для каждого диапазона концентраций выбросов, представленного на горизонтальной оси, на круговых диаграммах внизу показаны доли подотчетных объектов, оснащенных мокрым скруббером и другими технологиями (в основном ВСС), среди тех, которые достигают уровней выбросов в данном диапазоне.

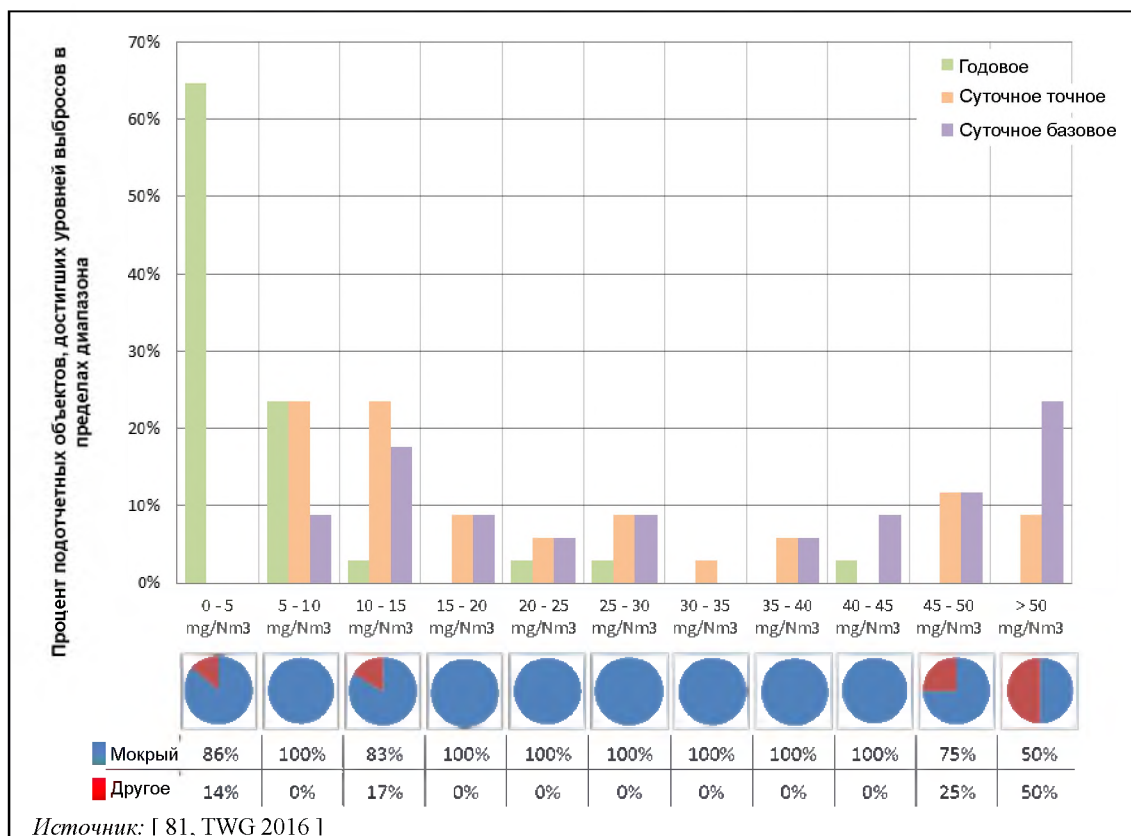


Рисунок 3.54: Постоянно контролируемые выбросы SO₂ в атмосферный воздух из подотчетных объектов, сжигающих преимущественно ОО

Уровни выбросов варьируются от близких к пределу количественного определения до 43 мг/Нм³ для среднегодового значения и от 5 мг/Нм³ до 78 мг/Нм³ для максимального среднесуточного значения. График показывает, что подавляющее большинство установок, оснащенных мокрыми технологиями очистки от загрязнений, обычно достигают уровней выбросов ниже 40 мг/Нм³ в качестве максимального среднесуточного значения («тонкая» фильтрация данных).

Для каждого диапазона концентраций выбросов, представленного на горизонтальной оси, на круговых диаграммах внизу показаны доли подотчетных объектов, оснащенных мокрым скруббером и другими технологиями (полумокрые абсорберы или ВСС), среди тех, которые достигают уровней выбросов в данном диапазоне.

Представленные данные не демонстрируют четкой корреляции между зарегистрированными уровнями выбросов и типом или количеством используемого реагента, а также сроком эксплуатации или размером установки. Большинство установок – ротационные печи.

Пыль

По сравнению с другими типами установок по сжиганию отходов, установки по сжиганию опасных отходов, которые участвовали в сборе данных 2016 года, редко оснащены рукавным фильтром (РФ) и в основном для уменьшения выбросов пыли используют ЭСФ, а мокрый скруббер выступает в качестве дополнительной стадии очистки от пыли, и в некоторых случаях в роли (мульти)-циклона для предварительной очистки. Использование неподвижного адсорбционного слоя, который, с одной стороны, может дополнительно уменьшить количество пыли, а с другой, связан со значительным падением давления, также относительно часто встречается в установках для сжигания опасных отходов.

Данные о выбросах пыли из 38 подотчетных объектов, сжигающих преимущественно ОО, основанные на постоянных измерениях, в упрощенном виде показаны на рисунке 3.55. Соответствующие подробные графики представлены на рисунке 8.45 приложения 8.6 для суточных и годовых уровней выбросов, и на рисунке 8.98 приложения 8.7 для получасовых уровней выбросов.

Для каждого диапазона концентраций выбросов, представленного на горизонтальной оси, на круговых диаграммах внизу показаны доли подотчетных объектов, оснащенных рукавным фильтром и другими технологиями (такими как ЭСФ), среди тех, которые достигают уровней выбросов в данном диапазоне.

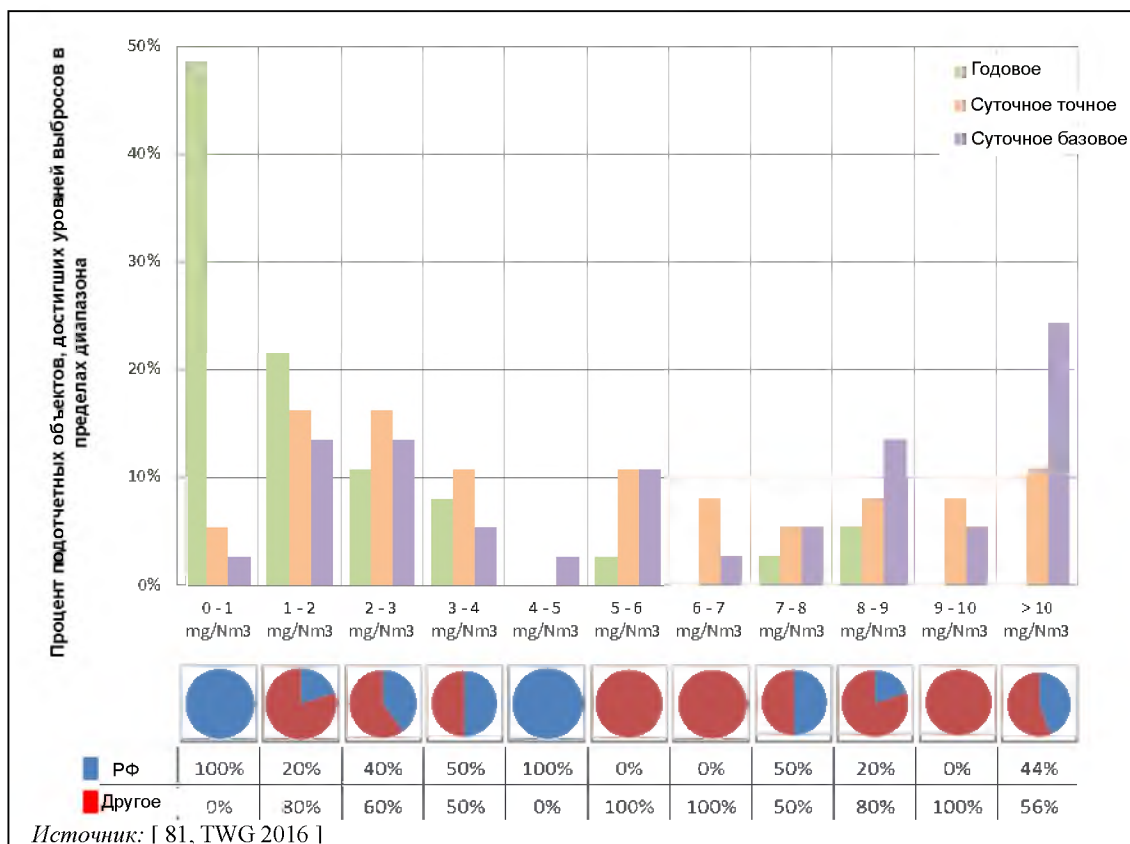


Рисунок 3.55: Постоянно контролируемые выбросы пыли в атмосферный воздух из подотчетных объектов, сжигающих преимущественно ОО

Уровни выбросов варьируются от близких к пределу количественного определения до 8,6 мг/Нм³ для среднегодового значения и 14,6 мг/Нм³ для максимального среднесуточного значения («точная» фильтрация данных). В некоторых случаях максимальное суточное среднее значение, полученное с помощью «базовой» фильтрации данных, может быть существенно выше, как правило, в связи с ситуациями за пределами НУЭ.

Из четырех станций, сообщающих о среднегодовых концентрациях выбросов выше 3,2 мг/Нм³, только установка DE32R оснащена рукавным фильтром. Схема выбросов пыли, представленная этой установкой, указывает на возможное повреждение фильтровальных рукавов.

Представленные данные не демонстрируют четкой корреляции между зарегистрированными уровнями выбросов и типом или количеством используемого реагента, а также сроком эксплуатации или размером установки. Большинство установок – ротационные печи.

Оксиды азота

Около трети установок по сжиганию отходов, которые участвовали в сборе данных 2016 года, представили сведения об отсутствии или наличии только основных технологий сокращения выбросов NO_x, еще треть использует СНКВ и оставшаяся треть СКВ.

Данные о выбросах NO_x их 38 подотчетных объектов, сжигающих преимущественно ОО, на основе постоянных измерений, в упрощенном виде показаны на рисунке 3.56. Соответствующие подробные графики представлены на рисунке 8.46 приложения 8.6 для суточных и годовых уровней выбросов и на рисунке 8.99 приложения 8.7 для получасовых уровней выбросов.

Для каждого диапазона концентрации выбросов, представленного на горизонтальной оси, на

круговых диаграммах внизу показаны доли подотчетных объектов, оснащенных СКВ, с СНКВ, но без СКВ, а также исключительно первичными технологиями, среди тех, которые достигают уровней выбросов в данном диапазоне.

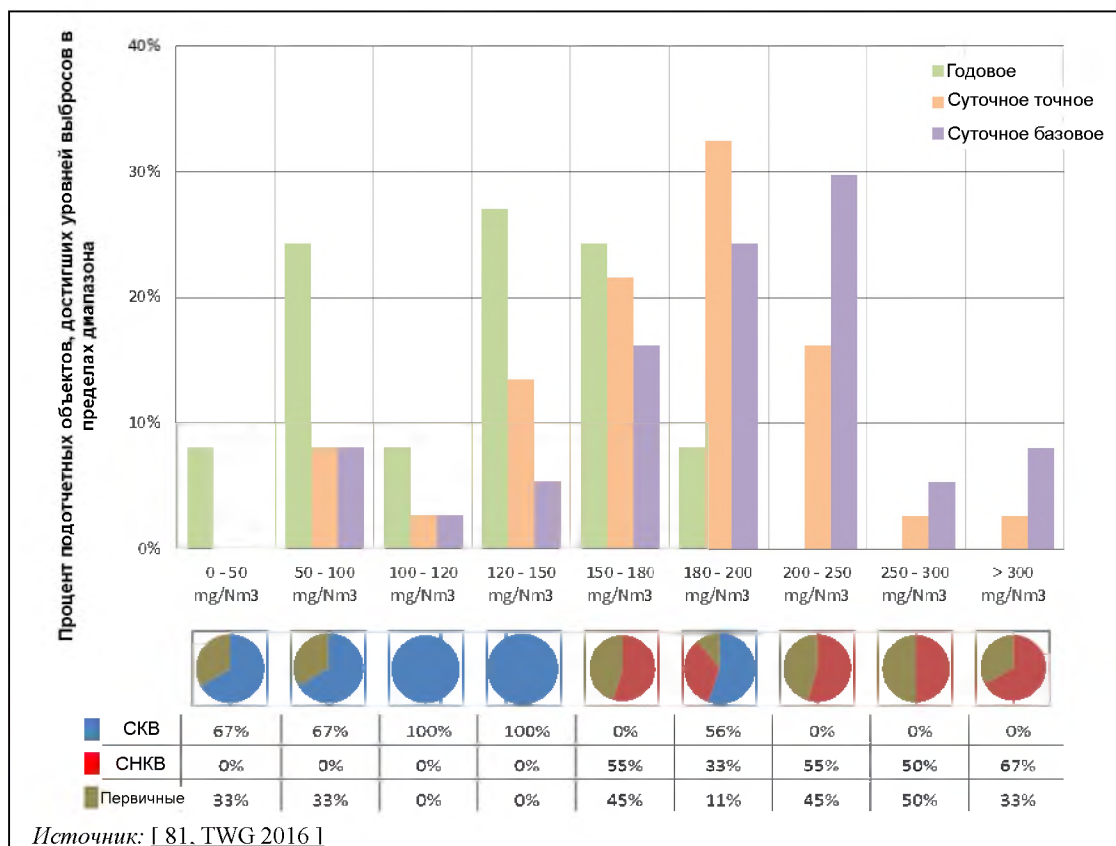


Рисунок 3.56: Постоянно контролируемые выбросы NO_x в атмосферный воздух из подотчетных объектов, сжигающих преимущественно ОО

Уровни выбросов варьируются от 26 мг/Нм³ до 197 мг/Нм³ в среднем за год и от 68 мг/Нм³ до 329 мг/Нм³ для максимального среднесуточного значения («тонкая» фильтрация данных). Значения, значительно превышающие 200 мг/Нм³, наблюдаются только на установках, оснащенных СНКВ или без вторичных технологий снижения выбросов NO_x, при этом установка FR109 оснащена СНКВ, но не представила сведений об использовании реагента (ни аммиака, ни мочевины).

На установках, оснащенных СКВ, не наблюдается значительной разницы между максимальным среднесуточным значением, полученным с помощью «базовой» и «точной» фильтрации данных, в то время как на установках, оснащенных СНКВ или без вторичных технологий очистки, эта разница, как правило, выше, и отражает более низкую внутреннюю стабильность процесса.

Представленные данные не демонстрируют четкой корреляции между зарегистрированными уровнями выбросов и типом или количеством используемого реагента, а также сроком эксплуатации или размером установки. Большинство установок – ротационные печи.

Аммиак

Выбросы аммиака связаны с утечкой реагента из СКВ или СНКВ. Основной технологией, используемой для контроля таких выбросов, является оптимизация процесса, а также хорошее обслуживание катализатора в случае СКВ. Для СНКВ эффективное удаление аммиака может быть достигнуто мокрым скруббером, работающим при низком pH. СКВ также может быть реализовано в качестве катализатора скольжения для дальнейшей реакции непрореагировавшего аммиака после того, как в системе СНКВ произошло основное восстановление.

Данные о выбросах NH₃, основанные на непрерывных или периодических измерениях, показаны в упрощенной форме на следующих рисунках в рамках этой главы и подробно в приложениях 8.6 и

8.8; получасовые уровни выбросов приведены в приложении 8.7:

- Рисунок 3.57, для 14 подотчетных объектов, сжигающих преимущественно ОО и периодически контролирурующих NH_3 . Соответствующий подробный график – рисунок 8.140. Рисунок 3.58, для 7 подотчетных объектов, сжигающих преимущественно ОО и непрерывно контролирурующих NH_3 . Соответствующие подробные графики представлены на рисунке 8.47 для суточных и годовых уровней выбросов и на рисунке 8.100 для получасовых уровней выбросов.

Для каждого диапазона концентраций выбросов, представленного на горизонтальной оси, на круговых диаграммах внизу показаны доли подотчетных объектов, оснащенных СКВ, СНКВ и нижним мокрым скруббером, а также СНКВ и технологиями сушки в нисходящем направлении, среди тех, которые достигают уровней выбросов в данном диапазоне, (выбросы от установок, не использующих вторичные технологии удаления NO_x , не имеют отношения к утечкам аммиака).

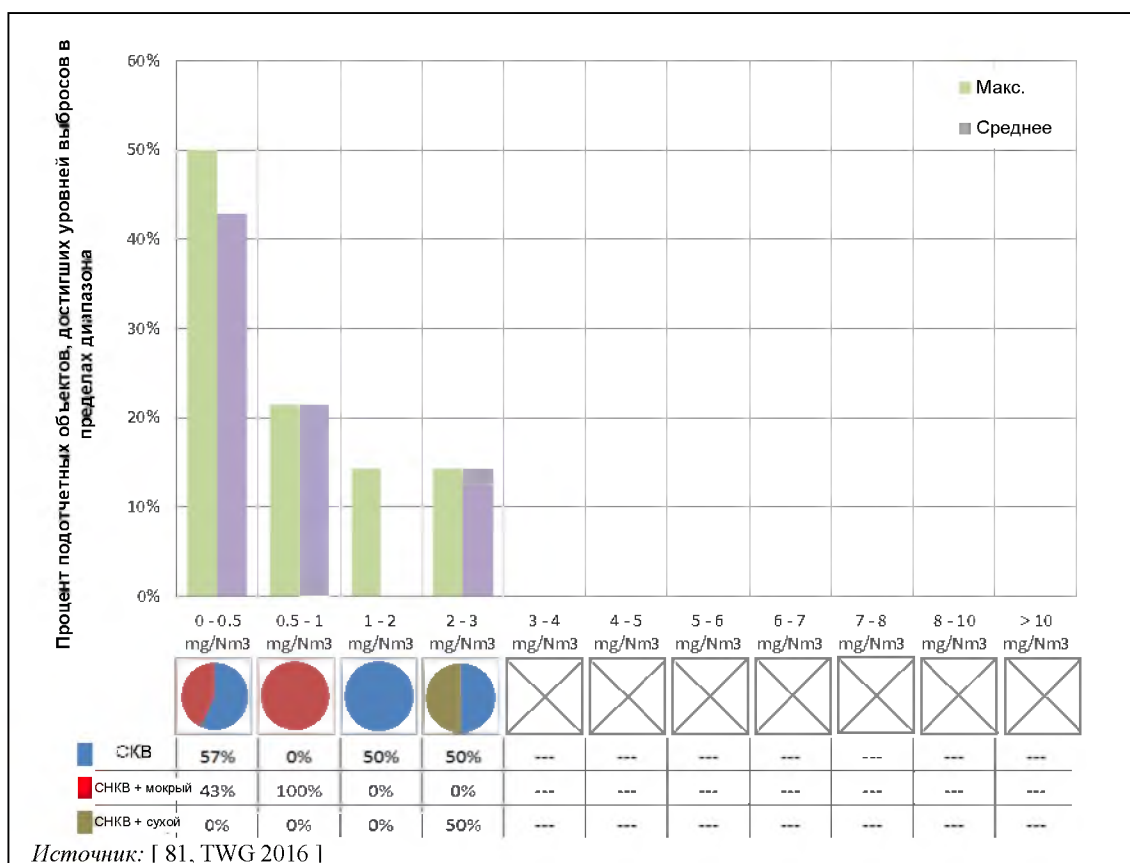


Рисунок 3.57: Периодически контролируемые выбросы NH_3 в атмосферный воздух из подотчетных объектов, сжигающих преимущественно ОО

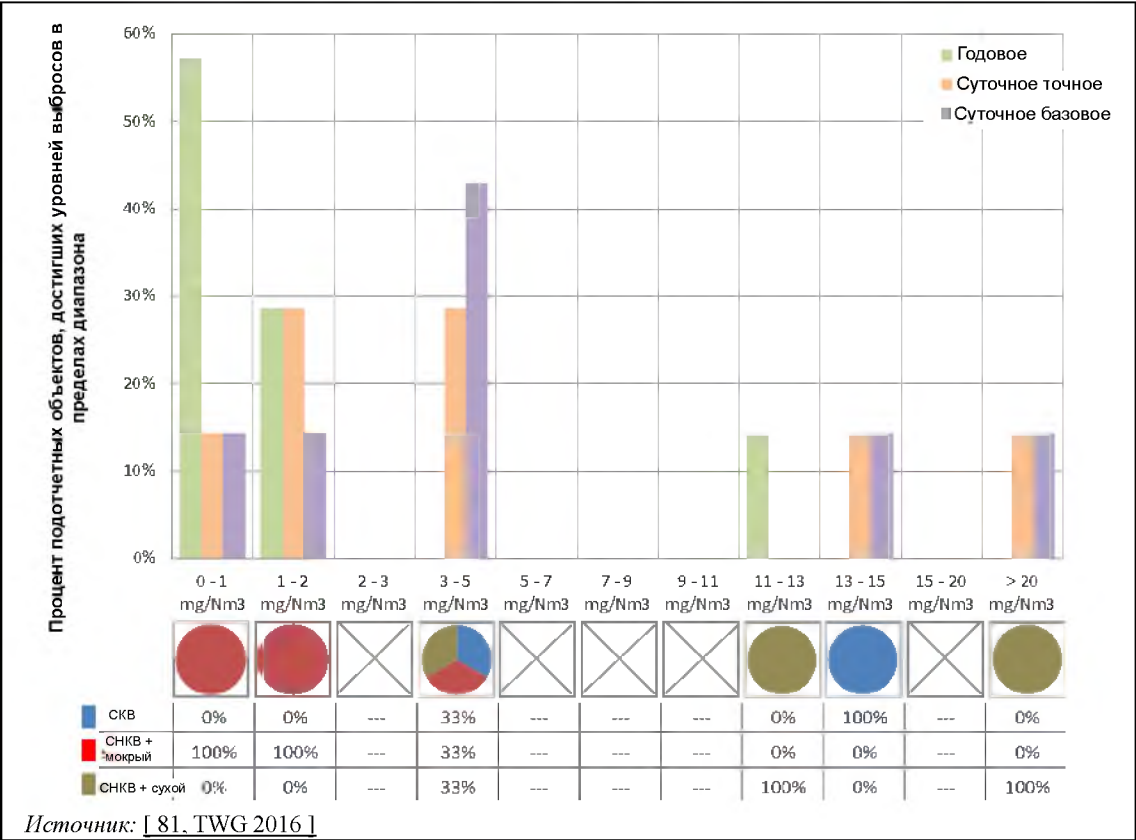


Рисунок 3.58: Постоянно контролируемые выбросы NH₃ в атмосферный воздух из подотчетных объектов, сжигающих преимущественно ОО

За исключением DE32R, который оснащен СНКВ без расположенной ниже по течению системы мокрой очистки от загрязнений и который представила сведения об уровнях выбросов NH₃, близким к 12 мг/Нм³ – среднегодовое значение, и 78 мг/Нм³ – максимальное среднесуточное значение, уровни выбросов, регистрируемые установками, контролирующими содержание аммиака, постоянно находятся в диапазоне от 0,3 мг/Нм³ до 1,8 мг/Нм³ в среднем за год и от 1 мг/Нм³ до 13 мг/Нм³ в качестве максимального среднесуточного значения.

Все установки кроме одной, представляющие данные для периодического мониторинга, оснащены системой мокрой очистки от загрязнений и сообщают о выбросах ниже 2,3 мг/Нм³.

Представленные данные не демонстрируют четкой корреляции между зарегистрированными уровнями выбросов и типом или количеством используемого реагента, а также сроком эксплуатации или размером установки. Большинство установок – ротационные печи.

TVOC

Данные о выбросах TVOC из 37 подотчетных объектов, сжигающих преимущественно ОО, основанные на постоянных измерениях, в упрощенном виде показаны на рисунке 3.59. Соответствующие подробные графики представлены на рисунке 8.48 приложения 8.6 для суточных и годовых уровней выбросов, и на рисунке 8.101 приложения 8.7 для получасовых уровней выбросов.

Для каждого диапазона концентраций выбросов, представленного на горизонтальной оси, на круговых диаграммах внизу показаны доли подотчетных объектов среди тех, которые достигают уровней выбросов в данном диапазоне, которые попадают в различные классы по размеру (пороги для малых, средних и крупных установок описаны во вступительном тексте главы 3).

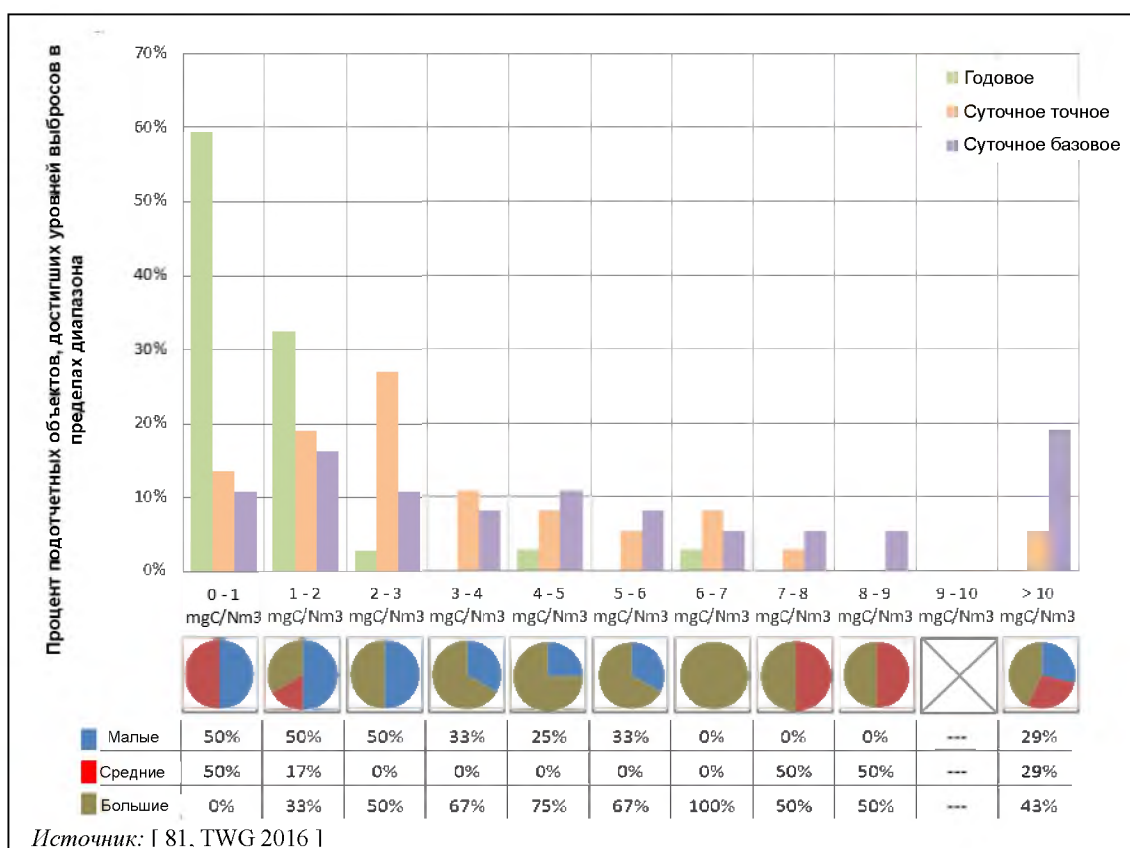


Рисунок 3.59: Непрерывный мониторинг выбросов TVOC в атмосферный воздух из подотчетных объектов, сжигающих преимущественно ОО

Во всех случаях, кроме двух, уровни выбросов варьируются от близкого к пределу количественного определения до 2 мг/Нм³ для среднегодового значения и 8 мг/Нм³ для максимального среднесуточного значения («точная» фильтрация данных).

В случае некоторых подотчетных объектов максимальное суточное среднее значение показывает более высокие пики выбросов при использовании «базовой» фильтрации данных, обычно связанной с условиями за пределами НУЭ.

Представленные данные не демонстрируют четкой корреляции между зарегистрированными уровнями выбросов и техническим оснащением установки, типом или количеством используемого реагента, а также сроком эксплуатации или размером установки. Большинство установок – ротационные печи.

Монооксид углерода

Эффективность сгорания частично описывается уровнями СО, что также указывает на образование других продуктов неполного сгорания.

СО является загрязняющим веществом, обычно ассоциируемым с низким исходным выбросом, но периодически показывающим резкие пиковые выбросы из-за внезапных изменений в местных условиях сгорания (например, изменения температуры в частях печи). Мониторинг и контроль этих пиковых выбросов является важным аспектом повседневной работы установки по сжиганию отходов. Благодаря предварительной обработке отходов в металлических бочках и равномерной подаче возможно снижение пиков СО.

Данные о выбросах СО из 38 подотчетных объектов, сжигающих преимущественно ОО, основанные на постоянных измерениях, в упрощенном виде показаны на рисунке 3.60. Соответствующие подробные графики представлены на рисунке 8.49 приложения 8.6 для суточных и годовых уровней выбросов и на рисунке 8.102 приложения 8.7 для получасовых уровней выбросов.

Для каждого диапазона концентраций выбросов, представленного на горизонтальной оси, на круговых диаграммах внизу показаны доли подотчетных объектов среди тех, которые достигают уровней выбросов в данном диапазоне, которые попадают в различные классы по размеру (пороги для малых, средних и крупных установок описаны во вступительном тексте главы 3).

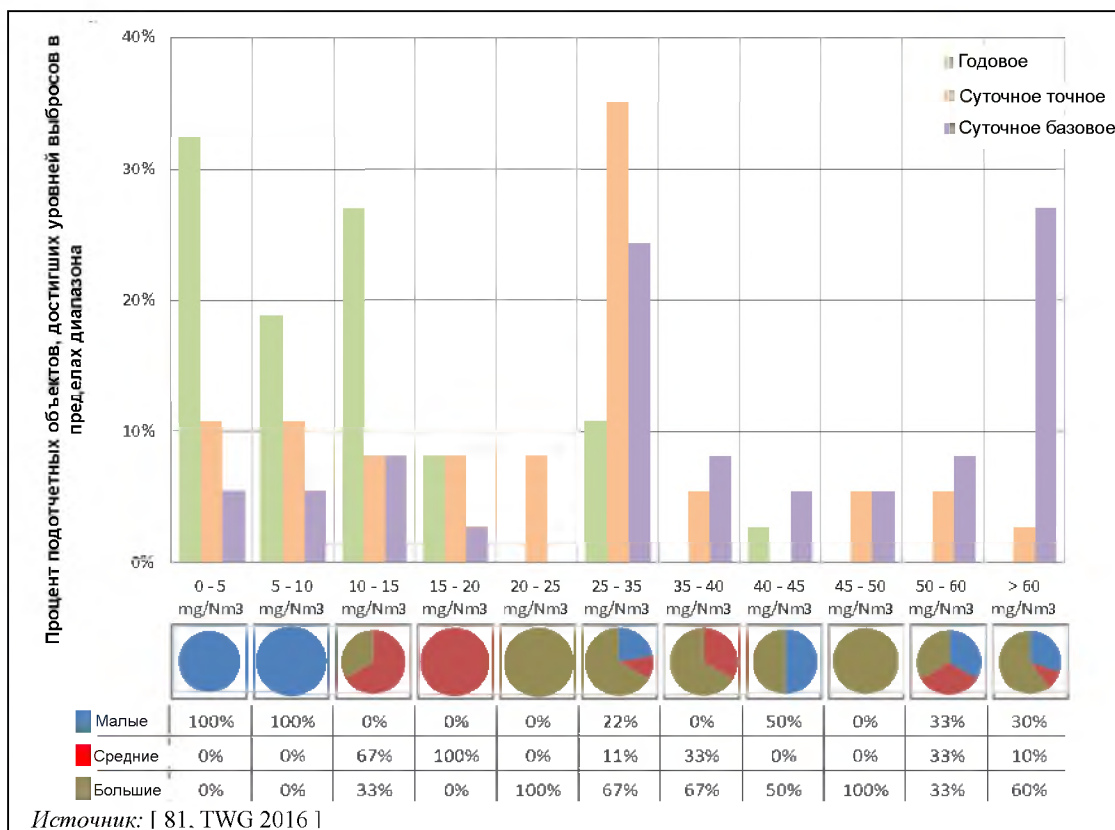


Рисунок 3.60: Постоянно контролируемые выбросы СО в атмосферный воздух из подотчетных объектов, сжигающих преимущественно ОО

Уровни выбросов варьируются от близких к пределу количественного определения до 42 мг/Нм³ для среднегодового значения и от 2 мг/Нм³ до 72 мг/Нм³ для максимального среднесуточного значения («точная» фильтрация данных). Подобно выбросам TVOC, в некоторых случаях более высокие пики выбросов наблюдаются в значениях, полученных при «базовой» фильтрации данных, как правило, связанных с ситуациями за пределами НУЭ.

Представленные данные не демонстрируют четкой корреляции между зарегистрированными уровнями выбросов и техническим оснащением установки, типом или количеством используемого реагента, а также сроком эксплуатации или размером установки. Большинство установок – ротационные печи.

ПХДД/Ф, ПХД и ПАУ

Для достижения низких уровней выбросов ПХДД/Ф важны как первичные, так и вторичные меры. В системе обжига эффективное смешивание газов (высокая турбулентность) улучшает разрушение ПХДД/Ф и аналогичных соединений, уже присутствующих в отходах. Избегая температурного интервала для рекомбинации ПХДД/Ф и подобных соединений в котле и системе очистки дымовых газов, можно избежать синтеза новых ПХДД/Ф *de novo*.

Для дальнейшего сокращения выбросов этих веществ используются четыре основных технологии:

1. фильтр с активированным углем или с подвижным слоем;
2. рукавный фильтр с впрыском активированного угля (обычно смешанный с другими реагентами);
3. разрушение газообразного ПХДД/Ф на катализаторе;
4. адсорбция ПХДД/Ф на элементах упаковки из пропитанного углеродом полимерного материала

в мокрых скрубберах или на статических слоях.

Преимущество использования активированного угля заключается также в сокращении выбросов ртути. Катализаторы в основном используются для снижения выбросов NO_x .

Данные о выбросах ПХДД/Ф из 37 подотчетных объектов, сжигающих преимущественно ОО, основанные на периодических измерениях, в упрощенном виде представлены на рисунке 3.61. Соответствующий подробный график – рисунок 8.141 приложения 8.8.

Для каждого диапазона концентраций выбросов, представленного на горизонтальной оси, на круговых диаграммах внизу показаны доли подотчетных объектов, оснащённых неподвижным слоем адсорбции, без неподвижного адсорбционного слоя (АС) и мокрого скруббера, а также без фиксированного адсорбционного слоя и технологий сухой ОДГ, среди тех, которые достигают уровней выбросов в данном диапазоне.

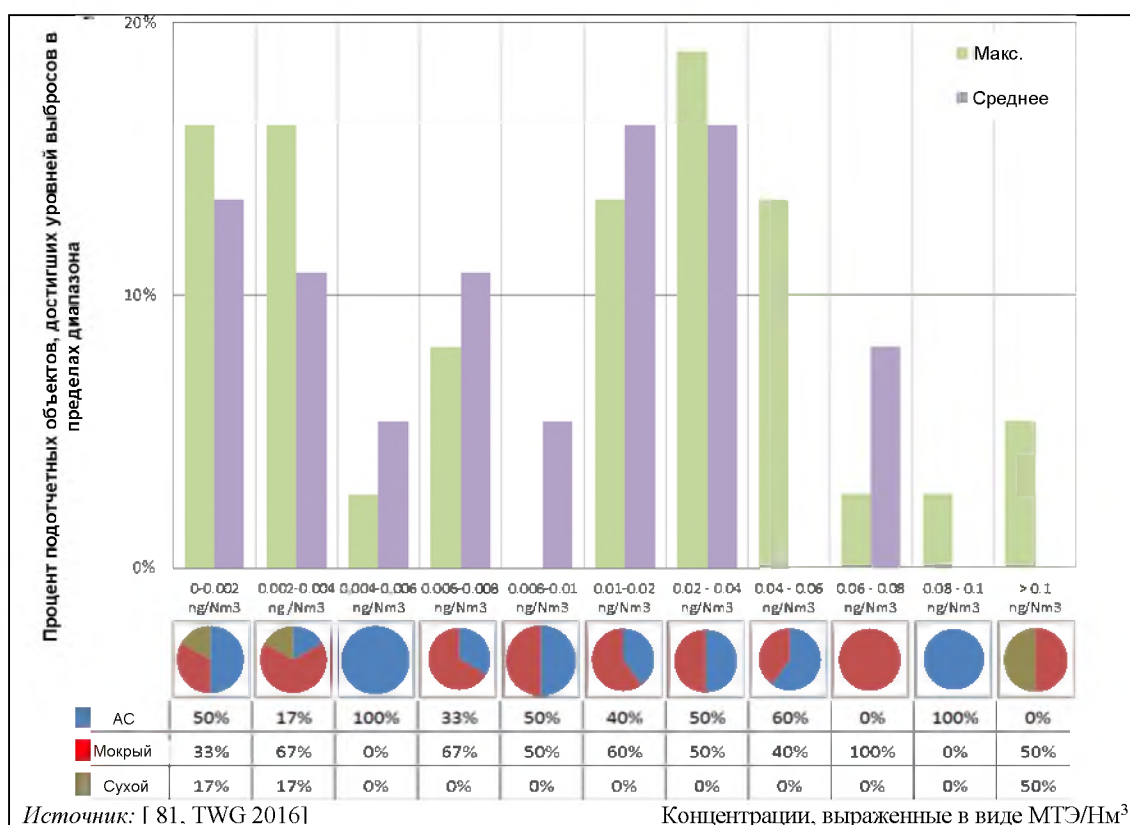


Рисунок 3.61: Периодически контролируемые выбросы ПХДД/Ф в атмосферный воздух из подотчетных объектов, сжигающих преимущественно ОО

Уровни выбросов колеблются во всех случаях, кроме пяти, между близкими к пределу количественного определения и 0,06 нг МТЭ/Нм³, за исключением одного подотчетного объекта, показывающей уровень 0,06 нг МТЭ/Нм³, как для среднего значения за период выборки, так и для длительного периода времени. В трех случаях максимальные уровни выбросов превышают 0,1 нг МТЭ/Нм³. Все установки, оборудованные неподвижным адсорбционным слоем, имеют уровни выбросов ниже 0,1 нг МТЭ/Нм³, и только на одной выбросы превышают 0,06 нг МТЭ/Нм³.

Представленные данные не демонстрируют четкой корреляции между зарегистрированными уровнями выбросов и количеством используемого реагента, а также сроком эксплуатации или размером установки. Большинство установок – ротационные печи.

Описанные до настоящего времени данные о выбросах ПХДД/Ф касаются только выбросов, измеряемых периодически с типичным (кратковременным) временем отбора проб 6–8 часов. Вместе с тем растет и опыт долгосрочных измерений выбросов ПХДД/Ф, отобранных в периоды, обычно составляющие 2–4 недели.

В целях сравнения уровней выбросов, измеренных с помощью краткосрочной и долгосрочной выборки, данные о выбросах были представлены 142 подотчетными объектами, в том числе 25 объектами СОО в Бельгии и Франции, которые проводили как долгосрочные, так и краткосрочные измерения в течение одного периода времени. Эти данные представлены и проанализированы в приложении 8.9.

Полихлорированные дифенилы (ПХД) и полициклические ароматические углеводороды (ПАУ) удаляются теми же технологиями, что и ПХДД/Ф, в связи с чем система очистки ОДГ для ПХДД/Ф будет одинаково эффективной для очистки ПХД и ПАУ.

На рисунке 8.142 представлены данные, основанные на периодических измерениях, о выбросах диоксиноподобных ПХБ с установок, сжигающих преимущественно ТКО.

Данные об уровнях выбросов для диоксиноподобных ПХД были представлены шестью подотчетными объектами. Максимальное зарегистрированное значение составляет 0,18 нг ВОЗ-КТЭ. Это единственный случай, когда уровень выбросов диоксиноподобных ПХД превышал уровень выбросов ПХДД/Ф (см. рисунок 8.117).

Данные о выбросах ПАУ и БаП основаны на периодических измерениях и представлены в приложении 8.8 на следующих рисунках:

- Рисунок 8.143, Выбросы ПАУ из 9 подотчетных объектов, сжигающих преимущественно ОО;
- Рисунок 8.144, Выбросы БаП из 13 подотчетных объектов, сжигающих преимущественно ОО.

Уровни выбросов варьируются от 0,003 мкг/Нм³ до 21 мкг/Нм³ для ПАУ. Зарегистрированные выбросы БаП в основном ниже 0,025 мкг/Нм³, при этом три подотчетных объекта сообщили об уровнях от 0,2 мкг/Нм³ до 0,3 мкг/Нм³.

Уровни колеблются между близкими к пределу количественного определения и 0,011 нг МТЭ/Нм³, за исключением одного подотчетного объекта, показывающего уровень 0,06 нг МТЭ/Нм³.

Ртуть

подавляющее большинство установок использует активированный уголь либо в качестве системы с неподвижным слоем, либо в системе впрыска активированного угля с вовлеченным потоком. Норма расхода, а также качество активированного угля (например, бромированного или пропитанного серой) непосредственно влияют на уровни выбросов. Другими менее часто используемыми технологиями являются использование цеолитов или улавливание ртути в кислотном мокром скруббере, который может служить поглотителем ртути, если она присутствует в форме хлорида Hg (II). Ртуть, которая была перенесена из газового потока в раствор скруббера, затем может быть удалена с помощью станции очистки сточных вод.

Если ртуть присутствует в металлической форме, необходимо использовать окислители; такие как впрыск бромированного активированного угля или добавление брома в котле. Некоторые установки для сжигания ОО для ускорения окисления ртути используют реагенты, такие как перекись водорода, и, таким образом, значительно увеличивают ее улавливание во влажном скруббере (см. Методы удаления ртути). [74, TWG 2004]

При определенных условиях (например, высокая скорость ввода ртути) пределы пропускной способности систем ОДГ могут быть превышены, что приведет к временно повышенным выбросам ртути. Это может быть отражено случаями, когда уровни производительности подотчетного объекта для различных периодов усреднения показывают большие вариации.

Ртуть в дымовых газах происходит из ртутьсодержащих отходов. Существует прямая линейная зависимость между количеством ртути в неочищенных дымовых газах и количеством ртути в отходах. Для одной установки, оборудованной мокрым скруббером и фильтром с активированным углем, подсчитано, что общее поступление ртути с отходами составляет 1 000 кг/год для установки с мощностью сжигания 50 000 т/г. Учитывая, что максимальный годовой выброс ртути через дымовые газы меньше 1,25 кг, это означает, что общая эффективность удаления составляет 99,99%.

В установки с постоянным или краткосрочным высоким содержанием ртути возможны оперативные меры, такие как добавление серосодержащих реагентов в систему мокрой очистки или впрыскивание высокоактивного бромированного или пропитанного серой активированного угля для повышения эффективности удаления ртути. Поэтому очень важен скрининг поступления отходов, содержащих ртуть, и/или непрерывный мониторинг концентраций ртути.

Данные о выбросах ртути основаны либо на постоянных, либо на периодических измерениях и в упрощенной форме показаны на следующих рисунках в этой главе и подробно в приложениях 8.6 и 8.8; получасовые уровни выбросов приведены в приложении 8.7:

- Рисунок 3.62, для уровней выбросов 27 подотчетных объектов, сжигающих преимущественно ОО и периодически контролирующих Hg. Соответствующий подробный график – рисунок 8.145.
- Рисунок 3.63, для суточных и годовых уровней выбросов 11 подотчетных объектов, сжигающих преимущественно ОО и непрерывно контролирующих Hg. Соответствующий подробный график – рисунок 8.50.
- Рисунок 3.64, для получасовых уровней выбросов 11 подотчетных объектов, сжигающих преимущественно ОО и непрерывно контролирующих Hg. Соответствующий подробный график – рисунок 8.103.
- Рисунок 3.65, для ежемесячных уровней выбросов 11 подотчетных объектов, сжигающих преимущественно ОО и непрерывно контролирующих Hg. Соответствующий подробный график – рисунок 8.104.

Для каждого диапазона концентраций выбросов, представленного на горизонтальной оси, на круговых диаграммах внизу показаны доли подотчетных объектов, оснащённых неподвижным слоем адсорбции, без неподвижного адсорбционного слоя (АС) и мокрого скруббера, а также без фиксированного адсорбционного слоя и сухих технологий ОДГ, среди тех, которые достигают уровней выбросов в данном диапазоне.

Месячные уровни, представленные на рисунке 3.65, получены на основе данных непрерывного мониторинга и обеспечивают определение уровней выбросов, зарегистрированных при измерении ртути с периодом усреднения, типичным для долгосрочных методов отбора проб. Для месячных уровней, на которые вряд ли влияют краткосрочные пики, представлен только «базовый» режим фильтрации.

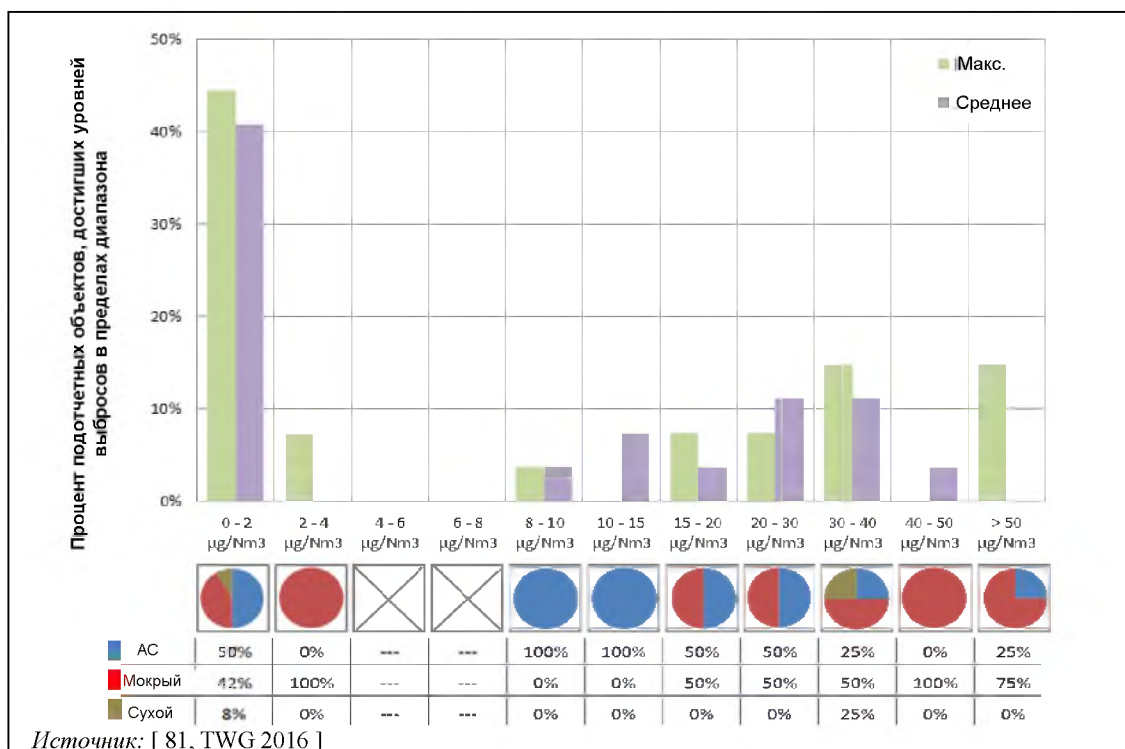


Рисунок 3.62: Периодически контролируемые выбросы ртути в атмосферный воздух из подотчетных объектов, сжигающих преимущественно ОО

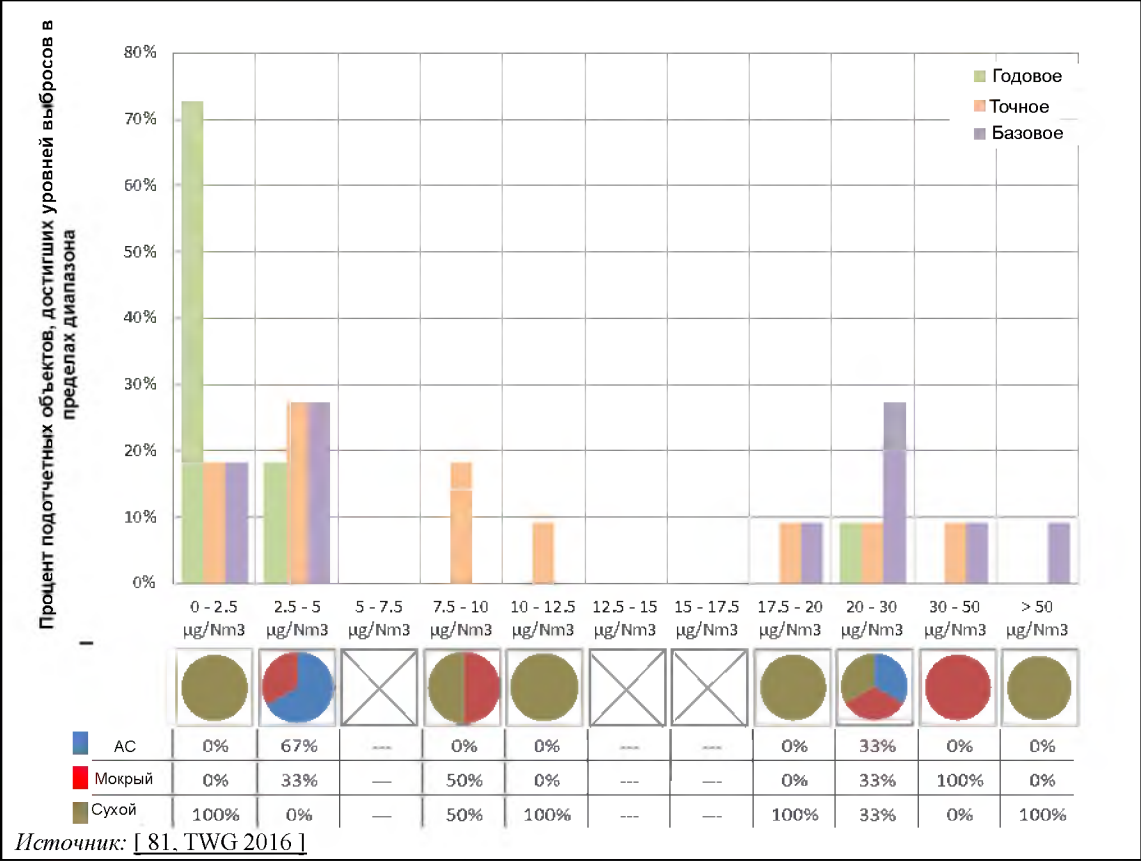


Рисунок 3.63: Постоянно контролируемые выбросы ртути в атмосферный воздух из подотчетных объектов, сжигающих преимущественно ОО: ежедневные и годовые уровни выбросов

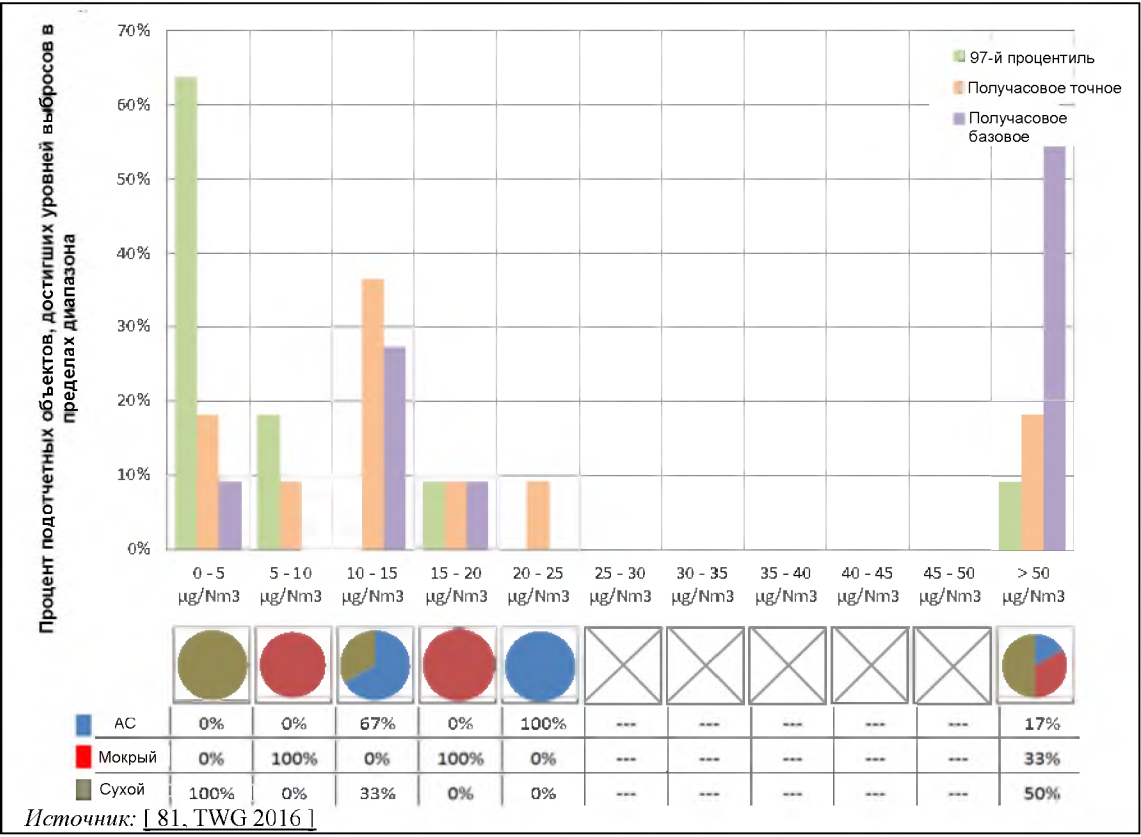


Рисунок 3.64: Постоянно контролируемые выбросы ртути в атмосферный воздух из подотчетных объектов, сжигающих преимущественно ОО: получасовые

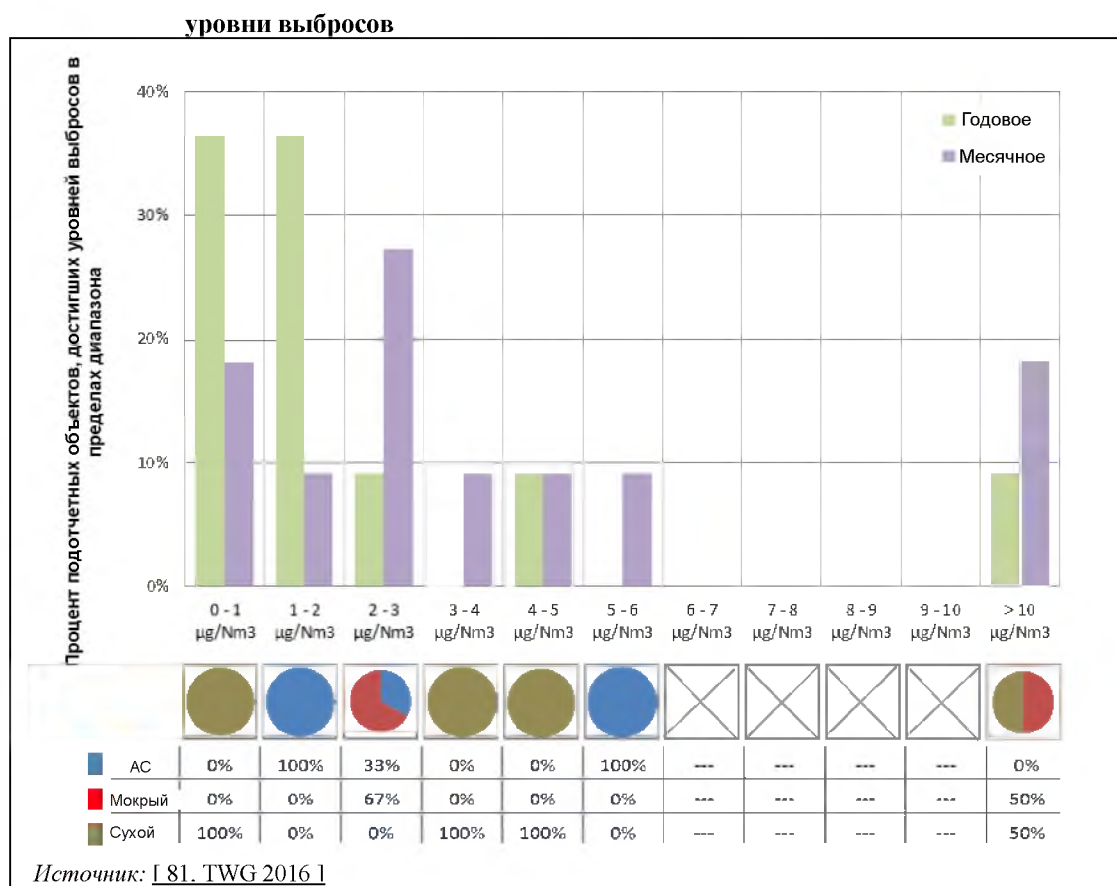


Рисунок 3.65: Постоянно контролируемые выбросы ртути в атмосферный воздух из подотчетных объектов, сжигающих преимущественно ОО: месячные уровни выбросов

За исключением одной установки (FR110), уровни выбросов варьируются от близких к пределу количественного определения до $0,004 \text{ мг/Нм}^3$ в среднем за год, $0,01 \text{ мг/Нм}^3$ в среднем за месяц и $0,024 \text{ мг/Нм}^3$ в качестве максимального среднесуточного значения. («тонкая» фильтрация данных). В некоторых случаях максимальное среднесуточное значение, полученное с помощью «базовой» фильтрации данных, может быть существенно выше (до $0,036 \text{ мг/Нм}^3$), что может отражать не только случаи с высоким содержанием ртути, но и ситуации за пределами НУЭ, где среднесуточное значение обычно включает лишь некоторые получасовые периоды и периоды, когда измеренные уровни ртути повышены.

Установка FR110 сообщила об уровне $0,021 \text{ мг/Нм}^3$ как среднегодовое значение, $0,04 \text{ мг/Нм}^3$ как максимальное среднемесячное значение, а максимальные среднесуточные значения охватывали диапазон от $0,032 \text{ мг/Нм}^3$ до $0,38 \text{ мг/Нм}^3$ с «тонкой» и «базовой» фильтрацией данных.

Более половины установок, на которых осуществляется измерение выбросов ртути, периодически сообщают о средних показателях за период отбора проб ниже $0,003 \text{ мг/Нм}^3$, восемь установок сообщали об уровнях между $0,009 \text{ мг/Нм}^3$ и $0,038 \text{ мг/Нм}^3$, а четыре установки сообщали значения от $0,054 \text{ мг/Нм}^3$ до $0,095 \text{ мг/Нм}^3$. Большинство установок с улучшенными характеристиками используют неподвижный адсорбционный слой и/или впрыскивают перекись водорода в мокрый скруббер. Одно предприятие, сообщившее об использовании мокрого скруббера с перекисью водорода (SE21R), сообщило о максимальном уровне, превышающем $0,06 \text{ мг/Нм}^3$, но было установлено, что это связано с неисправностью установки очистки сточных вод, что привело к повторному впрыску загрязненной ртутью воды в систему охлаждения.

Представленные данные не демонстрируют четкой корреляции между зарегистрированными уровнями выбросов и количеством используемого активированного угля, а также сроком эксплуатации или размером установки. Большинство установок – ротационные печи.

Сурьма, мышьяк, хром, кобальт, медь, свинец, марганец, никель и ванадий

Для уменьшения выбросов металлов, связанных с пылью, в основном используются те же технологии, что и для удаления пыли.

Данные о выбросах [Sb+As+Cr+Co+Cu+Pb+Mn+Ni+V], основанные на периодических измерениях, показаны в упрощенном виде на рисунке 3.66 для 34 подотчетных объектов, сжигающих преимущественно ОО. Соответствующий подробный график – рисунок 8.146 приложения 8.8.

Для каждого диапазона концентраций выбросов, представленного на горизонтальной оси, на круговых диаграммах внизу показаны доли подотчетных объектов, оснащенных рукавным фильтром и другими технологиями (такими как ЭСФ), среди тех, которые достигают уровней выбросов в данном диапазоне.

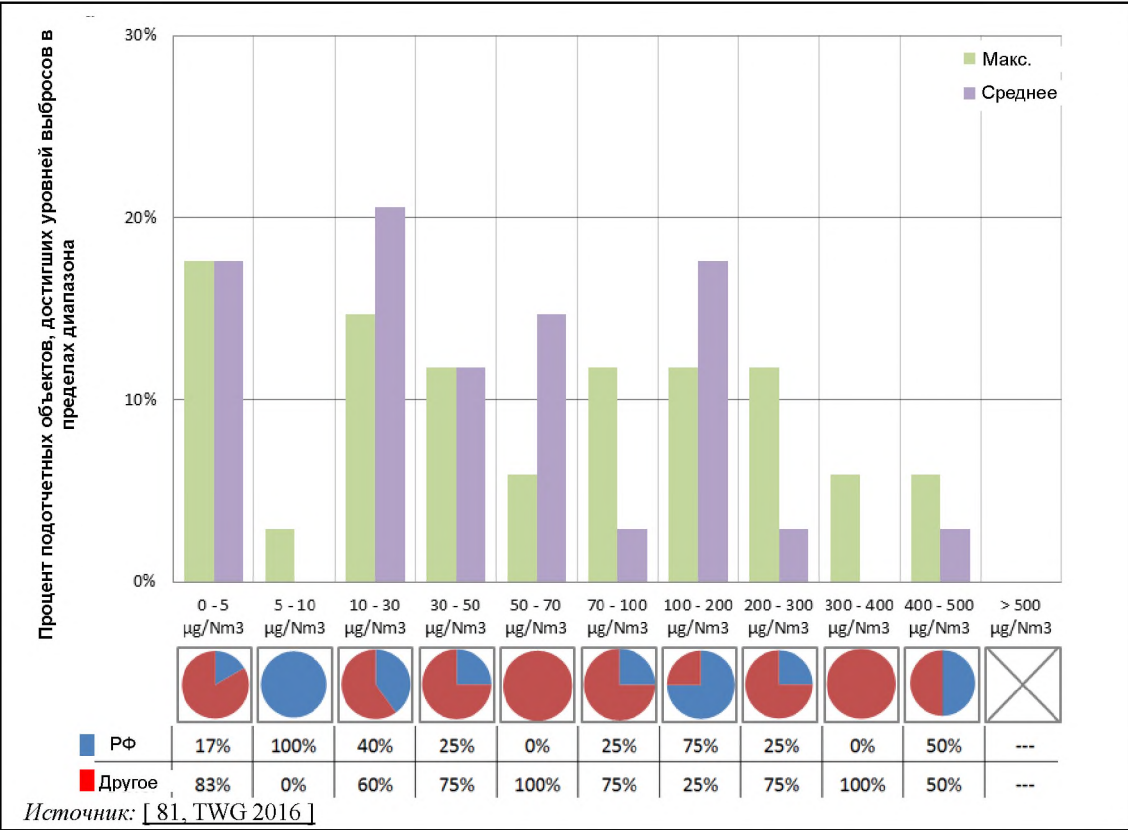


Рисунок 3.66: Периодически контролируемые выбросы Sb+As+Cr+Co+Cu+Pb+Mn+Ni+V в атмосферный воздух из подотчетных объектов, сжигающих преимущественно ОО

Уровни выбросов колеблются между близким к пределу количественного определения и 0,33 мг/Нм³, за исключением двух подотчетных объектов, демонстрирующих уровни 0,48 мг/Нм³, как максимумы средних значений за период отбора проб.

Все четыре установки, сообщившие об уровнях выше 0,3 мг/Нм³, являются небольшими, и две из них – это печи, в которых сжигаются жидкие остатки химической промышленности.

Кадмий и таллий

Для уменьшения выбросов металлов, связанных с пылью, в основном используются те же технологии, что и для удаления пыли.

Данные о выбросах [Cd+Tl], основанные на периодических измерениях, в упрощенном виде представлены на рисунке 3.67 для 32 подотчетных объектов, сжигающих преимущественно ОО. Соответствующий подробный график – рисунок 8.147 приложения 8.8.

Для каждого диапазона концентраций выбросов, представленного на горизонтальной оси, на круговых диаграммах внизу показаны доли подотчетных объектов, оснащенных рукавным фильтром и другими технологиями (такими как ЭСФ), среди тех, которые достигают уровней выбросов в данном диапазоне.

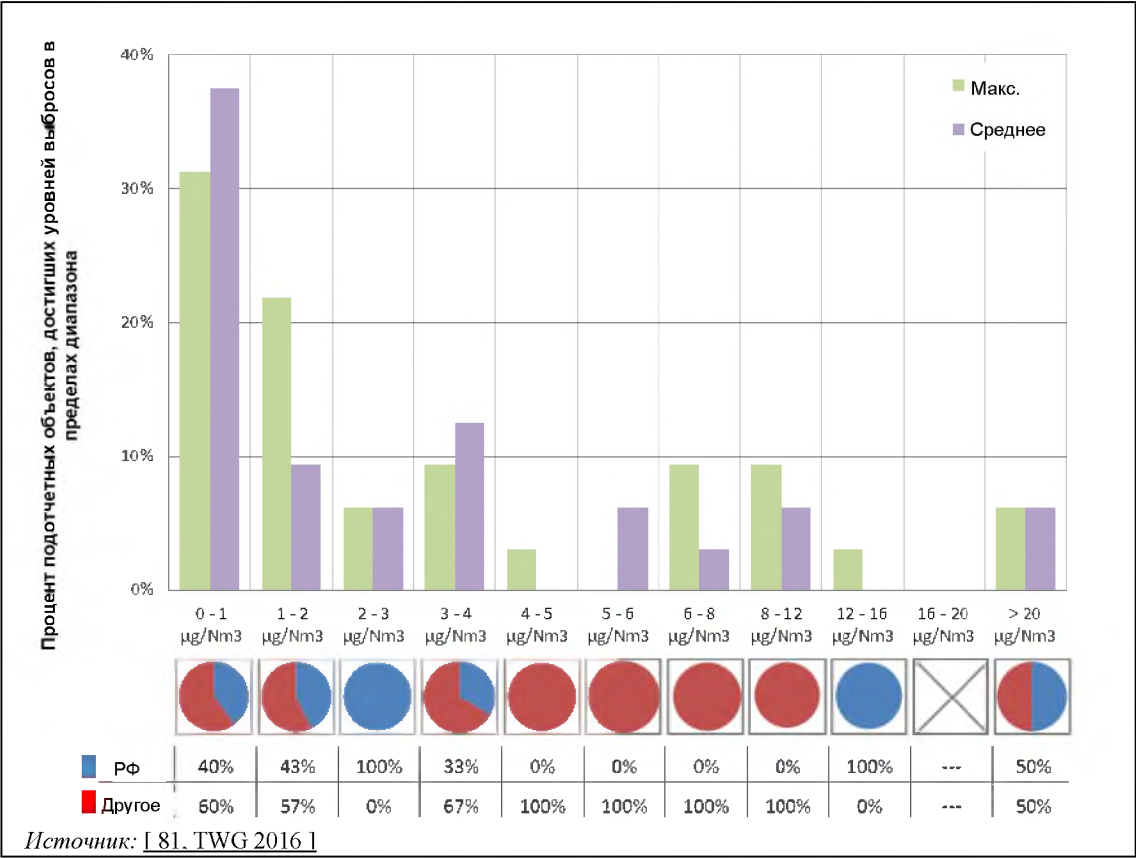


Рисунок 3.67: Периодически контролируемые выбросы Cd+Tl в атмосферный воздух из подотчетных объектов, сжигающих преимущественно ОО

Уровни выбросов находятся между близким к пределу количественного определения и 0,021 мг/Нм³, за исключением подотчетного объекта FR107R – печи, сжигающей жидкие остатки от химической промышленности, в которой зарегистрирован уровень 2,83 мг/Нм³ – максимум средних значений за период выборки.

Представленные данные не демонстрируют четкой корреляции между зарегистрированными уровнями выбросов и техническим оснащением установок, сроком эксплуатации и размером установки.

3.2.2.4 Выбросы в атмосферный воздух при сжигании медицинских отходов

Сбор данных за 2016 год включает в себя три подотчетных объекта, на которых преимущественно сжигаются медицинские отходы. Только один из них предоставил достаточно полные данные непрерывного мониторинга. В Таблице 3.7 обобщены данные постоянного контроля на заводе по сжиганию медицинских отходов.

Таблица 3.7: Постоянно контролируемые выбросы от подотчетных объектов, сжигающих преимущественно медицинские отходы

		NO _x (мг/Нм³)	CO (мг/Нм³)	Пыль (мг/Нм³)

Подотчетный объект	Технологии	Макс. Суточн. Базовые	Макс. Суточн. Точные	Годовые	Макс. Суточн. Базовые	Макс. Суточн. Точные	Годовые	Макс. Суточн. Базовые	Макс. Суточн. Точные	Годовые
NL04	РФ, МС, ВСС, СКВ	91.7	91.7	63.9	46.5	23.0	10.5	0.14	0.14	0.09
Примечание: NL04 - газификационная установка (срок эксплуатации завода = старый, размер завода = маленький). Используемые методы: РФ = рукавный фильтр; МС= мокрый скруббер; ВСС= впрыск сухого сорбента; СКВ= селективное каталитическое восстановление. Источник: [81, TWG 2016]										

Установка представляет собой газификационную установку, оснащенную СКВ для снижения NO_x , показатели которого достигают ниже 100 мг/Нм^3 для максимального среднесуточного значения.

Среднегодовой уровень выбросов CO составляет $10,5 \text{ мг/Нм}^3$, а максимальный среднесуточный уровень составляет 23 мг/Нм^3 – полученный с «тонкой» фильтрацией данных, и $46,5 \text{ мг/Нм}^3$ – с «базовой» фильтрацией данных.

Отмеченные выбросы пыли являются чрезвычайно низкими и стабильными, с минимальной разницей между среднегодовым ($0,09 \text{ мг/Нм}^3$) и максимальным среднесуточным ($0,14 \text{ мг/Нм}^3$). Подотчетный объект снабжен рукавным фильтром.

В таблице 3.8 и таблице 3.9 обобщены периодически отслеживаемые данные о выбросах из трех подотчетных объектов, сжигающих преимущественно медицинские отходы, которые участвовали в сборе данных 2016 года.

Таблица 3.8: Периодически контролируемые выбросы из подотчетных объектов, сжигающих преимущественно медицинские отходы (1/2)

Подотчетный объект	Технологии	Используемые реагенты	Hg (мг/Нм^3)		Cd+Tl (мг/Нм^3)		Сумма металлов (мг/Нм^3)	
			Макс.	Сред.	Макс.	Сред.	Макс.	Сред.
UK14.1	РФ, ВСС	Гидр. известь, актив. уголь	0.02	0.0003	0.004	0.001 0.2	0.202	0.160
UK14.2	РФ, ВСС	Гидр. известь, актив. уголь	0.02	NI	0.004	NI	0.202	NI

Примечание: см. примечания в таблице 3.9.

Таблица 3.9: Периодически контролируемые выбросы из подотчетных объектов, сжигающих преимущественно медицинские отходы (2/2)

Подотчетный объект	Технологии	Используемые реагенты	HF (мг/Нм^3)		ПХДД/Ф (нг МТЭ/Нм^3)		ПХБ (нг ВОЗ-КТЭ/Нм^3)		ПАУ (мкг/Нм^3)	
			Макс.	Сред.	Макс.	Сред.	Макс.	Сред.	Макс.	Сред.
UK14.1	РФ, ВСС	Гидр. известь, актив. уголь	1.2	0.4	0.02	0.006	0.011	0.006	3.2	1.9
UK14.2	РФ, ВСС	Гидр. известь, актив. уголь	1.2	NI	0.02	NI	0.011	NI	3.2	NI
NL04	РФ, МС, ВСС, СКВ	NI	0	NI	0.01	NI	NI	NI	NI	NI

Примечание:

NI = Информация не предоставлена.

Данные по выбросам не предоставлены: NH_3 , БАП.

UK14.1 и UK 14.2 – это подотчетные объекты с типом печи = другой, срок эксплуатации установки = старая/модернизация к текущей конфигурации после 2006 года, размер = маленький.

NL04 – газификационная установка (срок эксплуатации = старая, размер установки = небольшая).

Используемые методы: РФ = рукавный фильтр; МС = мокрый скруббер; ВСС = впрыск сухого сорбента; СКВ = селективное каталитическое восстановление.

Используемые реагенты: гидр. известь= высокоповерхностная/высокопористая гидратированная известь, актив. уголь – активированный уголь.

Источник: [81, TWG 2016]

3.3 Выбросы в воду

3.3.1 Объемы сточных вод, образующихся при очистке дымовых газов

[1, UBA 2001]

В процессе сжигания основное количество сточных вод образуется при работе систем мокрой ОДГ. Другие типы систем очистки дымовых газов (сухие и полусухие) обычно не приводят образованию каких-либо сточных вод. В некоторых случаях сточная вода из систем мокрой ОДГ испаряется, в других – очищается, используется повторно и/или сбрасывается.

В таблице 3.10 приведены примеры типичных объемов скрубберной воды, образующейся при очистке дымовых газов на установках по сжиганию отходов.

Таблица 3.10: Типичные объемы скрубберной воды, образующейся в процессе ОДГ, на установках по сжиганию отходов с низким содержанием хлора

Тип установки и пропускная способность	Тип ОДГ	Прибл. количество сточных вод (м³/т отходов)
Установка по сжиганию коммунальных отходов с пропускной способностью 250 000 т/г	2 ступени, с известковым молоком	0.15 (расчетное значение)
Установка по сжиганию коммунальных отходов с пропускной способностью 250 000 т/г	2 ступени, с гидроксидом натрия (перед конденсационной установкой)	0.3 (рабочее значение)
Установка по сжиганию опасных отходов с пропускной способностью 60 000 т/г	2 ступени, с известковым молоком	0.15 (среднегодовое значение)
Установка по сжиганию опасных отходов с пропускной способностью 30 000 т/г	2 ступени, с гидроксидом натрия	0.2 (среднегодовое значение)
Источник: [1, UBA 2001]		

3.3.2 Другие потенциальные источники образования сточных вод на установках по сжиганию отходов

[1, UBA 2001]

Помимо сточных вод, образующихся при очистке дымовых газов, они также могут возникать из ряда других источников.

Сбор, обработка и хранение зольного остатка

Сточные воды от процессов обращения с золой обычно можно повторно использовать в качестве источника воды для системы сброса мокрого зольного остатка, поэтому нет необходимости ее сливать. Однако важно иметь достаточную емкость для хранения (и обработки), чтобы справиться с колебаниями уровней хранения, вызванными дождями. Как правило, используются следующие варианты очистки от избытка воды: слив в имеющуюся систему очистки сточных вод; слив в местную канализацию; и/или специальное удаление. Этот тип сточных вод может быть повторно использован в системе ОДГ, если является подходящего качества, как правило, после очистки путем отстаивания, фильтрации и т.д.

Котельные работы

Сточные воды из котлов (образующиеся в результате подготовки питательной воды для котлов и дренажа котлов), как правило, не нужно сливать, так как они могут быть повторно использованы в мусоросжигательной установке и системе ОДГ. Однако рециркуляция сточных вод в систему ОДГ

возможна только в случае полувлажных или мокрых систем, и, если их качество является подходящим; в противном случае сточные воды сливаются (в основном из-за высокого содержания соли).

Санитарные сточные воды

Образуются от туалетов, кухонь и уборки помещений. Обычно они сливаются в канализационную систему для очистки на коммунальных очистных сооружениях. Если подключение к местной канализации невозможно, то может быть использован септик (отстойник). Поскольку эта категория сточных вод не является специфической для процесса сжигания отходов, то далее в этом документе она не обсуждается.

Чистая дождевая вода

Накапливается из-за дождя, попадающего на незагрязненные поверхности, такие как крыши, служебные дороги и места для парковки. Обычно эта «чистая» вода собирается отдельно от технической воды и сливается непосредственно в местные поверхностные водоемы или в дренажные колодцы. Предварительная обработка может потребоваться для дождевой воды с дорог или парковок.

Загрязненная дождевая вода

Накапливается из-за дождя, попадающего на загрязненные поверхности, такие как зоны разгрузки. Обычно эти воды отделяются от чистой дождевой воды и могут обрабатываться перед использованием или сбросом.

Охлаждающая вода

Безусловно, наибольшая холодопроизводительность требуется, когда используется охлаждение водяным конденсатором, то есть для производства электроэнергии с паровой турбиной. В зависимости от конструкции установки необходимо будет удалить различные потоки охлаждающей воды, в том числе:

- вода от конвекционного охлаждения конденсатора, к которому подключена паровая турбина;
- вода от системы охлаждения испарительного типа;
- вода от другого оборудования, требующего охлаждения; желоб (водосбросный лоток), гидравлические системы, стрипперы и т.д.

Эти потоки охлаждающей воды не являются специфическими для сжигания отходов; они описаны в Справочном документе по применению наилучших доступных технологий для промышленных систем охлаждения, опубликованном в декабре 2001 года.

Конденсированные сточные воды от частичной предварительной сушки осадка сточных вод

Этот тип сточных вод специфичен для сжигания осадка сточных вод, хотя он возникает не во всех случаях, так как иногда пар, образующийся во время сушки, не конденсируется, а испаряется вместе с дымовыми газами установки по сжиганию. Как правило, он имеет высокую химическую потребность в кислороде (ХПК) и содержит значительные концентрации азота (в основном NH_3), а также других загрязняющих веществ, которые изначально присутствовали в обработанном осадке сточных вод. Высокое содержание азота может стать проблемой для обработки; в этом случае может использоваться отгонка азота, хотя может возникнуть риск загрязнения и дополнительные энергетические потребности. В этом случае раствор можно рециркулировать в печь и извлеченный раствор аммиака (концентрация приблизительно 10%) можно использовать для подачи в SNKB de-NO_x .

На установке для сжигания осадка сточных вод NL05 в конденсированных сточных водах от предварительной сушки осадка сточных вод, было обнаружено высокое количество летучих жирных кислот (ЛЖК). Поскольку ЛЖК могут препятствовать удалению азота, в этом случае конденсат очищается на станции очистки сточных вод. [7, TWG 2017]

В таблице 3.11 представлены объемы сточных вод, образовавшиеся из некоторых источников,

описанных выше.

Таблица 3.11: Другие возможные источники образования сточных вод на установках по сжиганию и их приблизительные количества

Сточные воды	Приблизительные количества	Образование
Конденсаты дымохода после мокрой очистки	• 20 м³/д • 6 600 м³/г	Постоянно
Удаление мокрой золы/мокрый золоотвод	• 5 м³/д • 1 650 м³/г	
Реверсивная подача воды из ионообменника	• 1 м³/мес • 120 м³/г	Периодически
Котельная вода	• 500 м³/г	
Вода от промывки контейнеров для хранения	• 800 м³/г	
Другая вода для чистки/уборки	• 300 м³/г	
Загрязненная дождевая вода	• 200 м³/г (Германия)	
Лабораторная вода	• 200 м³/г	
Примечание: данные рассчитаны на основе 330 рабочих дней в году. Источник: [1, UBA 2001]		

3.3.3 Установки без сбросов технической воды

На некоторых установках по сжиганию отходов сточные воды, образующиеся при работе мокрого скруббера, испаряются в процессе сжигания с использованием распылительной сушилки. Это может устранить необходимость в выбросах сточных вод из процесса.

В таких случаях сточные воды, как правило, предварительно обрабатываются на станции очистки сточных вод (СОСВ) перед подачей в распылительную сушилку. Обработка в СОСВ может помочь предотвратить рециркуляцию и накопление некоторых веществ. Рециркуляция ртути вызывает особую озабоченность, и обычно для удаления ртути из системы добавляют специальные реагенты.

Соль (NaCl) может быть извлечена из очищенных сточных вод для возможного промышленного использования или может быть собрана в остатках ОДГ. [1, UBA 2001]

3.3.4 Установки со сбросом сточных вод

[1, UBA 2001]

Очистка сточных вод при очистке дымовых газов на установках по сжиганию отходов принципиально не отличается от очистки сточных вод при других промышленных процессах.

Сточные воды установок по сжиганию коммунальных отходов в основном содержат следующие вещества:

- металлы, включая ртуть;
- неорганические соли (хлориды, сульфаты и т.д.);
- органические соединения (фенолы, ПХДД/Ф).

В следующей таблице приведены типичные уровни загрязнения сточных вод после систем очистки дымовых газов от установок по сжиганию коммунальных и опасных отходов перед очисткой сточных вод.

Таблица 3.12: Типичное загрязнение сточных вод от влажной ОДГ мусоросжигательных заводов перед очисткой

Параметр	Сжигание коммунальных отходов			Сжигание ОО для обычных коммерческих установок		
	Минимум	Максимум	Среднее	Минимум	Максимум	Среднее
Значение pH	< 1	NI	NA	Нет данных	Нет данных	NA
Проводимость (мкМ)	NI	> 20 000	NI	NI	NI	NI

Параметр	Сжигание коммунальных отходов			Сжигание ОО для обычных коммерческих установок		
ХПК (мг/л)	140	390	260	NI	NI	22
ООУ (мг/л)	47	105	73	NI	NI	NI
Сульфат (мг/л)	1 200	20 000	4 547	615	4 056	NI
Хлорид (мг/л)	85 000	180 000	115 000	NI	NI	NI
Фторид (мг/л)	6	170	25	7	48	NI
Hg (мкг/л)	1 030	19 025	6 167	0.6	10	NI
Pb (мкг/л)	0.05	0.92	0.25	0.01	0.68	NI
Cu (мг/л)	0.05	0.20	0.10	0.002	0.5	NI
Zn (мг/л)	0.39	2.01	0.69	0.03	3.7	NI
Cr (мг/л)	< 0.05	0.73	0.17	0.1	0.5	NI
Ni (мг/л)	0.05	0.54	0.24	0.04	0.5	NI
Cd (мг/л)	< 0.005	0.020	0.008	0.0009	0.5	NI
ПХДД/Ф (нг/л)	NI	NI	NI	NI	NI	NI

Примечание: NA = неприменимо; NI = Информация отсутствует.
 Источник: [1, UBA 2001]

В этом разделе описываются выбросы в воду, возникающие в результате очистки сточных вод с дымовыми газами.

По этому вопросу доступно меньше информации, чем о выбросах в атмосферный воздух, что отражает факт того, что большинство установок СО не производят выбросов сточных вод, возникающих в результате очистки дымовых газов. Графики показывают максимальную, среднюю и минимальную концентрации типичных проб, пропорциональных расходу, для сброса, взятого в течение 24 часов в 2014 году. Также показана загрязняющая нагрузка, от выбросов в 2014 году.

На графике также показана следующая контекстная информация: используемые технологии, относящиеся к представленному загрязнителю; основные типы сжигаемых отходов; размер установки; срок эксплуатации установки; количество образцов, рассмотренных для сообщенных значений выбросов; а также сбрасывается ли сточная вода в водоёмы (прямой сброс) или поступает на последующую установку по очистке сточных вод (косвенный сброс).

Общее содержание взвешенных твердых частиц

Рисунок 3.68 показывает выбросы ОВЧ в воду, измеренные в 2014 году.

Для каждой установки наряду с уровнями выбросов ОВЧ и контекстной информацией о характеристиках завода на графике также показаны методы очистки сточных вод, используемые для уменьшения содержания взвешенных веществ, среди которых выделяют следующие:

- фильтрация;
- отстаивание (седиментация);
- флотация;
- коагуляция;
- флокуляция.

Следующие три основных причины могут быть основными источниками остаточных взвешенных твердых частицы в сбрасываемых сточных водах:

- остаточные фракции осажденных компонентов, которые не удаляются путем декантации или фильтрации;
- когда подземные воды, содержащие Fe(II), используются для влажной очистки дымовых газов, медленное окисление Fe(II) до Fe(III) и последующее осаждение Fe(OH)₃ может привести к образованию взвешенных твердых частиц. При этом процессе время пребывания в очистном сооружении меньше, чем время, необходимое для завершения реакции;
- в других случаях взвешенные твердые частицы могут возникать в результате реакций осаждения сульфатов и карбонатов с Ca²⁺, который присутствует в сточных водах или в других водных потоках, которые вступают в контакт с сточными водами до сброса и когда время пребывания меньше, чем время, необходимое для завершения реакции.

Уровни выбросов варьируются от близкого к пределу количественного определения до 25 мг/л для средних по всем измерениям в 2014 году и до 43 мг/л для максимумов. Из 12 станций, которые сообщили о более высоких максимальных выбросах, подавляющее большинство было связано с косвенными сбросами, и в этом случае ожидается, что нагрузка ОВЧ будет снижена за счет очистных сооружений, расположенных ниже по потоку.

Представленные данные не демонстрируют четкой корреляции между зарегистрированными уровнями выбросов и размером установки, основным типом сжигаемых отходов или применяемыми технологиями. Тем не менее, можно отметить, что более низкие уровни выбросов зарегистрированы на установках, оборудованных системами фильтрации (в среднем четыре установки имеют концентрацию ниже 3 мг/л).

Ртуть

На рисунок 3.69 показаны выбросы ртути в воду, измеренные в 2014 году.

Для каждой станции наряду с уровнями выбросов ртути и контекстуальной информацией о характеристиках завода на графике показаны технологии очистки сточных вод, используемые для сокращения ртути; технологии одинаковы и для всех других металлов на рисунках с 3.70 по 3.79 и включают в себя:

- химическое осаждение;
- ионный обмен;
- адсорбцию;
- фильтрацию и песчаную фильтрацию;
- седиментацию;
- флокуляцию;
- коагуляцию.

Ртуть в стоках происходит из ртути, содержащейся в отходах. Общепринятая практика заключается в том, что на установках по сжиганию отходов применяется предельный уровень содержания ртути в сжигаемых отходах.

Установлено, что для одной установки, сжигающей опасные отходы и оборудованной мокрым скруббером, общий объем поступающей с отходами ртути составляет 2 000 кг/год при мощности сжигания 100 000 т/г. Принимая во внимание то, что максимальный годовой выход ртути через сточные воды менее 4 кг/год, на основе осаждения М-тримеркаптоотриазина и последующего эффективного удаления осадка может быть достигнута эффективность удаления выше 99,8%.

Уровни выбросов обычно колеблются между близкими к пределу количественного определения и 0,006 мг/л для среднего и 0,027 мг/л для максимального значения. Более высокие выбросы были зарегистрированы 10 установками, и, возможно, были связаны условиями эксплуатации станций ОСВ за пределами нормальных и, в некоторых случаях, с неправильным использованием единиц измерения при представлении данных для выражения концентрации этого загрязнителя.

График показывает, что установки, оборудованные системой ионного обмена и/или адсорбции, обычно демонстрируют более низкие уровни выбросов (в основном ниже 0,001 мг/л для среднего и 0,004 мг/л для максимума). В целом, установки, сжигающие преимущественно опасные отходы, имеют более высокие показатели выбросов, чем установки, сжигающие другие виды отходов.

Представленные данные не демонстрируют четкой корреляции между зарегистрированными уровнями выбросов и размерами установки.

Выбросы других металлов и металлоидов

Металлы и металлоиды в стоках происходят из веществ, содержащихся в отходах. Технология очистки сточных вод, используемая для уменьшения содержания металлов в выбросах, состоит в химическом осаждении металлов в виде гидроксидов и/или в качестве компонентов сульфида металла. Для оптимизации процесса осаждения используются флокулянтные добавки. В дополнение к коагуляции и седиментации или химическому осаждению обычно используется фильтрация. Для дальнейшего снижения их концентрации используются адсорбция и ионный обмен.

Всего 16 установок, почти половина из которых австрийские, представили данные о выбросах мышьяка в воду. Уровни выбросов колебались между близкими к пределу количественного определения и 0,6 мг/л для среднего из всех измерений в 2014 году и 0,9 мг/л для максимума. Четыре установки представили данные о более высоких выбросах.

По словам австрийских операторов, в последние годы концентрации мышьяка в стоках установок по сжиганию отходов повышаются. В то время как причины не были полностью выяснены, среди возможных источников мышьяка были выделены катализаторы, используемые в производстве ПЭТ, мышьяк в автомобильных тормозных накладках и использование соединений мышьяка в качестве ингибиторов пламени в текстильной промышленности.

Представленные данные не демонстрируют четкой корреляции между зарегистрированными уровнями выбросов и размерами установки или применяемыми технологиями. Тем не менее, можно отметить, что установки, сжигающие опасные отходы, представляют сведения о более высоких уровнях выбросов (три установки сообщили о максимумах в 0,9 мг/л и 20 мг/л).

На рисунке 3.71 показаны выбросы мышьяка в воду, измеренные в 2014 году.

Уровни выбросов обычно колеблются между близким к пределу количественного определения и 0,01 мг/л для среднего значения всех измерений в 2014 году и 0,1 мг/л для максимума. Девять станций сообщили о более высоких уровнях выбросов, что могло быть связано с эксплуатацией станции ОСВ в условиях за пределами нормальных, и, в некоторых случаях, с неправильным использованием единиц измерения при представлении данных.

Представленные данные показывают, что более крупные установки демонстрируют меньшие выбросы, чем средние или более мелкие. Представленные данные не демонстрируют четкой корреляции между зарегистрированными уровнями выбросов и основным типом сжигаемых отходов или размером установки. Можно отметить, что в целом о более низких уровнях выбросов сообщают установки, использующие адсорбцию.

На рисунке 3.72 показаны выбросы кадмия в воду, измеренные в 2014 году.

Уровни выбросов обычно колеблются между близким к пределу количественного определения и 0,025 мг/л для среднего всех измерений в 2014 году и 0,05 мг/л для максимума. В общей сложности 11 станций сообщили о более высоких максимальных выбросах, что могло быть связано с эксплуатацией станции ОСВ в условиях за пределами нормальных, и, в некоторых случаях, с неправильным использованием единиц измерения при представлении данных.

Представленные данные не демонстрируют четкой корреляции между зарегистрированными уровнями выбросов и размером установки, основным типом сжигаемых отходов или применяемыми технологиями.

На рисунке 3.73 показаны выбросы хрома в воду, измеренные в 2014 году.

Уровни выбросов варьируются от близкого к пределу количественного определения до 0,16 мг/л для среднего по всем измерениям в 2014 году и до 0,3 мг/л для максимума. Четыре установки сообщили о более высоких максимальных выбросах, что могло быть связано с эксплуатацией станции ОСВ в условиях за пределами нормальных, и, в некоторых случаях, с неправильным использованием единиц измерения при представлении данных.

Представленные данные не демонстрируют четкой корреляции между зарегистрированными уровнями выбросов и размером установки, основным типом сжигаемых отходов или применяемыми технологиями.

На рисунке 3.74 показаны выбросы меди в воду, измеренные в 2014 году.

Уровни выбросов колеблются между близким к пределу количественного определения и 0,3 мг/л в среднем по всем измерениям в 2014 году и 0,5 мг/л для максимума. Семь станций сообщили о более высоких максимальных выбросах, что могло быть связано с эксплуатацией станции ОСВ в условиях за пределами нормальных, и, в некоторых случаях, с неправильным использованием единиц измерения при представлении данных.

На графике показано, что установки, использующие технологии адсорбции и/или ионного обмена,

обычно достигают уровней выбросов ниже 0,05 мг/л.

Представленные данные не демонстрируют четкой корреляции между зарегистрированными уровнями выбросов и размером установки или основным типом сжигаемых отходов.

На рисунке 3.75 показаны выбросы свинца в воду, измеренные в 2014 году.

Уровни выбросов варьируются от близкого к пределу количественного определения до 0,05 мг/л для среднего по всем измерениям в 2014 году и до 0,2 мг/л для максимума. В общей сложности 10 станций сообщили о более высоких максимальных выбросах, что могло быть связано с эксплуатацией станции ОСВ в условиях за пределами нормальных, и, в некоторых случаях, с неправильным использованием единиц измерения при представлении данных.

На графике показано, что установки, использующие технологии адсорбции и ионного обмена, обычно достигают уровней выбросов ниже 0,05 мг/л.

Представленные данные не демонстрируют четкой корреляции между зарегистрированными уровнями выбросов и размером установки или основным типом сжигаемых отходов.

На рисунке 3.76 показаны выбросы молибдена в воду, измеренные в 2014 году.

Только три установки предоставили сведения о прямых выбросах молибдена в воду в диапазоне от 0,02 мг/л до 0,04 мг/л для максимума всех измерений в 2014 году. Одна установка представила сведения о косвенных выбросах молибдена в воду со значительно более высоким максимумом около 7 мг/л.

Представленные данные не демонстрируют четкой корреляции между зарегистрированными уровнями выбросов и размером установки, применяемыми технологиями или основным типом сжигаемых отходов.

На рисунке 3.77 показаны выбросы никеля в воду, измеренные в 2014 году.

Уровни выбросов варьируются от близкого к пределу количественного определения до 0,03 мг/л для среднего по всем измерениям в 2014 году и до 0,04 мг/л для максимума. Шесть станций сообщили о более высоких максимальных выбросах, что могло быть связано с эксплуатацией станции ОСВ в условиях за пределами нормальных, и, в некоторых случаях, с неправильным использованием единиц измерения при представлении данных.

Представленные данные не демонстрируют четкой корреляции между зарегистрированными уровнями выбросов и применяемыми технологиями, размером установки или основным типом сжигаемых отходов.

На рисунке 3.78 показаны выбросы таллия в воду, измеренные в 2014 году.

Уровни выбросов варьируются от близкого к пределу количественного определения до 0,025 мг/л для среднего по всем измерениям в 2014 году и до 0,05 мг/л для максимума. Пять станций сообщили о более высоких максимальных выбросах, что могло быть связано с эксплуатацией станции ОСВ в условиях за пределами нормальных.

Представленные данные не демонстрируют четкой корреляции между зарегистрированными уровнями выбросов и применяемыми технологиями, размером установки или основным типом сжигаемых отходов.

На рисунке 3.79 показаны выбросы цинка в воду, измеренные в 2014 году.

Уровни выбросов варьируются от близкого к пределу количественного определения до 0,54 мг/л для среднего по всем измерениям в 2014 году и до 1,5 мг/л для максимума. Три станции сообщили о более высоких максимальных выбросах, что могло быть связано с эксплуатацией станции ОСВ в условиях за пределами нормальных, и, в некоторых случаях, с неправильным использованием единиц измерения при представлении данных.

На графике показано, что установки, использующие адсорбцию и ионный обмен, обычно достигают

уровней выбросов ниже 0,4 мг/л.

Представленные данные не демонстрируют четкой корреляции между зарегистрированными уровнями выбросов и размером установки или основным типом сжигаемых отходов.

Общий органический углерод

Чтобы уменьшить выбросы ООУ в воду, применяются первичные технологии (например, снижение выбросов органического углерода путем оптимизации процесса сжигания). В дополнение к этому в качестве специальных технологий борьбы с ООУ также используются адсорбция активированным углем и фильтрация.

На рисунке 3.80 показаны выбросы ООУ в воду, измеренные в 2014 году.

Для каждой установки наряду с уровнями выбросов ООУ и контекстной информацией о характеристиках установки на графике показаны технологии очистки сточных вод, используемые для снижения содержания ООУ, которые включают в себя:

- окисление;
- адсорбцию;
- фильтрацию и песчаную фильтрацию.

В случае прямого выброса уровни выбросов варьируются от 1,4 мг/л до 12 мг/л в среднем по всем измерениям в 2014 году и до 38 мг/л (максимум). Одна установка предоставила сведения в среднем о 364 измерениях 6,4 мг/л и 86 мг/л (максимум). Несколько установок, связанных с непрямыми выбросами, сообщали о значительно более высоких уровнях ООУ (до 1,3 г/л); в этих случаях предполагается, что объем выбросов ООУ будет снижен на очистных сооружениях, расположенных ниже по потоку.

На графике показано, что установки, использующие комбинацию технологий адсорбции и фильтрации, достигают уровня выбросов около 9 мг/л.

Представленные данные не демонстрируют четкой корреляции между зарегистрированными уровнями выбросов и размером установки или основным типом сжигаемых отходов.

Полихлорированные дибензо-диоксины и фураны (ПХДД/Ф)

Для снижения выбросов ПХДД/Ф в воду, применяются первичные методы, такие как оптимизация процесса сжигания и/или избежание условий для синтеза *de novo*. В дополнение к этому в качестве особой технологии борьбы с ПХДД/Ф также используется адсорбция на активированном угле.

На рисунке 3.81 показаны выбросы ПХДД/Ф в воде, измеренные в 2014 году.

Для каждой установки наряду с уровнями выбросов ПХДД/Ф и контекстной информацией о характеристиках завода на графике показаны технологии очистки сточных вод, используемые для снижения ПХДД/Ф, или которые могут иметь вспомогательное преимущество от снижения выбросов ПХДД/Ф; технологии включают в себя:

- окисление;
- ионный обмен;
- адсорбцию;
- фильтрацию и песчаную фильтрацию;
- седиментацию;
- флокуляцию;
- коагуляцию.

Уровни выбросов колеблются между близким к пределу количественного определения и 0,09 нг/л в среднем по всем измерениям в 2014 году и 0,18 нг/л (максимум), за исключением одной установки, сообщившей максимум 0,35 нг/л.

На графике показано, что установки, использующие микрофильтрацию, достигают уровня

выбросов около 0,009 нг/л.

Представленные данные не демонстрируют четкой корреляции между зарегистрированными уровнями выбросов и размером установки или основным типом сжигаемых отходов.

Содержание хлоридов и сульфатов

[41, EURITS 2002] Количество хлоридов в стоках демонстрирует линейную зависимость от количества хлора в отходах, поступающих на сжигание.

Содержание сульфатов в сточных водах в большинстве установок снижается из-за частичного осаждения гипса, так что концентрация SO_4^{2-} в отводимой жидкости составляет от 1 до 2 г/л. [122, COM 2006]

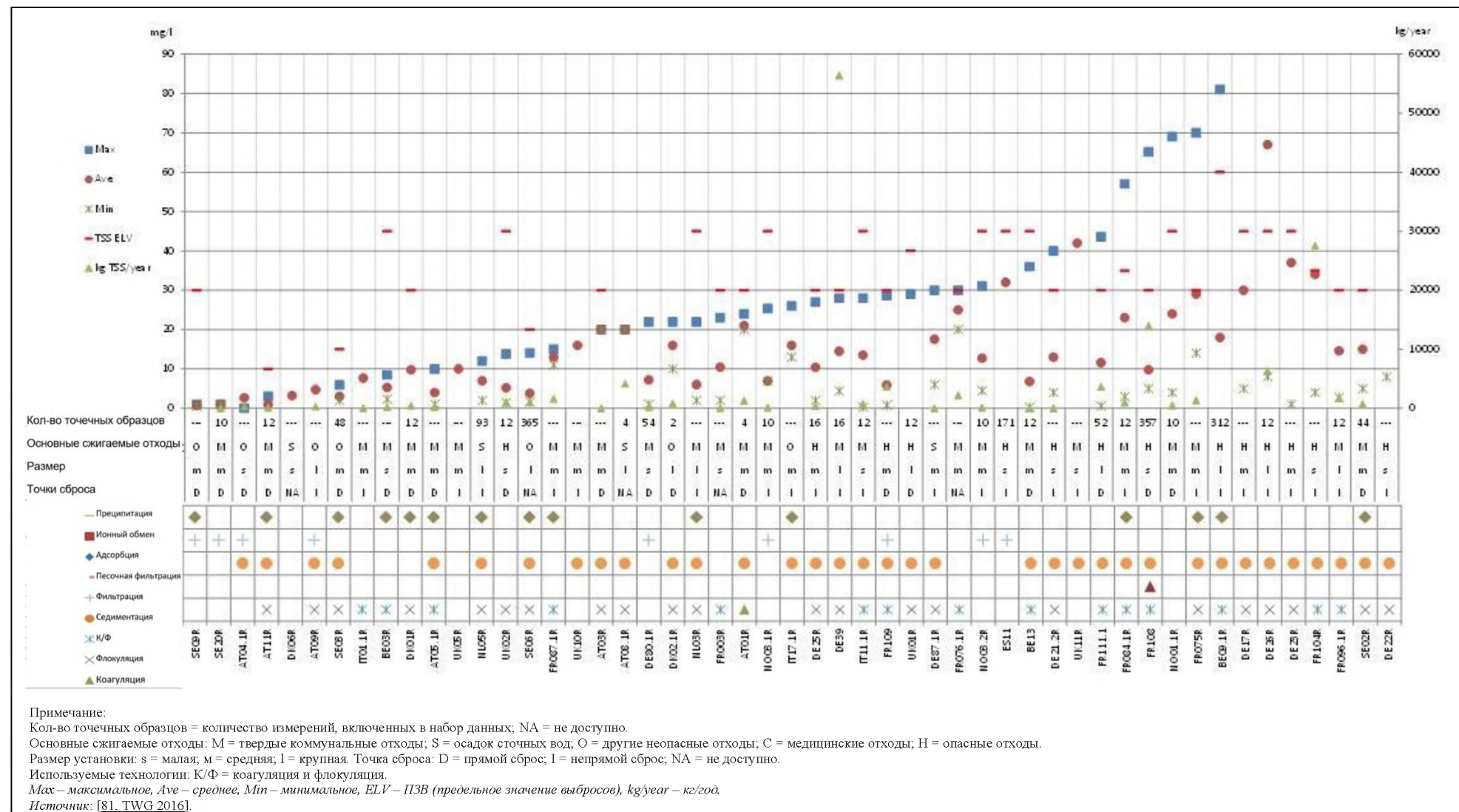


Рисунок 3.68: Выбросы взвешенных твердых частиц в воду и технологии, применяемые для их снижения

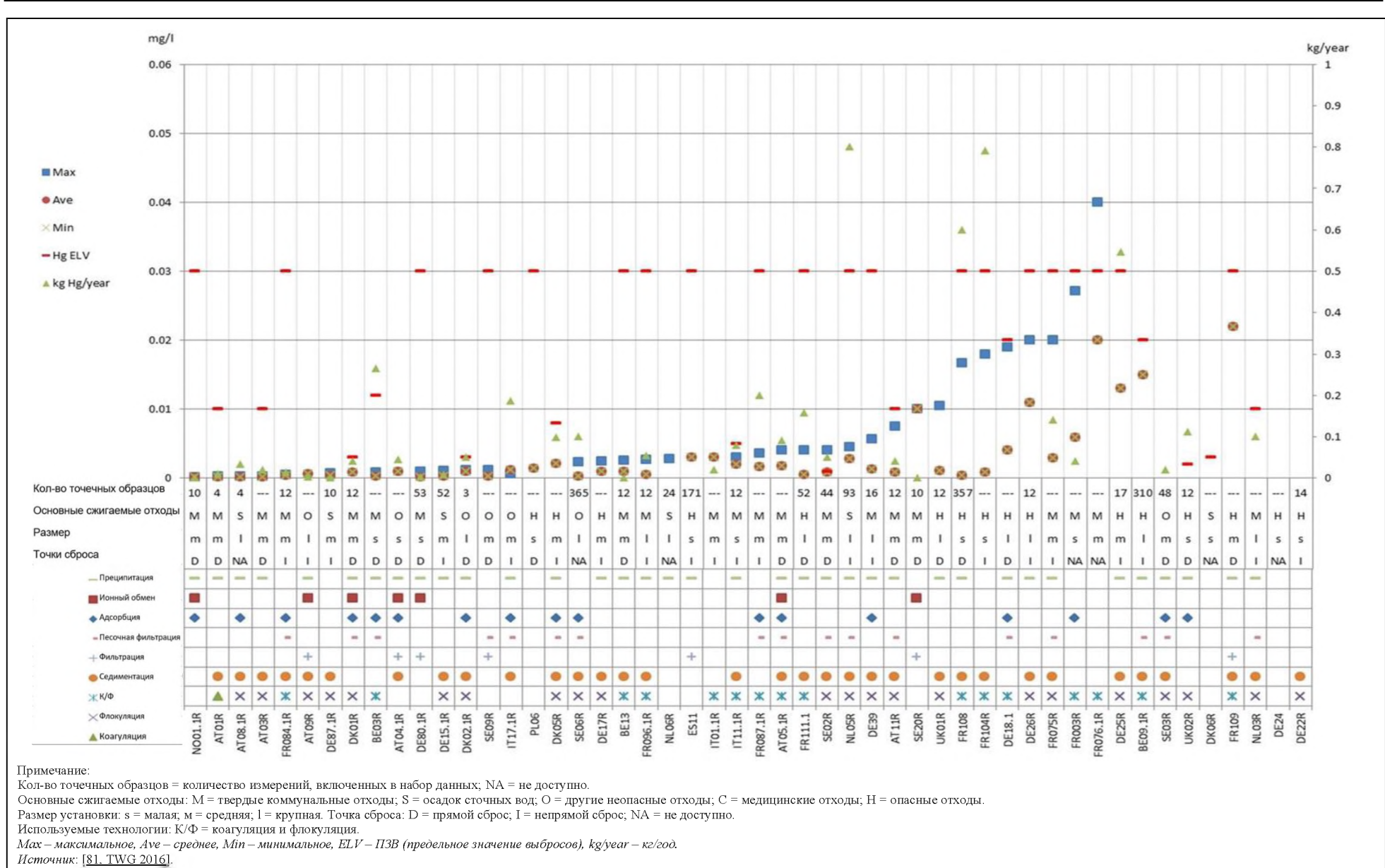


Рисунок 3.69: Выбросы ртути в воду и технологии, применяемые для их снижения

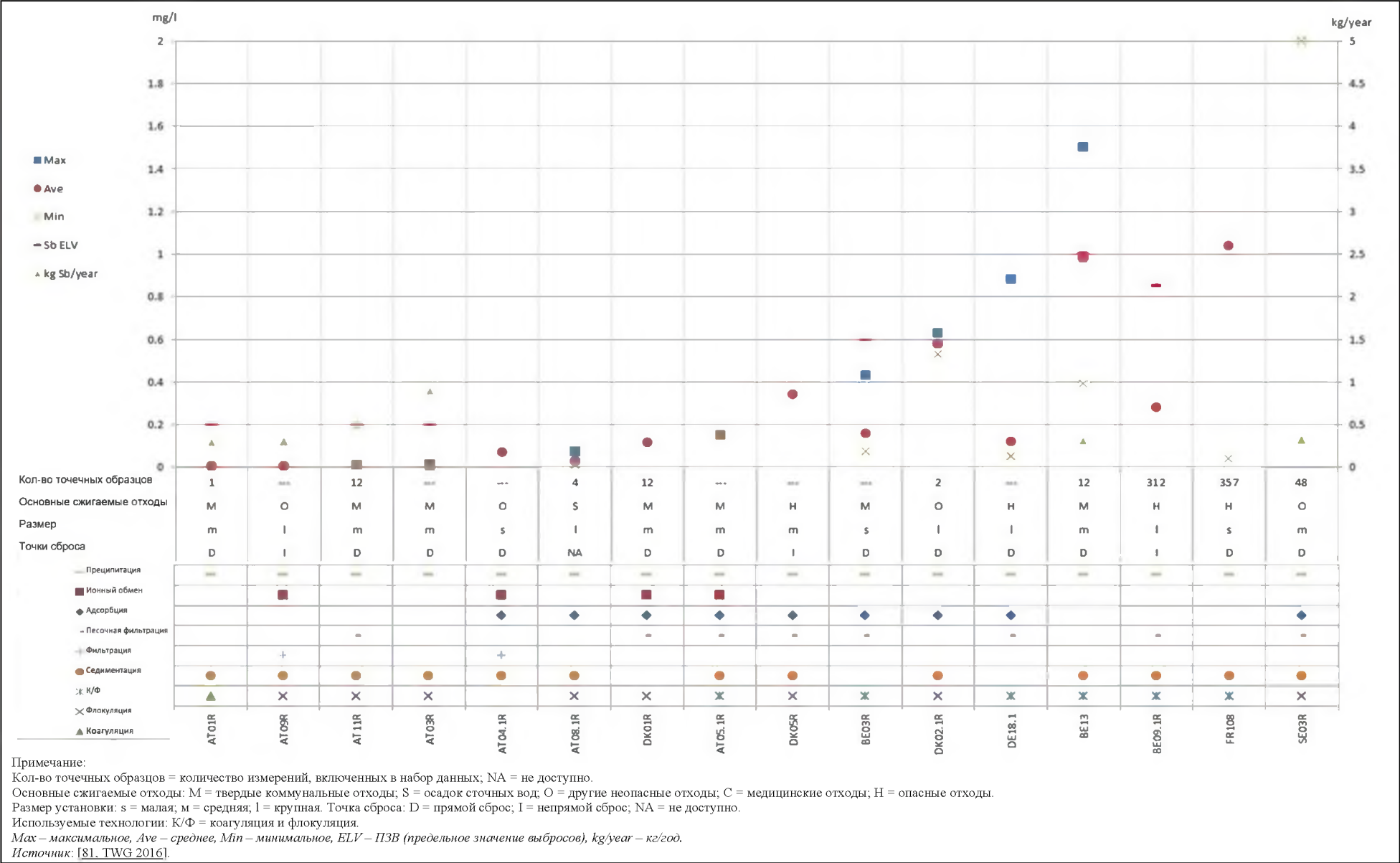


Рисунок 3.70: Выбросы сурьмы в воду и технологии, применяемые для их снижения

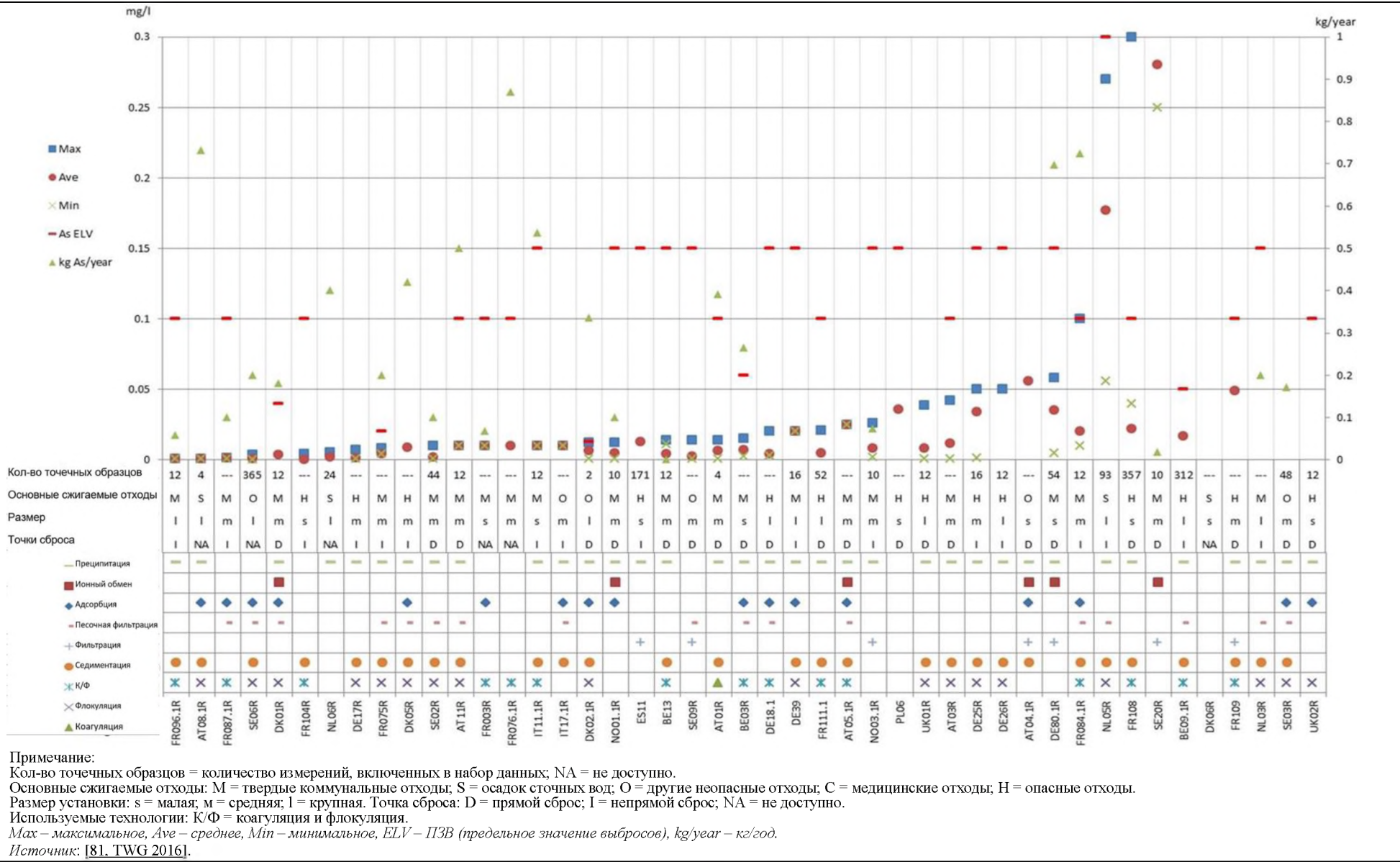


Рисунок 3.71: Выбросы мышьяка в воду и технологии, применяемые для их снижения

Рисунок 3.72: Выбросы кадмия в воду и технологии, применяемые для их снижения

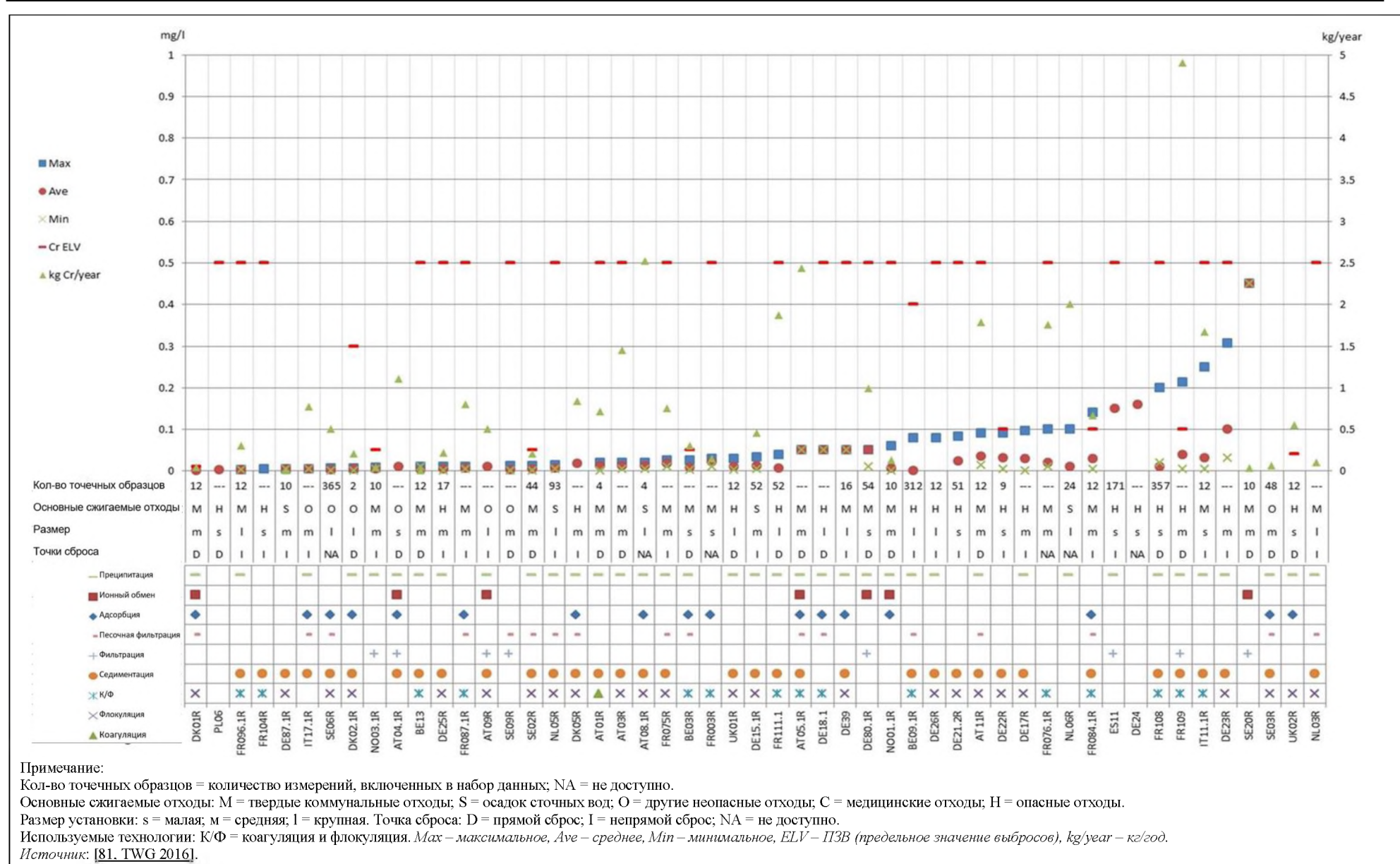


Рисунок 3.73: Выбросы хрома в воду и технологии, применяемые для их снижения

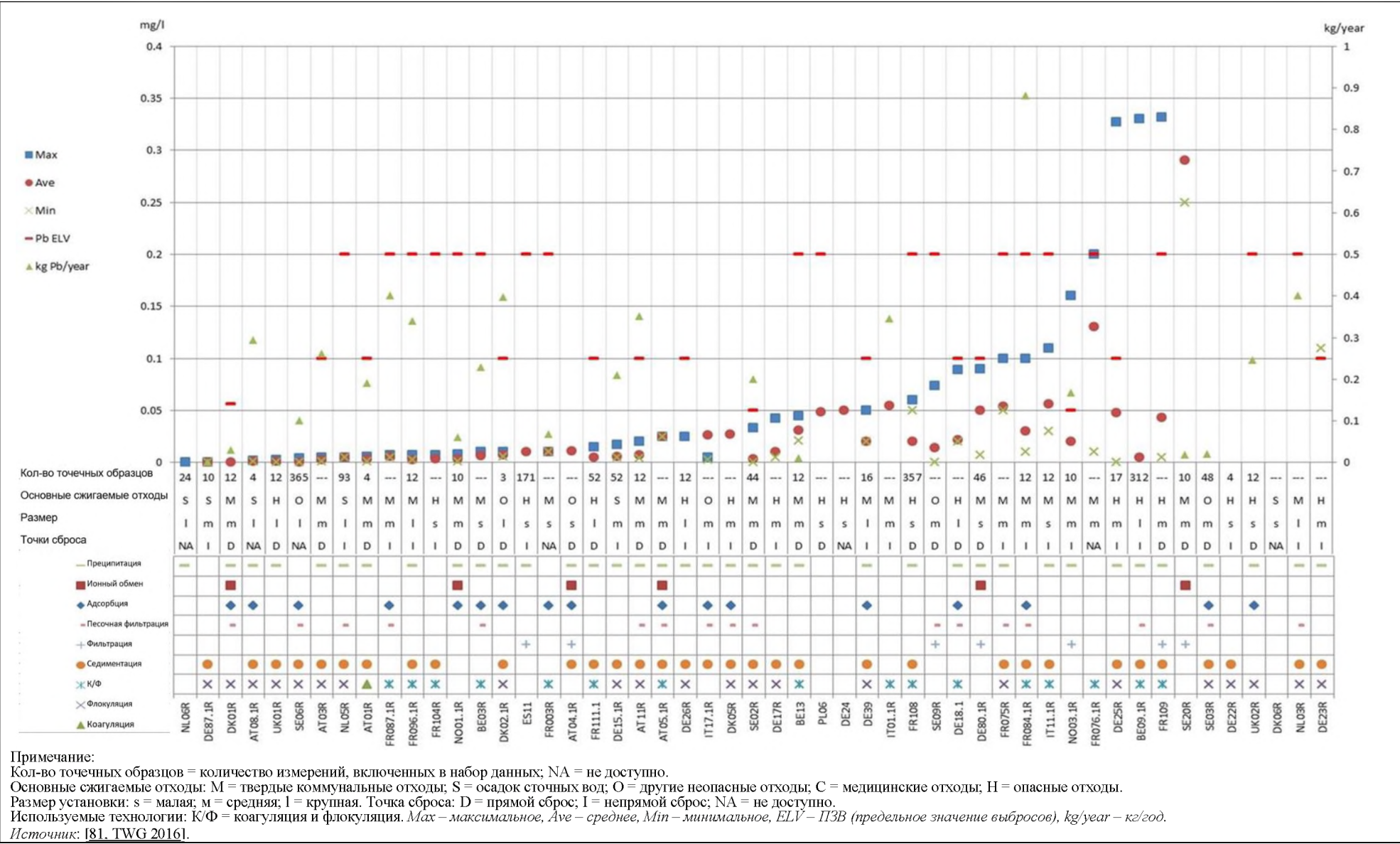


Рисунок 3.75: Выбросы свинца в воду и технологии, применяемые для их снижения

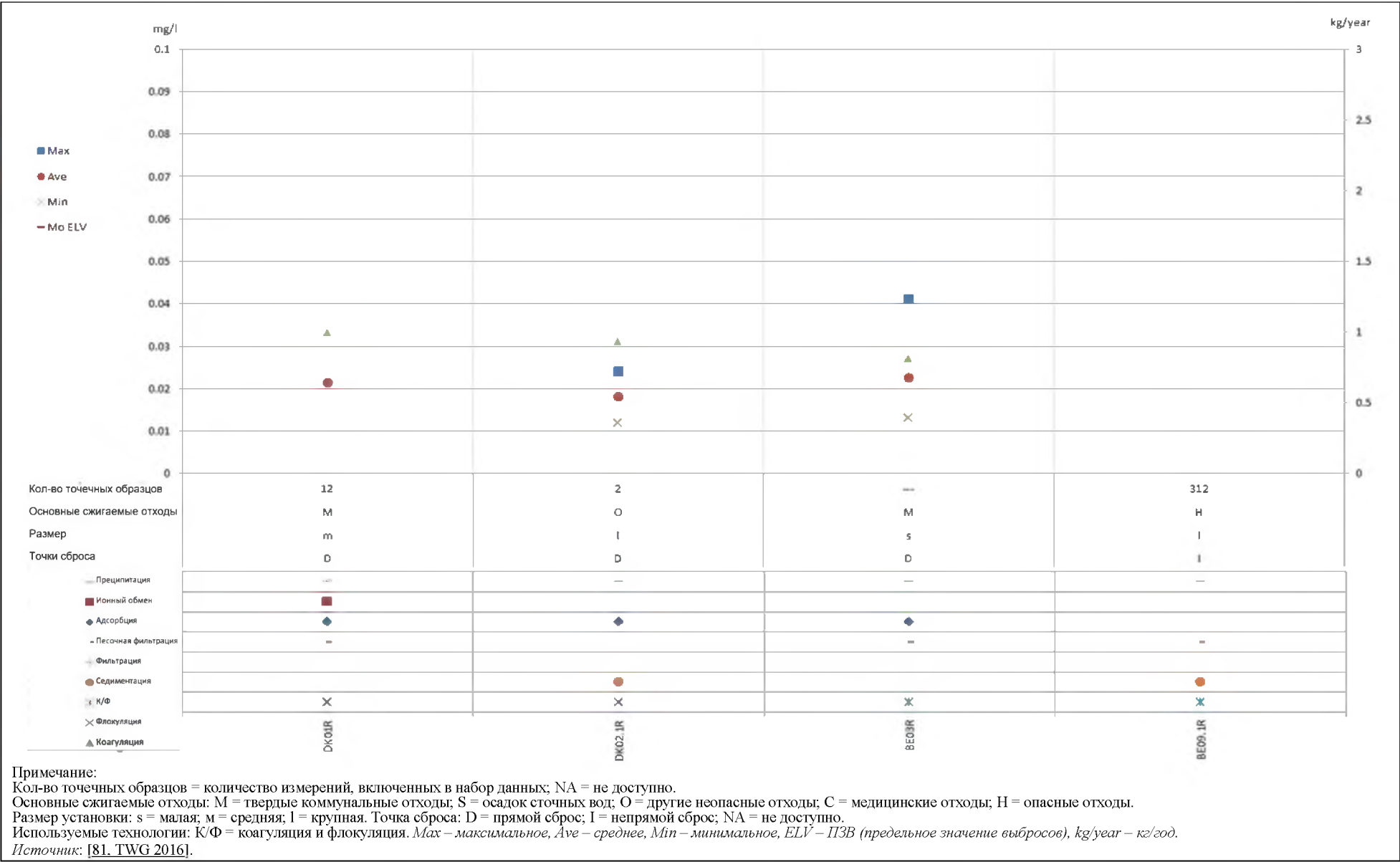


Рисунок 3.76: Выбросы молибдена в воду и технологии, применяемые для их снижения

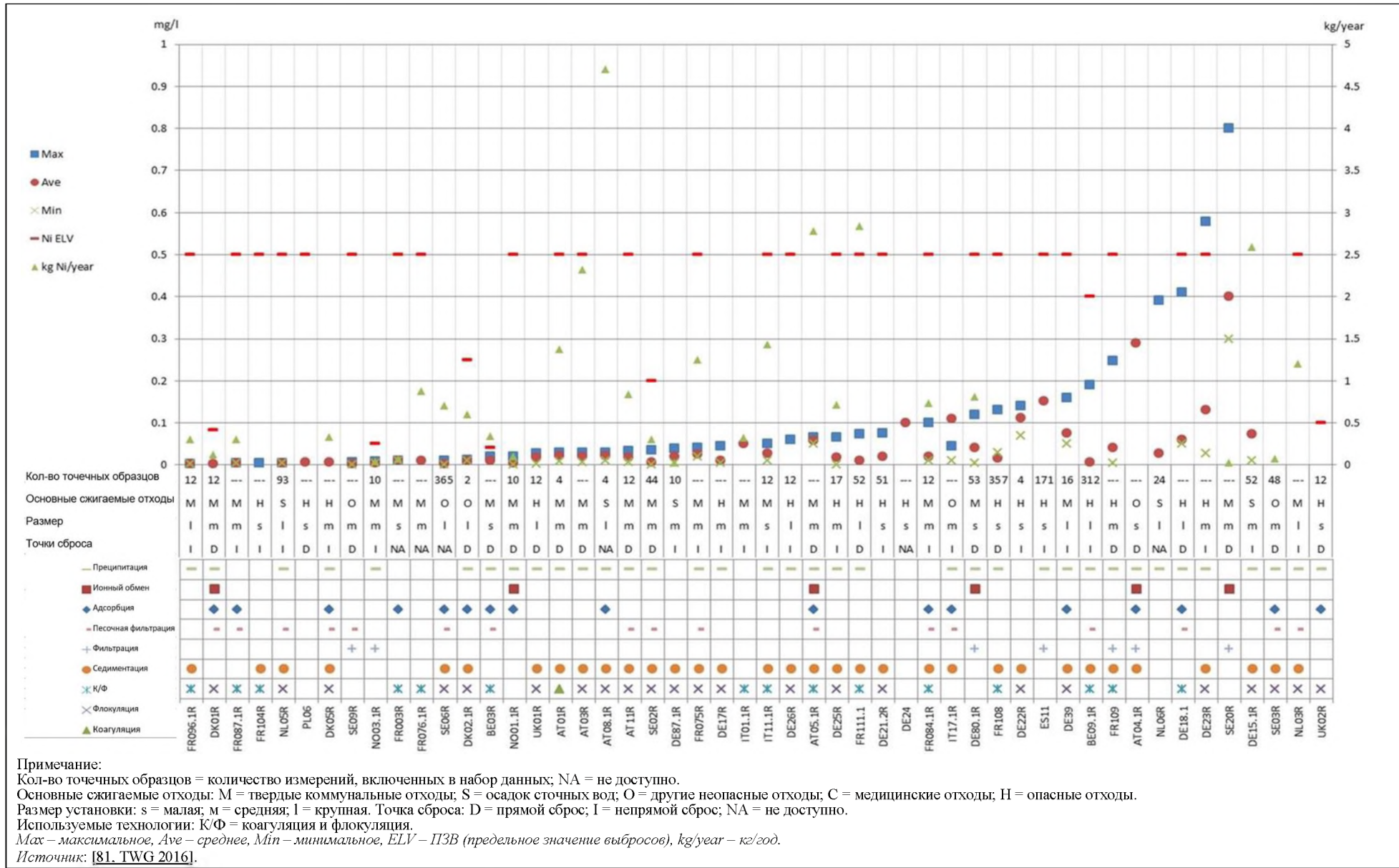


Рисунок 3.77: Выбросы никеля в воду и технологии, применяемые для их снижения

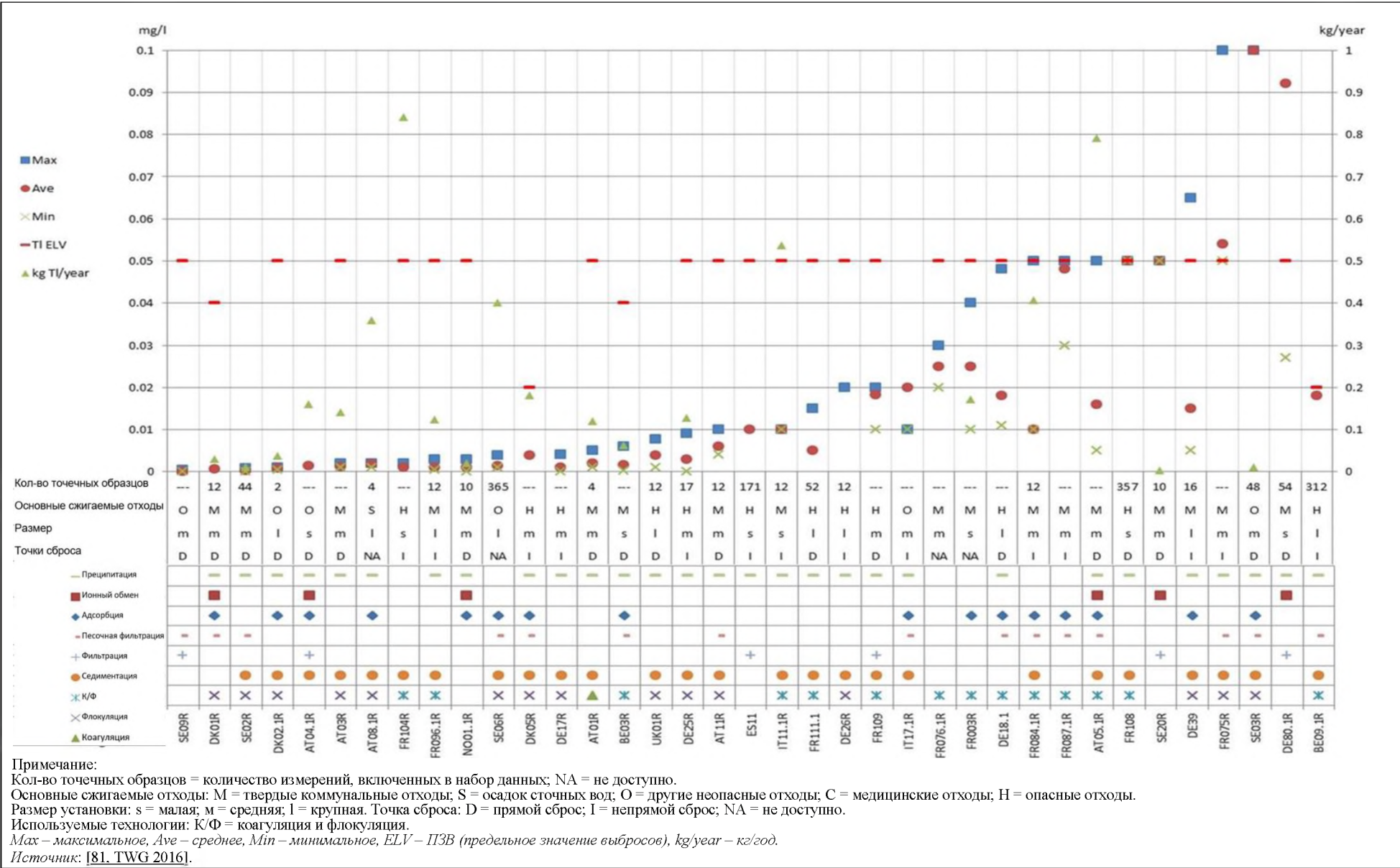


Рисунок 3.78: Выбросы таллия в воду и технологии, применяемые для их снижения

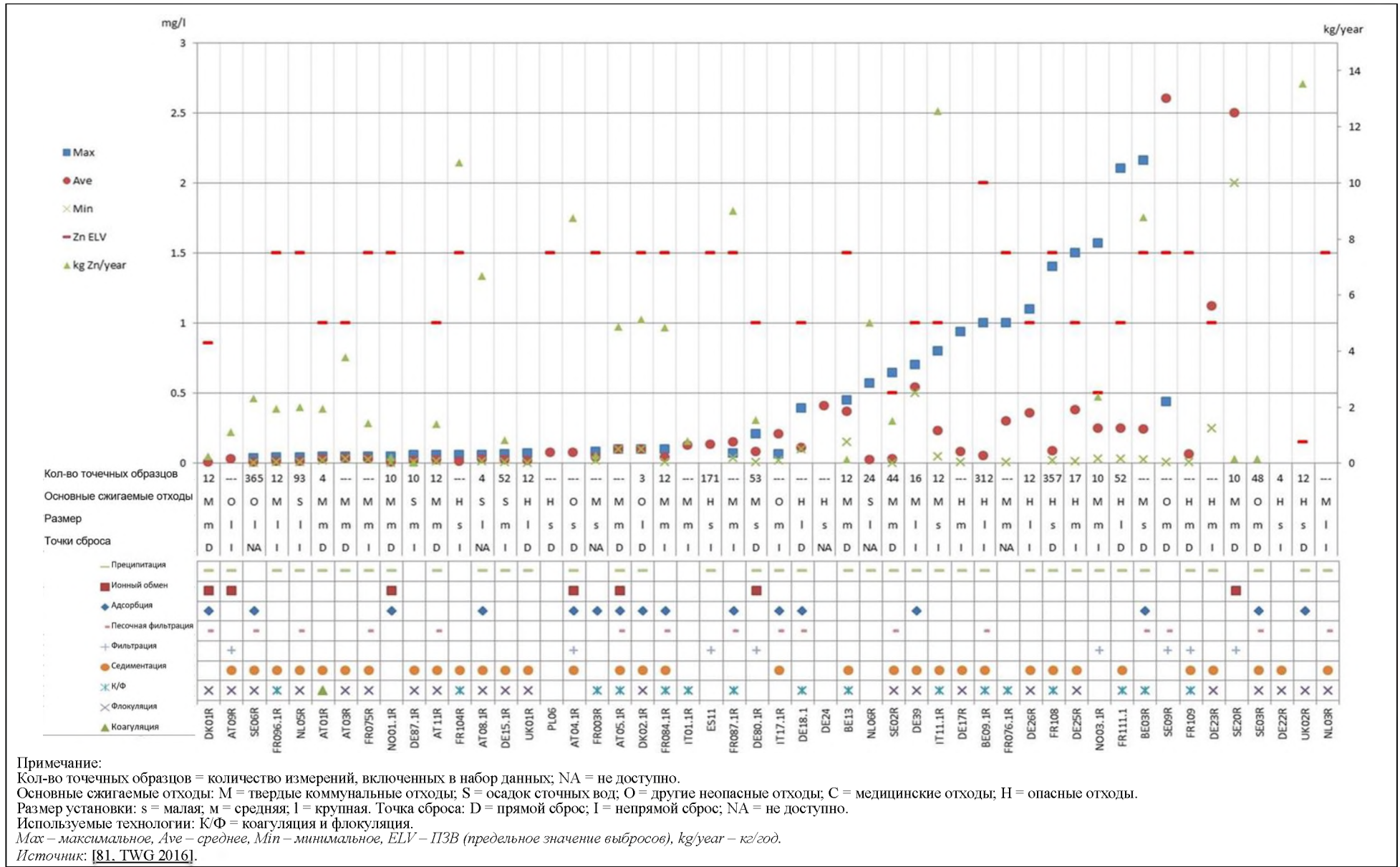


Рисунок 3.79: Выбросы цинка в воду и технологии, применяемые для их снижения

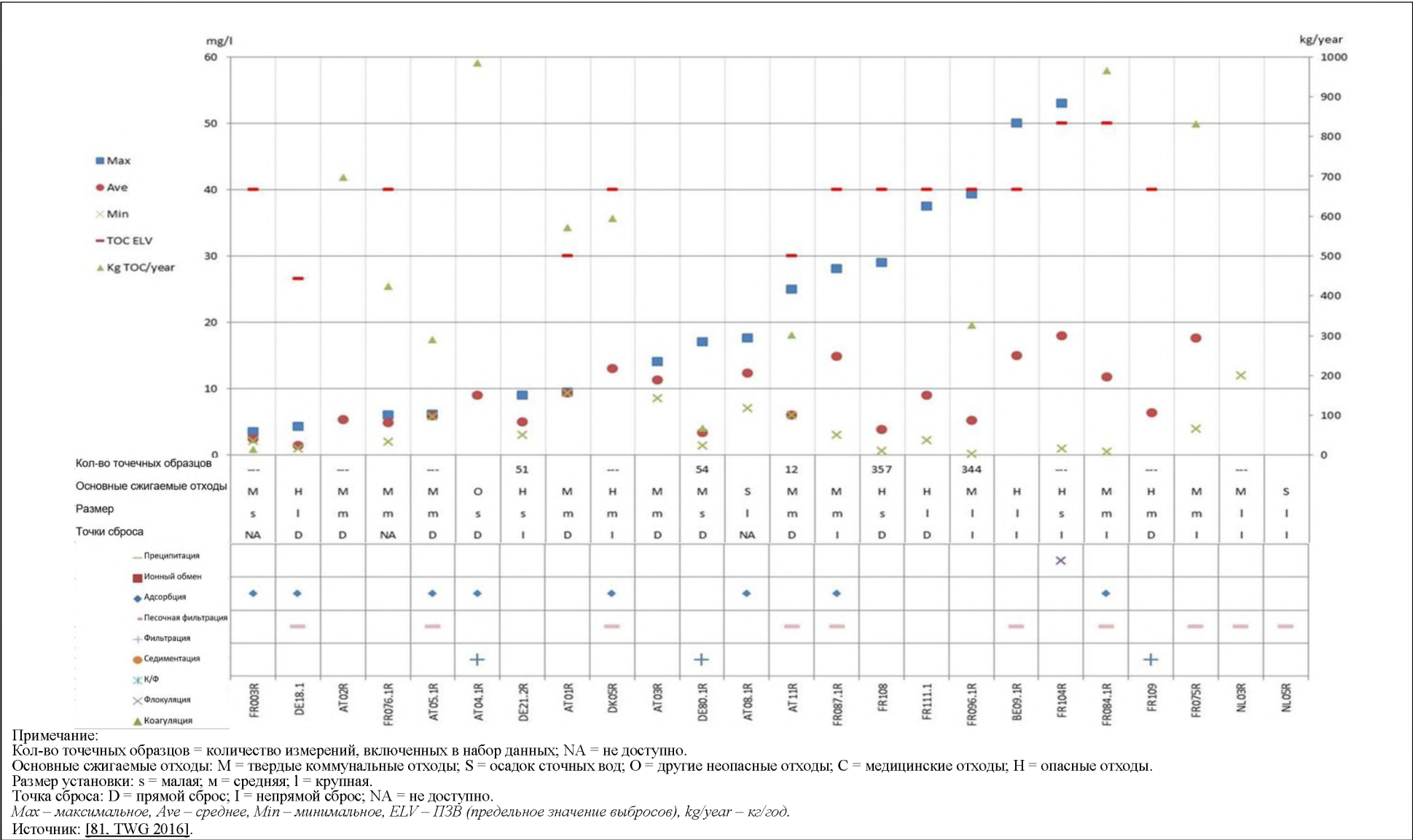
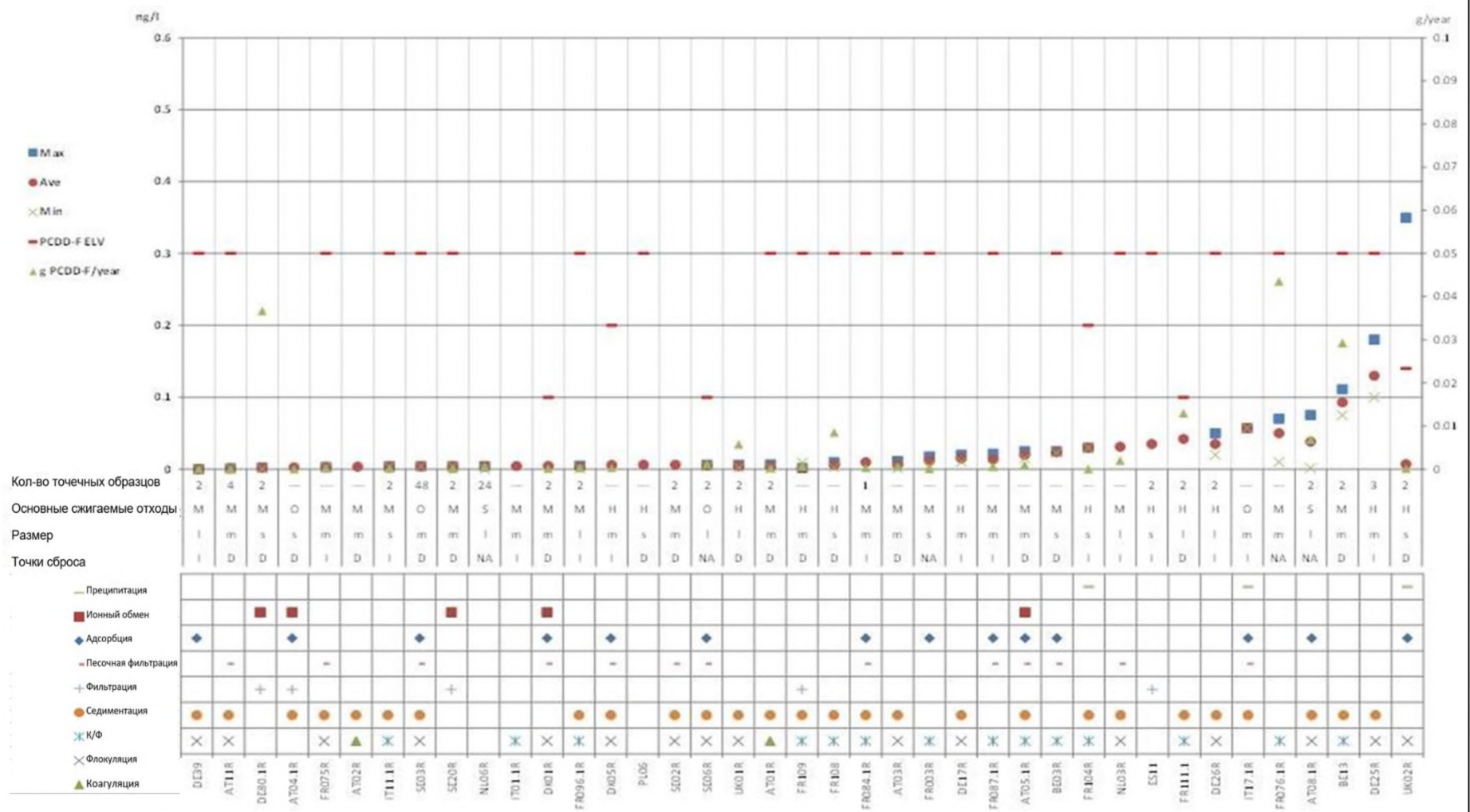


Рисунок 3.80: Выбросы общего органического углерода в воду и технологии, применяемые для их снижения



Примечание:
Кол-во точечных образцов = количество измерений, включенных в набор данных; NA = не доступно.
Основные сжигаемые отходы: M = твердые коммунальные отходы; S = осадок сточных вод; O = другие неопасные отходы; C = медицинские отходы; H = опасные отходы.
Размер установки: s = малая; m = средняя; l = крупная. Точка сброса: D = прямой сброс; I = непрямой сброс; NA = не доступно.
Используемые технологии: К/Ф = коагуляция и флокуляция.
Max – максимальное, Ave – среднее, Min – минимальное, ELV – ПЗВ (предельное значение выбросов), kg/year – кг/год.
Источник: [81. TWG 2016].

Рисунок 3.81: Выбросы ПХД/Ф в воду и технологии, применяемые для их снижения

3.4 Твёрдые остатки

3.4.1 Массовые потоки твердых остатков

В таблице 3.13 приведены некоторые типичные данные об остатках от установок по сжиганию отходов.

Таблица 3.13: Типичные данные о количестве остатков, образующихся на установках по сжиганию

Тип отходов	Удельное количество (в сухом состоянии) (кг/т отходов)
Зольный остаток/шлак	150–350
Котельная зола	20–40 ⁽¹⁾
Летучая зола от: Мокрая ОДГ Полусухая ОДГ Сухая ОДГ	15–40 20–50 15–60
Шлам от очистки сточных вод	1–15
⁽¹⁾ Печи псевдоожиженного слоя производят большее количество котельной золы. Источник: [81, TWG 2016]	

Установки СТКО производят от 150 кг до 350 кг зольного остатка на тонну обработанных отходов. Это значение включает в себя просев решетки. Массовый расход просева зависит от типа решетки и времени ее эксплуатации. Просеивание увеличивает количество несгоревшего вещества в зольном остатке и может способствовать выщелачиванию меди. Что касается извлечения материалов из зольного остатка, то черные и цветные материалы (например, алюминий) обычно разделяются. [74, TWG 2004]

Образование котельной золы зависит от типа котла и от количества пыли, первоначально образовавшейся в печи. Имеются ограниченные данные об образовании золы в котлах с псевдоожиженным слоем, но прослеживается явная тенденция для этого типа печей образовывать высокий уровень котельной золы.

3.4.2 Состав твердых веществ и выщелачиваемость

Испытательные сжигания показали, что увеличение теплотворной способности поступающих отходов и, как следствие, повышение температуры слоя улучшают выгорание зольных остатков. [38, Vehlow 2002]

На рисунках 3.82 и 3.83 представлены данные, полученные в 2014 году, о максимальном процентном содержании ООУ в зольном остатке/шлаке, полученном в результате сжигания отходов, а на рисунках 3.84 и 3.85 показан максимальный процент потерь при прокаливании (ППП), также измеренный в 2014 году. На рисунках также указан преобладающий тип сжигаемых отходов, размер установки, тип используемой печи и класс остатка отходов, к которому был отнесен остаток оператором: шлак, зольный остаток или зола от сжигания в кипящем слое.

Информация, собранная с помощью вопросников, показывает, что о более низких значениях ООУ и ППП в основном сообщали установки для сжигания с псевдоожиженным слоем и вращающимися печами при работе в режиме шлакообразования.

Определение ООУ в соответствии со стандартом EN 13137 также определяет элементарный углерод как ООУ, что не вызывает проблем на свалках. ООУ из зольного остатка содержит в основном элементарный углерод, но в определенной степени также обнаруживаются органические соединения (например, при просеивании пластмасс). Они охватывают спектр от короткоцепочечных соединений до низколетучих веществ, таких как ПАУ или ПХДД/Ф.

Концентрации органических соединений в различных твердых остатках приведены в таблицах 3.14, 3.15 и 3.16. В таблице 3.15 некоторые более высокие значения ПХДД/Ф в зольном остатке/шлаке могут быть объяснены смешиванием котельной золы с этими остатками перед захоронением. Как

правило, в зольном остатке, который не смешан с другими типами остатков от сжигания, уровни ПХДД/Ф ниже 10 нг/МТЭ/кг [7, TWG 2017]–

Таблица 3.14: Концентрация органических соединений в твердых остатках из системы очистки дымовых газов

Код установк и	Основные отходы	Тип печи	Система ОДГ	Описание остатка	ПАУ (мг/кг)	ПХБ (мг/кг)	ПХДД/Ф (нг МТЭ/кг)
AT08.1	S	r fb	Мокрая	Котельная зола	NA	NA	186
AT08.2	M	fb	Мокрая	Котельная зола	NA	NA	0.14
DE26	H	r	Мокрая	Котельная зола	NA	NA	3.4–9.5
DE76	O	g	Сухая	Котельная зола	NA	NA	41
DK05	H	r	Мокрая	Котельная зола	NA	NA	17
FI01	M	g	Мокрая	Котельная зола	NA	< 0.021	150–180
IT01	M	g	Мокрая	Котельная зола	NA	NA	22
IT13	O	g	Сухая	Котельная зола	0.68	0.011	285.1
IT14	M	g	Сухая	Котельная зола	< 0.5	NA	63–190
IT15	M	g	Сухая	Котельная зола	< 0.5	NA	0.11–0.17
IT16R	O	fb	Мокрая	Котельная зола	1.98–327	0.0093–0.01	1 360–41 400
IT17	O	g	Мокрая	Котельная зола	0.5	0.002–0.0024	0.35–0.4
IT18	M	g	Сухая	Котельная зола	< 1	0.00003	1524
IT22	O	g	Сухая	Котельная зола	< 0.5	NA	0.377
IT23	M	g	Сухая	Котельная зола	NA	0.01	1 200
DE67	M	g	Полу	Катализатор	NA	NA	231
UK08	M	g	Сухая	Катализатор	NA	0.022–0.357	176.3–328.5
AT02	M	g	Мокрая	Летучая зола	NA	NA	440
DE25	H	r	Мокрая	Летучая зола	NA	NA	205
DE26	H	r	Мокрая	Летучая зола	NA	NA	50.1–63.4
DE29	H	r	Мокрая	Летучая зола	NA	NA	90
DE39	M	g	Мокрая	Летучая зола	NA	NA	1 037
DE51	O	g	Мокрая	Летучая зола	NA	NA	114
DE56	M	g	Сухая	Летучая зола	NA	NA	151
DE74	O	g	Мокрая	Летучая зола	NA	NA	2 500
DE76	O	g	Сухая	Летучая зола	NA	NA	224
DE80	M	g	Мокрая	Летучая зола	0.54	NA	427
DE86	M	g	Мокрая	Летучая зола	< 0.05	NA	487
FI01	M	g	Мокрая	Летучая зола	NA	< 0.021	250–700
IT02	M	g	Сухая	Летучая зола	0–0.2	0–0.1	0.0004–0.001
IT11	M	g	Мокрая	Летучая зола	< 2	< 5	0.12–0.04
UK09.1	M	g	Полу	Летучая зола	NA	NA	21.6–346
UK09.2	M	g	Полу	Летучая зола	NA	NA	21.9–57.4
UK09.3	M	g	Полу	Летучая зола	NA	NA	20.2–60.4
UK14	C	o	Сухая	Летучая зола	NA	13.8–51 (нг/кг)	3671–7633
Примечание: NA: информация не доступна Основной тип сжигаемых отходов: M = ТКО; O = ДНОО; S = ОСВ; H = ОО; C = МО. Тип печи: g = колосниковая решетка; fb = кипящий слой; r = ротационная печь; o = другое. Источник: [81, TWG 2016]							

Таблица 3.15: Концентрация органических соединений в зольном остатке/шлаке

Код установки	Основные отходы	Тип печи	Система ОДГ	ПАУ (мг/кг)	ПХБ (мг/кг)	ПХДД/Ф (нг МТЭ/кг)
AT02	M	g	Мокрая	NA	< 0.93	2.73
AT08.1	S	r fb	Мокрая	0.52	< 0.64	0.82
AT08.2	M	fb	Мокрая	NA	NA	21.1
DE15	S	fb	Мокрая	NA	< 0.01	15–23
DE16	S	fb	Мокрая	< 0.1	NA	57–55
DE23	H	r	Мокрая	0.2	< 0.1	< 5
DE25	H	r	Мокрая	NA	NA	79.3
DE29	H	r	Мокрая	< 1	< 0.1	0.01–46
DE30	H	r	Мокрая	0–60	NA	10–1 000
DE31	H	g	Полу	6.2 POPs	NA	< 0.02
DE39	M	g	Мокрая	2.7–12.5	NA	n/a
DE55	M	g	Мокрая	NA	NA	478.3
DE56	M	g	Сухая	NA	NA	0.6–9.3
DE69	M	g	Сухая	NA	> 1	NA
DE74	O	g	Мокрая	NA	NA	10.7
DE80	M	g	Мокрая	NA	NA	13.8
DE86	M	g	Мокрая	0.74	NA	4.71
DK05	H	r	Мокрая	NA	NA	58
FI01	M	g	Мокрая	NA	< 0.021	7.6–13
FR108	H	r f	Мокрая	NA	3519	NA
IT01	M	g	Мокрая	NA	NA	1.1–54
IT02	M	g	Сухая	0.1	0.0000001	5.92– 41.3
IT11	M	g	Мокрая	< 2	< 5	< 0.02
IT13	O	g	Сухая	0.40	1.40	6.0
IT14	M	g	Сухая	< 0.5	NA	1.1–8.6
IT15	M	g	Сухая	< 0.5	NA	0.0014–0.003
IT16	O	fb	Мокрая	< 0.5	< 0.01	1.3–6.78
IT17	O	g	Мокрая	0.5–0.96	0.0096–0.028	0.0035–0.008
IT18	M	g	Сухая	< 1	< 1	1–4
IT22	O	g	Сухая	< 5	NA	3.6
IT23	M	g	Сухая	NA	0.01	9.3
UK07.1	M	fb	Сухая	NA	0.000017	443
UK07.1	M	fb	Сухая	NA	0.0000001–0.00000086	1.1–6.6
UK07.2	M	fb	Сухая	NA	0.000011	340
UK07.3	M	fb	Сухая	NA	0.000016	494
UK08	M	g	Сухая	1.15–1.39	0.003–0.197	4.14–8.39
UK09.1	M	g	Полу	NA	NA	2.46–6.1
UK09.2	M	g	Полу	NA	NA	1.5–10.6
UK09.3	M	g	Полу	NA	NA	2.39–13.4
UK14	C	o	Сухая	NA	0.22–2.5 нг/кг	13.7–53.9

Примечание:

NA: информация не доступна. Основной тип сжигаемых отходов: M = ТКО; O = ДНОО; S = ОСВ; H = ОО; C = МО. Тип печи: g = колосниковая решетка; fb = кипящий слой; r = ротационная печь; o = другое.

Источник: [81, TWG 2016]

Таблица 3.16: Концентрация органических соединений в твердых остатках на станциях очистки сточных вод

Код установки	Основные отходы	Тип печи	Описание	ПАУ (мг/кг)	ПХБ (мг/кг)	ПХДД/Ф (нг МТЭ/кг)
DE30	H	r	Гипс	0–0.6	Ниже предела обнаружения	150–170
DE51	O	g	Гипс	NA	NA	11.2
DE74	O	g	Гипс	NA	NA	266 550
DE86	M	g	Гипс	0.82	NA	9.29
DE25	H	r	Шлам	NA	NA	11 971
DE39	M	g	Шлам	NA	NA	592
DE80	M	g	Шлам	NA	NA	14
FR108	H	r f	Шлам	NA	0.186	NA
IT02	M	g	Шлам	0.1	0.000002	6.73E-5 – 4.16E-6
IT11	M	g	Шлам	< 1	< 5	< 0.02–0.1
IT17	O	g	Шлам	0.5	0.0072–0.022	0.098–0.14
Примечание: NA: информация не доступна Основной тип сжигаемых отходов: M = ТКО; O = ДНОО; S = ОСВ; H = ОО. Тип печи: g = колосниковая решетка; fb = кипящий слой; p = ротационная печь. Источник: [81, TWG 2016]						

Зольный остаток от сжигания ТКО

Основными компонентами зольного остатка от сжигания ТКО являются минеральная фракция, металлолом и несгоревшая фракция. Минеральная фракция в основном содержит силикаты, щелочноземельные металлы и соли.

Относительное разделение элементов в зольном остатке зависит, главным образом, от состава ТКО, поступающих на сжигание, от летучести содержащихся в отходах элементов, от типа применяемой системы сжигания и решетки, а также от принципа работы системы сжигания. [4, МРГ 1997]

Уменьшение массы и объема при сжигании отходов приводит к обогащению нелетучих металлов в зольном остатке в сравнении с их концентрацией в отходах. Некоторые металлы, например, мышьяк, кадмий или ртуть в значительной степени испаряются из слоя топлива. Очевидно, что, за исключением преимущественно литофильной меди, все выбранные металлы сильно обогащены пылью от фильтров.

Компоненты металлолома – это черные металлы (в основном лом черных металлов и нержавеющая сталь) и цветные металлы (в основном алюминий, латунь и медь) (см. таблицу 3.17).

Таблица 3.17: Основные компоненты необработанного зольного остатка

Категории	Процент по массе (масс- %)
Минеральная фракция	85–90
Несгоревшая фракция	< 3
Лом черных металлов	< 5–10
Лом цветных металлов	0.5–2
Источник: [82, Germany 2014]	

Что касается других материалов, при оценке рисков, связанных с зольным остатком, важным параметром является не только собственно наличие или отсутствие веществ и их химическая и

физическая форма, но также и их потенциальное высвобождение в зависимости от характера среды, в которой материал будет использоваться [7, TWG 2017]. В таблице 3.18 приведен состав зольного остатка.

Таблица 3.18: Химический состав зольного остатка от сжигания ТКО

Значения в масс.-%	Зольный остаток		
Параметр	Мин.	Сред.	Макс.
SiO ₂	42.91	49.2	64.84
Fe ₂ O ₃ *	9.74	12	13.71
CaO*	10.45	15.3	21.77
K ₂ O*	0.83	1.05	1.36
TiO ₂ *	0.65	1.03	1.33
MnO*	0.06	0.14	0.22
Al ₂ O ₃ *	6.58	8.5	10.79
P ₂ O ₅ *	0.55	0.91	1.49
MgO*	1.79	2.69	3.4
Na ₂ O*	1.86	4.3	5.81
CO ₂	2.56	5.91	10.96
Сульфаты	2.5	15.3	28.3
Хлориды	1.3	3.01	7
Cr (ppm)	174	648	1035
Ni (ppm)	55	215	316
Cu (ppm)	935	2 151	640
Zn (ppm)	1 200	2 383	4001
Pb (ppm)	497	1 655	3245
Примечание: *Значения, рассчитанные на основе рентгенофлуоресцентного анализа. Источник: [82, Germany 2014]			

Обычно анализ зольного остатка выполняется двумя способами. Первый способ анализирует доступные подвижные соединения (элюатный анализ (то есть выщелачивание)) из нижней фракции золы. Второй метод анализирует полные соединения зольного остатка (анализ твердых веществ). Использование методов определяется тем, как используется минеральная фракция. Тем не менее, анализ элюата является более важным при оценке возможности извлечения материала, [75, FEAD 2014], потому что почти все правила обращения или удаления отходов основаны на стандартизированных тестах выщелачивания.

В таблице 3.19 приведены значения выщелачивания для необработанного зольного остатка, как указано в сборе данных обзора Справочного документа по НДТ сжигания отходов.

Таблица 3.19: Выщелачивающие свойства необработанного зольного остатка

Соединения	Минимальная выщелачивающая способность (мг/кг)	Максимальная выщелачивающая способность (мг/кг)
(SO ₄) ²⁻	200	10 000
As	0.00045	28
Ba	0.05	38
Br ⁻	7.6	NA
Cd	0.002	6.7
Cl ⁻	5	10 000
CN ⁻ (свобод.)	0.01	NA
CN ⁻ (общий)	0.048	NA
Co	0.1	0.2
Cr (общий)	0.004	1.24
Cu	0.005	20
F ⁻	0.2	1300
Hg	0.0002	0.1
Mo	0.01	3.3
Ni	0.005	0.3
Pb	0.005	21
Sb	0.005	1.2

Соединения	Минимальная выщелачивающая способность (мг/кг)	Максимальная выщелачивающая способность (мг/кг)
Se	0.001	0.13
Sn	0.04	NA
V	0.01	0.2
Zn	0.01	6.7
Примечание: Соотношение жидкой и твердой фаз = 10 л/кг. Источник: [81, TWG 2016]		

Наличие следующих веществ в зольном остатке ТКО считается существенным: медь, цинк, сурьма, молибден, хлорид и сульфат. Технологии обработки направлены на снижение выщелачиваемости этих веществ.

Остатки от сжигания опасных отходов

Остатки от сжигания опасных отходов отличаются от остатков с установок по сжиганию неопасных отходов, поскольку в опасных отходах содержится более высокая концентрация неорганических загрязнителей (некоторые из которых могут вообще не присутствовать в неопасных отходах), которые переносятся в остатки. Тем не менее, можно выделить следующие различия:

- В случае золы и шлака: сжигание опасных отходов в бочках обычно проводится при температурах выше, чем для сжигания коммунальных отходов. Это может привести к различному фракционированию металлов.
- Из-за различий в типе и составе отходов конкретное количество зольного остатка может подвергаться изменениям, значительно превышающим таковые на установках по сжиганию коммунальных отходов. Эти изменения можно увидеть на одном и том же заводе в зависимости от поступающих отходов, а также между различными заводами и технологиями.
- Что касается пыли от фильтров/остатков ОДГ, полученные твердые остатки могут также содержать значительно более высокие концентрации металлов, так как концентрация металлов в опасных отходах обычно выше.

В следующей таблице приведен обзор параметров, измеренных на некоторых установках по сжиганию опасных отходов, для проверки ЭФ и/или обеспечения эффективного уничтожения опасных компонентов отходов.

Таблица 3.20: Методы и параметры, используемые на установках по сжиганию отходов для проверки ЭФ соединений опасных отходов

Тип установки и печи		Отходы, сжженные (т) в 2014 году	Параметры для измерения ЭФ опасных соединений сгоревших отходов	Метод	Другие параметры для измерения качества образующейся золы/шлака и используемый метод
DE15	fb	162 500	Выброс СО после сжигания	Лазерный метод	Не измеряется
DE18	r	105 000	ООУ	Не сообщается	Не измеряется
DE20	f	33 700	Содержание воды/сухой остаток; ООУ; ППП	105 °C; DIN EN 13137; DIN EN 15169	Сжигание некоторого графитового материала. Поскольку значение «ООУ» в шлаке, полученном стандартным способом, включает неорганический углерод, то если предел ООУ достигнут – ТПХ также измеряется. Разницу составляет «настоящий» ООУ.

Тип установки и печи		Отходы, сожженные (т) в 2014 году	Параметры для измерения ЭФ опасных соединений сгоревших отходов	Метод	Другие параметры для измерения качества образующейся золы/шлака и используемый метод
DE21	f	12 696	Температура в конце печи, кислород в печи, минимальный поток воздуха для горения, обнаружение пламени и АСИ для выбросов в атмосферный воздух	Термопары, ИК, расходомеры и т.д.	Не измеряется
DE23	r	55 223	Нет	Неприменимо	Элюирование по DIN 38404-C5/DIN 10523
DE25	r	56 478	Нет	Неприменимо	Тест на выщелачивание
DE26	r	137 966	Выброс CO после сжигания	Лазерный метод	Измерение содержания металла в смешанных образцах 12 раз в год
DE28	r	55 006	Зольность	Не сообщается	Не измеряется
DE29	r	117 629	Нет	Неприменимо	Извлекаемый липофил имеет значение в исходном веществе; метод: немецкий LAGA Guideline KW/04 (2009); результат: 0,044% (среднегодовое значение; 21 измерение)
DE38	g	580 746	Нет	Неприменимо	Тест на выщелачивание
DE39	g	302 749	As, Cd, Cr общ, Cu, Hg, Ni, Pb, Zn, ПАУ	ISO11885-E22, ISO16772, ISO18287	Не измеряется
DE44	g	494 815	Не измеряется	Неприменимо	По LAGA - правило с каталогом критических значений, LAGA 20 = Z 2
DE52	g	187 311	Нет	Неприменимо	ЕОХ, тяжелые металлы, диоксины
DE55	g	385 951	Ar, Pb, Cd, Cr, Cu, Ni, Hg, Zn, Cl, SO ₄	DIN EN ISO 17294-2/DIN EN ISO 12846/DIN 38414-4/DIN EN ISO 10304-1/DIN ISO 18287	Не измеряется

Тип установки и печи		Отходы, сожженные (т) в 2014 году	Параметры для измерения ЭФ опасных соединений сгоревших отходов	Метод	Другие параметры для измерения качества образующейся золы/шлака и используемый метод
DE56	g	219 329	Нет	Неприменимо	Отсортированное количество по DIN ISO 11464; сухой остаток по DIN ISO 11465; LOI по DIN 18128; EOX по DIN 38414-S17; кадмий, мышьяк, свинец, медь, никель, хром и цинк по DIN EN ISO 11885; ртуть по DIN EN 1483; ПАУ с DIN ISO 13877
DE60	g	364 133	Нет	Неприменимо	EOX (DIN 38414 s17); ПАУ (DIN ISO 13877)
ES11	r	44 516	Непрерывный/периодический мониторинг выбросов	Автоматическая система измерения (АСИ)	Каждые 3 месяца: содержание металлов в золе. ТОС и ППП
FI01	g r	317 095	Нет	Неприменимо	ТОС, ПХДД/Ф, ПХБ, XRF
FR106	f	59 051	Нет	Неприменимо	Ni и Zn
FR108	r f	32 930	Внутреннее содержание ПХБ	Не указан	Анализ основных параметров шлаков; ООУ и ППП
FR110	r	126 468	ООУ	ООУ измерение	Почасовая визуальная проверка; ООУ испытан при 870 °C измерения произведенного СО; Визуальный контроль на выходе из печи с помощью эндоскопа; Выбор расположения сопел (низкая теплотворная способность/высокая теплотворная способность), чтобы избежать или создать тепловой барьер; Изменение скорости вращения печи)
FR111	r	196 055	ППП и металлы в твердых остатках	EN 12457-2	Тест на выщелачивание
NL05	fb	360 100	Нет	Неприменимо	Фосфор
NO01	g	185 980	Не указан	Не указан	Не измеряется
NO02	g	141 896	Измерение дымовых газов	Не указан	Базовая характеристика проводится каждый год на отсортированном остатке золы (сортировка металлов)
PL03	r	28 267	ТОС	EN13137	Метод ППП EN15169
PL05	fb	15 673	Нет	Неприменимо	Измеренные параметры, указанные в приложении 1-3 Национального закона (критерии и процедуры для разрешения отходов на захоронение отходов, как в Директиве по захоронению отходов)

Тип установки и печи		Отходы, сожженные (т) в 2014 году	Параметры для измерения ЭФ опасных соединений сгоревших отходов	Метод	Другие параметры для измерения качества образующейся золы/шлака и используемый метод
SE03	g	176 487	Металлы, ООУ и т.д.	Тест и 246mercury 246246nt выполняются, когда сжигаются новые ОО, но регулярные тесты не проводятся	Не измеряется
SE21	g r	153 249	ПХД, ПАУ	Газовая хроматография	Рентгенофлуоресцентное (XRF) сканирование шлака и всех видов золы
UK02	r	37 344	ППП	BS EN 15169:2007	Не указан
UK08	g	261 257	Не измеряется	Неприменимо	pH, щелочность и металлы
Примечание: g = колосниковая решетка; fb = кипящий слой; r = ротационная печь; f = другие. Источник: [81, TWG 2016]					

Типичные значения выщелачивания для зольного остатка от сжигания опасных отходов приведены в Таблице 3.21.

Таблица 3.21: Типичные значения выщелачивания зольного остатка на установках по сжиганию опасных отходов

Соединение	Минимум (мг/кг)	Максимум (мг/кг)
As	< 0.01	16
Ba	< 0.01	14.4
Cd	< 0.01	2.1
Co	0.03	< 0.1
Cr ^{tot}	< 0.01	30
Cr ^{VI}	< 0.01	10
Cu	< 0.01	2.15
Hg	< 0.002	1
Mn	0.008	0.68
Mo	0.01	21
Ni	< 0.01	5
Pb	< 0.01	13
Sb	< 0.005	4
Se	< 0.01	1
Tl	< 0.001	< 0.35
V	0.005	0.1
Zn	< 0.02	3.2
Хлорид	< 1	4 700
Фторид	< 0.1	15
Сульфат	2	3 600
Фенольный индекс	< 0.01	10
РОУ	< 1	130
ВРЧ	< 50	18 000
ООУ	0.09	55
БТЭК	0	< 0.15

Соединение	Минимум (мг/кг)	Максимум (мг/кг)
ПХБ 7	< 0.02	< 0.05
Минеральное масло	NA	< 100
ПАУ	< 0.05	6.2
Примечание: Соотношение жидкой и твердой фаз = 10 л/кг. Источник: [81, TWG 2016]		

Остатки от сжигания осадка сточных вод

На химическую структуру золы осадка сточных вод существенно влияет погода, в частности, количество осадков. В случае дождливой погоды в канализационную систему попадают большие количества глины и мелкого песка, которые проходят через зернистую камеру, осаждаются в предварительном отстойнике и поступают на сжигание осадка вместе с первичным осадком. В результате в периоды дождливой погоды содержание силикатов в золе значительно увеличивается, а содержание других компонентов разбавляется.

Кроме того, тип водосбора и проведенные обработки оказывают большое влияние на качество осадка. Участки с большим количеством тяжелых промышленных соединений могут привести к тому, что более высокие концентрации тяжелых металлов будут поступать на сжигание; эти вещества могут затем накапливаться в зольном остатке и летучей золе. В сельских районах, где мало промышленности, может образовываться менее загрязненный осадок сточных вод и, следовательно, снижается загрязнение остатков от сжигания.

Другим важным фактором влияния является характер обработки (и, следовательно, реагентов: минеральных, полимерных и т.д.), которые применяются для очистки сточных вод. [74, TWG 2004]

Информация о содержании фосфора и некоторых опасных органических веществ в твердых остатках, образующихся при сжигании отходов, приводится в таблице 3.22 ниже.

Таблица 3.22: Содержание фосфора, ПАУ, ПХД и ПХДД/Ф в твердых остатках, образующихся при сжигании осадка сточных вод

Код установки	Распространенные отходы	Тип печи	Тип ОДГ	Описание остатка	Фосфор (мг/кг)	ПАУ (мг/кг)	ПХБ (мг/кг)	ПХДД/Ф (нг МТЭ/кг)
DE15	S	fb	Мокрая	Зольный остаток/шлак	29 200–38 700	NA	< 0.01	15–23
DE16	S	fb	Мокрая	Зольный остаток/шлак	28 000–46 000	< 0.1	Не определено	57–55
DE26	H	r	Мокрая	Котельная зола	14 800–35 700	NA	NA	3.4–9.5
DE26	H	r	Мокрая	Зольный остаток/шлак	2 700–5 500	NA	NA	NA
DE26	H	r	Мокрая	Летучая зола	19 000–29 800	NA	NA	50.1–63.4
DE70	M	g	Сухая	Зольный остаток/шлак	70	NA	NA	NA
DE73	M	g	Полу	Зольный остаток/шлак	< 0.1–1.1	NA	NA	NA
DE73	M	g	Полу	Летучая зола	< 0.1–0.66	NA	NA	NA
DE74	O	g	Мокрая	Зольный остаток/шлак	2 300	NA	NA	NA
DE74	O	g	Мокрая	Летучая зола	5 700	NA	NA	NA
DE74	O	g	Мокрая	Гипс	230	NA	NA	NA
DE87	S	fb	Мокрая	Зольный остаток/шлак	90 000	NA	NA	NA

Код установк	Распространенные отходы	Тип печи	Тип ОДГ	Описание остатка	Фосфор (мг/кг)	ПАУ (мг/кг)	ПХБ (мг/кг)	ПХДД/Ф (нг МТЭ/кг)
NL05	S	fb	Мокрая	Зольный остаток/шлак	113 000	NA	NA	0
NL05	S	fb	Мокрая	Летучая зола	1 500	NA	NA	3
NL06	S	fb	Мокрая	Зольный остаток/шлак	87 000	NA	NA	NA
SE20	M	g	Мокрая	Котельная зола	2 870	NA	NA	NA
Примечание: Основной тип сжигаемых отходов: M = ТКО; O = ДНОО; S = ОСВ; H = ОО; Тип печи: g = колосниковая решетка; fb = кипящий слой; r = ротационная печь; o = другое. Источник: [81, TWG 2016]								

Проблемы с другими типами отходов

Касательно медицинских отходов существуют следующие проблемы:

- выгорание должно быть полным, чтобы обеспечить уничтожение инфекционных агентов;
- иглы для подкожных инъекций и другие острые материалы в нижней части золы могут создавать дополнительные риски при обращении с ними.

Качество твердого остатка из кипящего слоя

Из-за различий в процессе, характеристиках отходов и температурах сгорания качество данной золы сильно отличается от качества золы печей по сжиганию. Как правило, более низкие (но более равномерные) рабочие температуры, характер топлива и процесс в кипящем слое означают, что:

- большая часть летучих металлов остается в зольном остатке – следовательно, концентрации тяжелых металлов в остатках дымовых газов снижаются; однако иногда возникают проблемы с уровнями Cr^{VI} в растворимой части зольного остатка;
- степень витрификации золы может быть снижена;
- выгорание может быть улучшено.

Когда извлеченное топливо производится для котлов с псевдоожиженным слоем, зольность обычно составляет 1–10%, а для отходов строительства и сноса – обычно 1–7%. [33, Finland 2002]. Содержание золы в коммунальных отходах, сжигаемых во вращающихся печах с псевдоожиженным слоем, составляет до 30% и до 15% в случае RDF-топлива.

Большую часть твердого остатка от сжигания в псевдоожиженном слое составляет летучая зола, которая, в зависимости от условий и применяемой технологии псевдоожиженного слоя, может составлять до 90% от общего остатка золы. Зольный остаток также смешивают с материалом с псевдоожиженным слоем (например, песком, добавками для десульфурации). Когда отходы или RDF-топливо сжигаются во вращающемся псевдоожиженном слое, соотношение зольного остатка к летучей золе составляет около 50:50.

При использовании отходов, образующихся в результате строительства и сноса, можно обнаружить небольшое увеличение содержания тяжелых металлов в золах обоих типов по сравнению с сжиганием древесины. Когда извлеченное топливо производится из коммунальных отходов, то происходит увеличение количества тяжелых металлов. Степень увеличения зависит от типа используемых коммунальных отходов. Если сгорают все коммунальные отходы, то увеличение будет высоким. Если применяется разделение поступающих отходов и сжигается только горючий упаковочный материал, то увеличение содержания тяжелых металлов будет меньше. Топливо, полученное из промышленных отходов, может быть очень изменчивым и, следовательно, приводить к широкому диапазону зольных качеств.

Таблица 3.23: Значения выщелачивания зольного остатка из печей с кипящим слоем

Соединение (ед.)	Код установки и основной тип сжигаемых отходов								
	AT08.1	AT08.2	BE08	IT16	PL01	PL05	UK07	UK17	UK18
	S	M	O	O	S	S	M	O	O
As (мг/кг)	< 0.01	< 0.01	0	0.001	1.72	0.042– 6.09	< 0.008	< 0.02– 0.142	< 0.02– < 0.03
Ba (мг/кг)	22	2.1	1.6	0.307– .784	1	0.307– 0.428	1.52	1–10.2	1.49–2.84
Cd (мг/кг)	0.019	0.02	0	0.005	0.13	< 0.005	< 0.001	< 0.01	< 0.003– < 0.01
Co (мг/кг)	< 0.5	< 0.5	0	NA	NA	NA	< 0.006	< 0.1	< 0.1–< 0.2
Cr общ (мг/кг)	< 0.3	< 0.3	1.4	0.042– 0.081	0.1	< 0.030	2.26	0.028– 0.69	0.2–0.69
Cr ^{VI} (мг/кг)	< 0.3	< 0.3	0.6	NA	NA	NA	NA	0.37– 0.6	NA
Cu (мг/кг)	< 0.5	< 0.5	0.47	0.005– 0.097	0.28	0.059– < 0.040	0.13	< 0.1– 0.44	< 0.1–< 0.2
Hg (мг/кг)	< 0.001	< 0.001	0	0.0005	0.005	< 0.005– < 0.005	< 0.000 1	< 0.000 2	< 0.0002– < 0.0003
Mn (мг/кг)	< 0.1	< 0.1	0	NA	NA	NA	< 0.04	< 0.1	< 0.1–< 0.2
Mo (мг/кг)	22.3	0.3	2.19	0.009– 0.019	3.98	< 0.040– 11	0.4	0.028– 0.12	0.32–0.85
Ni (мг/кг)	< 0.3	< 0.3	0	0.005	0.25	< 0.040	< 0.01	< 0.1	< 0.1–< 0.2
Pb (мг/кг)	1.7	< 0.3	71.9	0.005– 0.011	0.31	< 0.100	0.2	0.09– 4.3	0.016–1.27
Sb (мг/кг)	< 0.3	0.4	0	0.024– 0.157	0.099	< 0.010– < 0.50	< 0.17	0.065– 0.25	0.12–0.31
Se (мг/кг)	< 0.1	< 0.1	0	0.001	3.69	0.015– 21.4	< 0.01	< 0.02	< 0.02– < 0.03
Tl (мг/кг)	< 0.5	< 0.5	0	NA	NA	NA	< 0.01	0.024– 0.87	< 1–< 2
V (мг/кг)	0.15	0.2	0	NA	NA	NA	0.24	0.012– 0.19	< 0.1–< 0.2
Zn (мг/кг)	0.6	< 0.1	0.4	0.05	1	< 0.050	0.53	< 0.1– 27.3	< 0.2–0.2
Хлорид (мг/кг)	3 240	909	1 915	81–122	6 568	< 50– 26 900	1210	12–29.2	263–707
Фтор (мг/кг)	19	3	5	NA	2251	< 1.0– 1 269	< 0.96	0.88– 1.16	0.1–1.52
Сульфат (мг/кг)	1 600	13 000	10 024	11232	60 000	186– 296 350	1610	30.4–64	206–853
Фенольный индекс (мг/кг)	1.1	< 0.1	NA	NA	NA	NA	NA	< 0.1	NA
РОУ (мг/кг)	NA	NA	NA	20	1366	28.9–36.2	NA	1.68–9	NA
ВРЧ (мг/кг)	NA	NA	NA	1620– 4270	596 352	1 440– 722 220	3030	760– 3 468	5 700– 7 500
ООУ (мг/кг)	302	25	36.9	NA	0.43	NA	NA	NA	5.2–10.6
БТЭК (мг/кг)	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
ПХБ 7 (мг/кг)	NA	NA	NA	NA	NA	NA	0.0001	NA	NA
Минеральное масло (мг/кг)	1	< 1	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
ПАУ (мг/кг)	NA	NA	NA	NA	NA	NA	< 2.4	NA	NA
ПХДД/Ф (мг/кг)	NA	NA	NA	NA	NA	NA	0.00000 198	NA	NA
Примечание: Основной тип сжигаемых отходов: M = ТКО; O = ДНОО; S = ОСВ; H = ОО; C = МО. Соотношение жидкой и твердой фаз = 10 л/кг. NA = нет данных. Источник: [81. TWG 2016.]									

3.4.3 Обработка зольного остатка/шлака после сжигания

Согласно собранным данным, на всех установках по сжиганию отходов в Европе зольный остаток/шлак обрабатывается путем ферромагнитного разделения для извлечения железа, а также на большинстве используется вихрековое разделение для извлечения цветных металлов.

В таблице 3.24 приведены основные характеристики установок по сжиганию, на которых обрабатывается шлак и/или зольный остаток, которые участвовали в сборе данных.

Таблица 3.24: Характеристик установок по сжиганию отходов с последующей обработкой зольного остатка

Установка	Производительность (т/г)	Пропускная способность (т/ч)	Непосредственно на заводе по СО	Тип обработки	Применяемый процесс
AT.B-01	40 000	90	Нет	Сухой, Мокрый, Промывка	M,F,E,Dw,SS
BE.B-01	100 000	25	Да	Сухой	F,E,A,B,SS
BE.B-02	NA	75	Да	Мокрый	M,F,E,S,Dw,SS
CZ.B-01	120 000	50	Да	Мокрый	M,F,E,
DE.B-01	180 000	100	Нет	Сухой	M,F,E,A,SS
DE.B-02	400 000	90	NA	Сухой, Мокрый, Промывка	M,F,E,A,Dw,SS
DE.B-03	300 000	120	Нет	Мокрый	M,F,E,SS
DE.B-04	600 000	130	Нет	Сухой	M,F,E,I,N,O,A,SS
DE.B-05	340 000	120	Нет	Сухой	M,F,E,A,SS
DE.B-06	216 000	100	Нет	Сухой	M,F,E,A,SS
DE.B-07	450 000	120	Нет	Сухой	M,F,E,A,SS
DE.B-08	250 000	80	Нет	Сухой	M,F,E,I,A,SS
DE.B-09	70 000	37	Да	Сухой	M,F,E,SS
DE.B-10	90 000	100	Да	Сухой, Промывка	M,F,E,
DE.B-11	90 000	100	Да	Сухой, Промывка	M,F,E,A
DE.B-12	79 000	55	Да	Сухой	F,E,A,SS
DE.B-13	140 000	100	Да	Мокрый	M,F,E,I,A,B,SS
DE.B-14	NA	NA	Да	Сухой	M,F,E,B,SS
DK.B-01	125 000	100	Нет	Мокрый	M,F,E,I,A,SS
DK.B-02	750 000	120	Нет	Мокрый	M,F,E,I,A,SS
DK.B-03	180 000	90	Нет	Мокрый	M,F,E,A,SS
ES.B-01	200 000	120	Да	Сухой, Промывка	M,F,E,A,SS
FR.B-01	5 500	1.2	Да	Сухой	F,E,SS
FR.B-02	12 000	3	Да	Сухой	F,E,SS
FR.B-03	90 000	NA	Да	Сухой	F,E,A,SS
FR.B-04	87 000	100	Да	Сухой	M,F,E,SS
FR.B-05	54 250	80	Да	Сухой	F,E,A,SS
FR.B-06	200 000	100	Нет	Сухой	M,F,E,A,SS
FR.B-07	120 000	92	Нет	Сухой	M,F,E,A,SS
FR.B-08	100 000	40	Нет	Сухой	M,F,E,SS
FR.B-09	7 000	0.84	Да	Сухой	F,SS
FR.B-10	20 000	35	Нет	Сухой	F,E,SS
IT.B-01	250 000	110	Нет	Сухой	M,F,E,A,SS
IT.B-02	620 000	160	Нет	Сухой, Мокрый, Промывка	M,F,E,I,A,S,Dw,Dd,SS
NL.B-01	180 000	100	Да	Сухой	F,E,A,B,SS
NL.B-02	320 000	130	Нет	Сухой	F,E,A,B,SS
NL.B-03	700 000	200	Нет	Сухой	M,F,E,A,B,SS
PT.B-01	200 000	60	Нет	Сухой	M,F,E,A,SS
PT.B-02	NA	NA	Да	Сухой	F
SE.B-01	87 000	1000	Да	Сухой	F,E,SS
SE.B-02	129 905	40	Нет	Сухой	F,E,A,SS
SE.B-03	100 000	100	Нет	Сухой	M,F,E,I,SS
UK.B-01	200 000	120	Нет	Сухой	F,E,A,B,SS

Установка	Производительность (т/г)	Пропускная способность (т/ч)	Непосредственно на заводе по СО	Тип обработки	Применяемый процесс
Примечание: NA = нет данных; Сухая = система сухой обработки; Промывка = промывание зольного остатка; Мокрая = система влажной обработки; A = ветровое просеивание/воздушно-гидравлическое разделение; B = баллистическое разделение; Dd = разделение по плотности сухого материала; Dw = разделение по плотности влажного материала; E = вихревое разделение; F = ферромагнитная сепарация; I = индукционная целлюлозно-металлическая сепарация; M = ручная сортировка; N = разделение в ближней ИК области спектра; O = оптическое разделение, отличное от N; S = разделение в тяжёлых средах; SS = скрининг/просеивание. Источник: [81, TWG 2016]					

3.4.3.1 Массовые потоки

Количество черных и цветных металлов, извлеченных из зольного остатка/шлака после сжигания, зависит от состава сжигаемых отходов и процесса, применяемого для извлечения этих компонентов из ЗОП. В таблицах 3.25 и 3.26 показаны объемы зольного остатка/шлака, обработанные в 2014 году установками по переработке зольного остатка, которые участвовали в сборе данных 2016 года, а также указан процент извлеченных черных и цветных металлов.

Таблица 3.25: Установки по переработке шлака/зольного остатка с кодом 19 01 12 по Европейскому каталогу отходов: объемы, обработанные в 2014 году, и процент извлеченных черных и цветных металлов

Установка	Обработанный объем (т)	Черные металлы (%)	Цветные металлы (%)
AT.B-01	32 546	1.15	1.85
BE.B-01	88 655	NA	NA
BE.B-02	87 813	8	3
CZ.B-01R	59 145	6	0.3
DE.B-01	157 600	5.77	1.46
DE.B-02	276 000	NA	NA
DE.B-03	140 180	10	1
DE.B-04	522 874	4–8	0.20–1
DE.B-05	244 931	7.66	2.613
DE.B-06	141 000	4.8	3.34
DE.B-07	304 000	NA	NA
DE.B-08	46 500	NA	NA
DE.B-09	61 172	8	0.8
DE.B-10	56 476	11.47	1.45
DE.B-11	NA	9	2.9
DE.B-12	79 000	5.06	0.68
DE.B-13	104 015	6.2 ⁽¹⁾	1.06 ⁽¹⁾
DE.B-14	64 262	9.3	0.8
DK.B-01	116 161	6	1.2
DK.B-02	750 000	NA	NA
DK.B-03	11 000	3.6 ⁽¹⁾	1.1 ⁽¹⁾
ES.B-01R	114 376	8.3	0.53
FR.B-01	11 432	NA	NA
FR.B-02	11 216	NA	NA
FR.B-03	96 186	NA	NA
FR.B-04	68 838	NA	NA
FR.B-05	45 717	NA	NA
FR.B-06	127 203	1.1	1.9
FR.B-07	104 469	NA	NA
FR.B-08	80 000	NA	NA
FR.B-09	5 837	NA	NA
FR.B-10	4 810	NA	NA
IT.B-01	132 217	8	2
IT.B-02	301 288	10	1.5
NL.B-01	205 131	6.5	2.3
NL.B-02	240 559	6.2	3
NL.B-03	616 072	4.59	1.86
PT.B-01	112 506	NA	NA
PT.B-02	18 179	2.46	NA

Установка	Обработанный объем (т)	Черные металлы (%)	Цветные металлы (%)
SE.B-01	87 000	4.44	1.89
SE.B-02	129 905	4.4 ⁽¹⁾	1.74 ⁽¹⁾
SE.B-03	99 275	5.4	1.5
UK.B-01	171 196	7	2.3

Примечание: NA = нет данных.
⁽¹⁾ оцененное значение на основе расчета
 Процентное содержание черных и цветных металлов, отделенных от обработанных отходов, является чистым значением, т.е. без учета примесей.
 Источник: [81, TWG 2016]

Таблица 3.26: Установки по переработке шлака/зольного остатка с кодом 19 01 11* по Европейскому каталогу отходов: объемы, обработанные в 2014 году, и процент извлеченных черных и цветных металлов

Установка	Обработанный объем (т)	Черные металлы (%)	Цветные металлы (%)
DE.B-03	73 025	10	1
IT.B-01	39 592.81	8	2
IT.B-02	30 779	10	1.5

Примечание: Процентное содержание черных и цветных металлов, отделенных от обработанных отходов, является чистым значением, т.е. без учета примесей.
 Источник: [81, TWG 2016]

Таблица 3.27: Поступающее и производимое количество отходов европейскими установками по переработке зольного остатка в 2014 году

Установка	Отходы		R/D	Размер гранул (мм)	Конечное назначение						
	Входные (т)	Выходные (т)			RC	L	OS	U	RP	AF	OR
AT.B-01	32 546	31 566	D	0–50	Нет	Да	Нет	Нет	Нет	Нет	Нет
BE.B-01	88 655	80 711	R	0–20	Да	Нет	Нет	Нет	Нет	Нет	Да
BE.B-02	87 813	71 580	R/D	< 0.67; 0.67–2; 2–6; 6–50	Да	Да	Да	Нет	Нет	Нет	Нет
CZ.B-01R	59 145	59 145	R	0–16; 16–42; > 42	Нет	Да	Нет	Нет	Нет	Нет	Нет
DE.B-01	157 600	130 000	R	0–45	Да	Да	Да	Нет	Нет	Нет	Нет
DE.B-02	276 000	243 500	R/D	0–0.25; 0.25–45	Нет	Да	Да	Нет	Нет	Нет	Нет
DE.B-03	140 180 73 025	189 540	R	0–80	Нет	Да	Нет	Да	Нет	Нет	Нет
DE.B-04	522 874	411 546	R/D	0–55	Да	Да	Нет	Нет	Нет	Нет	Нет
DE.B-05	244 931	206 822	R	0–32	Нет	Да	Нет	Нет	Нет	Нет	Нет
DE.B-06	141 000	128 116	R	0–32	Да	Да	Да	Нет	Нет	Нет	Нет
DE.B-07	304 000	280 000	R	0–32	Да	Нет	Нет	Нет	Нет	Нет	Нет
DE.B-08	46 500	41 300	R	0–2; 2–8; 8–40	Да	Да	Да	Нет	Нет	Нет	Да
DE.B-09	61 172	55 745	R	0–32	Нет	Да	Нет	Да	Нет	Нет	Нет
DE.B-10	56 476	47 294	R	0–32	Да	Нет	Да	Нет	Нет	Нет	Нет
DE.B-11	NA	79 412	R	0–32	Да	Нет	Да	Нет	Нет	Нет	Нет
DE.B-12	79 000	64 300	R/D	NA	Нет	Да	Нет	Нет	Нет	Нет	Нет
DE.B-13	104 015	108 855	R/D	NA	Нет	Да	Нет	Нет	Нет	Нет	Нет

Установк а	Отходы		R/D	Размер гранул (мм)	Конечное назначение						
DE.B-14	64 262	57 814	R/D	0–32; < 32	Нет	Да	Нет	Нет	Нет	Нет	Да
DK.B-01	116 161	104 540	R	0–50	Да	Нет	Нет	Нет	Нет	Нет	Нет
DK.B-02	750 000	675 000	R	0–50	Да	Нет	Нет	Нет	Нет	Нет	Нет
DK.B-03	11 000	30 000	R	0–50	Да	Нет	Нет	Нет	Нет	Нет	Нет
ES.B-01R	114 376	127 998	R	0–10; 10–20; 0–20	Да	Да	Да	Нет	Да	Нет	Да
FR.B-01	11 432	11 432	R	0–30	Да	Нет	Нет	Нет	Да	Нет	Да
FR.B-02	11 216	14 339	R	NA	Да	Нет	Нет	Нет	Нет	Нет	Нет
FR.B-03	96 186	64 969	R	0–31	Да	Нет	Нет	Да	Нет	Нет	Нет
FR.B-04	68 838	68 258	R/D	0–30	Да	Да	Нет	Нет	Нет	Нет	Нет
FR.B-05	45 717	36 021	R	NA	Да	Нет	Нет	Нет	Нет	Нет	Нет
FR.B-06	127 203	110 545	NA	0–20	Да	Нет	Нет	Нет	Нет	Нет	Нет
FR.B-07	104 469	98 243	R	0–20	Да	Да	Нет	Нет	Нет	Нет	Нет
FR.B-08	80 000	65 000	R	0–31	Да	Нет	Нет	Нет	Нет	Нет	Нет
FR.B-09	5 837	4 161	R	0–45	Да	Да	Нет	Нет	Нет	Нет	Нет
FR.B-10	4 810	3 900	NA	NA	Да	Нет	Нет	Нет	Нет	Нет	Нет
IT.B-01	132 217 39 592.81	158 900	NA	0–2; 2–4; 0–4; 4–10	Нет	Нет	Да	Нет	Да	Нет	Нет
IT.B-02	301 288 30 779	290 000	R	0–6; 0–20	Да	Да	Нет	Нет	Нет	Нет	Да
NL.B-01	205 131	184 151	R	0–22	Да	Нет	Нет	Нет	Нет	Нет	Нет
NL.B-02	240 559	150 029	R	0–40	Да	Нет	Нет	Нет	Нет	Нет	Нет
NL.B-03	616 072	568 631	R	0–11; 0–32	Да	Нет	Нет	Нет	Да	Нет	Нет
PT.B-01	112 506	50 353	R	0–31	Да	Нет	Нет	Нет			Да
PT.B-02	18 179	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
SE.B-01	87 000	87 000	NA	0–4; 4–60; > 60	Да	Нет	Нет	Нет	Нет	Нет	Нет
SE.B-02	129 905	121 000	NA	0–50	Да	Нет	Нет	Нет	Нет	Нет	Нет
SE.B-03	99 275	77 534	R/D	0–60; > 60	Да	Да	Нет	Нет	Нет	Нет	Нет
UK.B-01	171 196	125 806.1	R	0–40;	Да	Нет	Нет	Нет	Нет	Нет	Нет

Примечание: NA = нет данных.
R = вторичное использование; D = утилизация.
RC = дорожные или земляные работы; L = свалка; OS = другие структуры; U = подземное хранение;
RP = вторичное использование в качестве другого продукта; AF = вторичное использование в качестве удобрения или в с/х; OR = другое вторичное использование.
Источник: [81, TWG 2016.]

В таблице 3.54 приведен обзор качественного состава зольного остатка после обработки. Эту информацию можно сравнить с информацией о выщелачивании необработанного зольного остатка, получаемого на установках по сжиганию, приведенной в таблице 3.19.

Таблица 3.28: Величина выщелачивания зольного остатка после обработки

Составная часть	Среднее (мг/кг)	Минимум (мг/кг)	Максимум (мг/кг)
Хлорид	1 930	100	5 800
Сульфат	2 118	50	6 410
Свинец	1	0.01	11
Медь	5	0.05	80
Никель	0.17	0.01	1
Мышьяк	0.4	0.01	2
Молибден	0.6	0.01	5
Сурьма	0.2	0.01	1
Кадмий	0.01	0.003	0.05
Цинк	1	0.005	9
Ванадий	0.1	0.03	0.2
Общий хром	0.23	0.01	2
ХПК	158	1	670

Примечание: Соотношение жидкой и твердой фаз = 10 л/кг.
 Указанные значения были рассчитаны на основе информации, предоставленной следующими станциями: AT.B-01, BE.B-02, DE.B-05, DE.B-12, DE.B-14, ES.B-01R, FR.B-01, FR.B-02, FR.B-03, FR.B-04, FR.B-05, FR.B-06, FR.B-08, FR.B-09, FR.B-10, IT.B-02, NL.B-01, NL.B-02, NL.B-03, PT.B-01, SE.B-03.
 Источник: [81, TWG 2016]

3.4.3.2 Выбросы в атмосферный воздух

Выбросы в атмосферный воздух от установок по переработке зольного остатка/шлака, образующихся в результате сжигания, могут представлять собой пыль, включая металлические частицы. Выбросы пыли и металлов происходят главным образом от обработки шлака/зольного остатка, измельчения и воздушной сепарации. В таблице 3.29 показаны достигнутые уровни выбросов пыли на некоторых предприятиях ЕС с использованием технологий, применяемых для сокращения выбросов в атмосферный воздух, а также источники выбросов.

Таблица 3.29: Выбросы пыли в атмосферный воздух при обработке зольного остатка после сжигания – периодические измерения

Установка	Выбросы от:	Техн.	Расход (Нм³/ч)			Пыль (мг/Нм³)		
			Макс.	Ср.	Мин.	Макс.	Ср.	Мин.
CZ B-01	Измельчитель; Сито; Конвейерная лента; Площадка вытяжного отверстия	B	98 120	68 540	54 040	0.7	0.3	0.2
DE B-05	Воздушная сепарация	B	30 000	25 750	21 500	0.9	0.5	0.1
DE.B-10	Конвейерная лента; Площадка вытяжного отверстия	NR	NR	NR	NR	3.8	2.3	0.9
IT.B-01	Измельчитель; Сито; Конвейерная лента;	C, B	NR	52 000	NR	1.9	1.8	1.7
IT.B-02	Измельчитель; Сито; Конвейерная лента; Площадка вытяжного отверстия	C, B	200 000	180 000	160 000	0.2	0.2	0.2

Примечание: NR = данные не предоставлены; B = рукавный фильтр; C = циклон.
 Источник: [81, TWG 2016]

3.4.3.3 Выбросы в воду

Сточные воды поступают в основном из процессов мокрой обработки и промывки. Технологические сточные воды содержат соли и металлы, а также взвешенные вещества и органические вещества, включая ПХД/Ф.

Таблица 3.30 суммирует уровни выбросов в воду, сообщаемые посредством сбора данных. Она также дает представление о технологиях и типах применяемого процесса.

Таблица 3.30: Зарегистрированные выбросы в воду при обработке шлаков и зольного остатка после сжигания с указанием используемых методов и точек выброса

Установка		CZ.B-01R	DE.B-03	DE.B-07	DE.B-08	FR.B-03	FR.B-06	FR.B-07	FR.B-08	FR.B-09	IT.B-01	IT.B-02	NL.B-03	PT.B-01 (¹)	UK.B-01
Установка по обработке зольного остатка и установка по СО на одном заводе?		Да	Нет	Нет	Нет	Да	Нет	Нет	Нет	Да	Нет	Нет	Нет	Нет	Нет
ОСВ в пределах завода?		Нет	Да	Да	Нет	Да	Да	Нет	Да	Нет	Да	Да	Да	Да	Нет
Тип обработки		Мокрый	Мокрый	Сухой	Сухой	Сухой	Сухой	Сухой	Сухой	Сухой	Сухой	Мокрый/Сухой/ Промывка	Сухой	Сухой	Сухой
Технологии		Sed/Neut/CP	Sed	Sed/OS	Sed/ OS/Fil	Sed/Fil	Fil	Sed/Neut/ CP/OS/Fil	Neut/CP/O S/Fil	OS	Sed/Neut/ CP	Sed/Neut/CP/O S/Fil	Sed/CP/Fil	Sed/Neut/ CP	---
Расход (м³/ч)	Макс.	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	40	NA	NA	7.7	50	25.7	NA
	Сред.	2.1	7	NA	0.16	NA	NA	NA	10	NA	15	7.5	35	1.4	NA
	Мин.	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	7.2	19	0	NA
Проводимость (мкС/см)	Макс.	848	42 000	8 900	NA	NA	NA	660	NA	NA	7 120	8 280	NA	16 400	848
	Сред.	707	21 930	8 500	1 915	NA	NA	368.55	NA	NA	4 230	2 020	NA	11 120	707
	Мин.	622	8 600	NA	NA	NA	NA	77.1	NA	NA	NA	465	NA	8 600	NA
Сульфат (мг/л)	Макс.	NA	1 300	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	370	348	790	600	664
	Сред.	NA	782	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	289	155	380	600	647
	Мин.	NA	39	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	20	260	600	630
Аммоний-N (мг/л)	Макс.	29.3	2.6	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	8.4	7	40	33.2	0.18
	Сред.	14.68	1.21	NA	0.16	NA	NA	NA	NA	NA	4.9	1.7	13	18	0.13
	Мин.	6.95	0.22	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	0.1	6	6.2	0.0095
Свинец (мг/л)	Макс.	0.015	0.48	NA	NA	NA	0.01	0.004	1	0.005	< 0.02	0.01	0.012	< 0.50	0.016
	Сред.	0.015	0.13	0.01	0.0048	NA	0.01	0.003	0.07	0.005	< 0.02	0.01	0.011	< 0.50	0.022
	Мин.	0.015	0.01	NA	NA	NA	0.01	0.002	0.01	0.005	NA	0.01	0.01	< 0.50	0.006
Общее сод. взвешенных частиц (мг/л)	Макс.	104	2	NA	NA	8	NA	5	600	6.5	< 10	22	64	140	NA
	Сред.	50.5	0.85	0.1	NA	7.5	NA	3.7	400	4.75	< 10	11	24	140	65.2
	Мин.	28	0.2	NA	NA	6	NA	2.4	10	3	NA	10	4	140	NA
ТОС (мг/л)	Макс.	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	9.6	NA	NA	NA	NA	NA
	Сред.	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	9.5	NA	NA	NA	NA	NA
	Мин.	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	9.4	NA	NA	NA	NA	NA
ПХД/Ф (нг МТЭ/л)	Макс.	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	0.03	NA	NA	NA	NA	NA
	Сред.	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	0.0235	NA	NA	NA	NA	NA
	Мин.	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	0.017	NA	NA	NA	NA	NA
Хлорид (мг/л)	Макс.	50	10 300	NA	NA	NA	NA	NA	NA	220	850	1 937	3 900	5 350	1 770
	Сред.	40.5	6 130	NA	138	NA	NA	NA	NA	165	NA	702	2 800	3 604	1 640
	Мин.	36	1 400	NA	NA	NA	NA	NA	NA	110	757	63	1 800	2 430	1 511
Медь (мг/л)	Макс.	NA	0.43	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	0.045	NA	NA
	Сред.	NA	0.22	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	0.022	NA	NA

Установка		CZ.B-01R	DE.B-03	DE.B-07	DE.B-08	FR.B-03	FR.B-06	FR.B-07	FR.B-08	FR.B-09	IT.B-01	IT.B-02	NL.B-03	PT.B-01 ⁽¹⁾	UK.B-01
	Мин.	NA	0.04	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	0.011	NA	NA
Сброс в тип подосема:		Искусственный водоем (напр., водохранилище)	Искусственный водоем (напр., водохранилище)	NA	Река/ручей	NA	Река/ручей	Искусственный водоем (напр., водохранилище)	Искусственный водоем (напр., водохранилище)	Река/ручей	Река/ручей	Озеро	NA	NA ⁽¹⁾	Искусственный водоем (напр., водохранилище)
⁽¹⁾ По составу сточные воды PT.B-01 относятся к сточным водам из установки для обработки зольного остатка до того, как они поступят на предварительную очистку сточных вод в пределах установки. После предварительной очистки сточных вод внутри установки (который включает биологическую очистку с последующей физико-химической обработкой), сточные воды сбрасываются в коммунальную дренажную систему и направляются на очистку городских сточных вод. Примечание: Вид обработки: Промывка = промывка зольного остатка; Sed = седиментация; Neut = нейтрализация; CP = химическое осаждение; OS = отделение масла; Fil = фильтрация. NA = нет данных. Источник: [81, TWG 2016]															

3.4.3.4 Потребление энергии

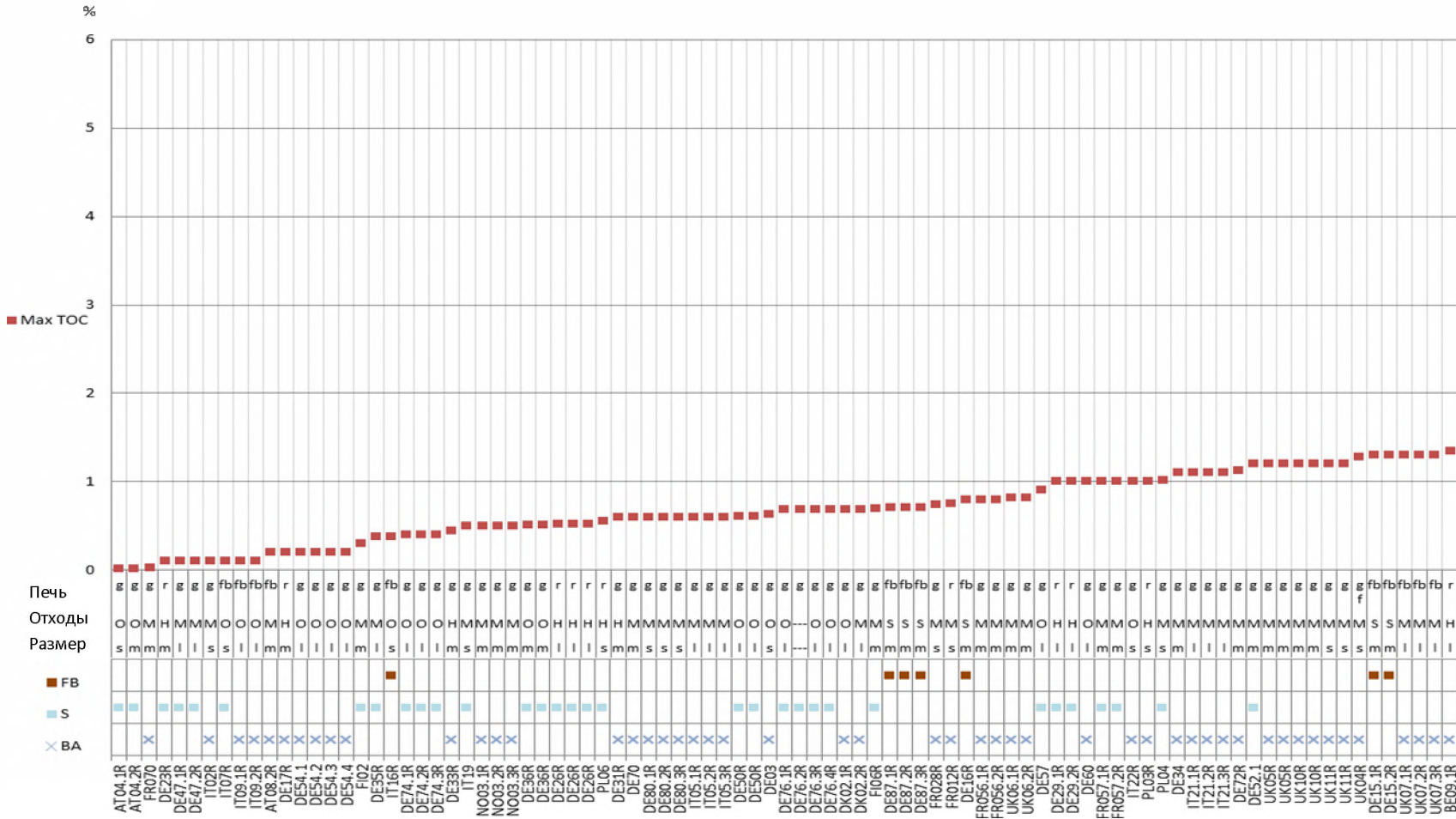
Подвод энергии в виде электроэнергии напрямую зависит от мощности станции, типов применяемых процессов и используемых технологий. Таким образом, он очень специфичен для каждого отдельного случая и сопоставим только в ограниченной степени.

В таблице 3.31 представлена установленная мощность, а также потребление электроэнергии, пара, топлива и воды станциями. Нет данных о подробном мониторинге/измерении мощности (потребление электроэнергии и топлива), используемой для запуска отдельных процессов.

Таблица 3.31: Использование энергии и воды установками по обработке зольного остатка в 2014 году

Установка	Объемы обработки (т/г)	Установленная мощность (кВА)	Потребление энергии и воды					Повторно использованная дождевая вода (м³)
			Электричество (кВтч)	Жидкое топливо (л)	Природный газ (кВтч)	Пар (кВтч)	Вода (м³)	
AT.B-01	40 000	200	NA	30 587	0	0	848	0
BE.B-01	100 000	174	295 630	0	0	0	NA	NA
BE.B-02	87 813 ⁽¹⁾	439	NA	0	0	0	11 415	14 050
DE.B-01	180 000	350	205 000	110 000	NA	NA	1 400	NA
DE.B-02	400 000	1 200	989 000	0	0	0	18 500	0
DE.B-03	300 000	175	371 000	82 900	0	0	5 896	2 495
DE.B-04	600 000	1 254.1	1 985 861	0	0	0	0	47 000
DE.B-05	340 000	640	638 216	267 132	0	0	0	13 500
DE.B-06	216 000	NA	438 000	60 000	NA	NA	NA	NA
DE.B-07	450 000	630	300 000	0	0	0	0	0
DE.B-08	250 000	400	420 000	40 000	0	0	1 200	0
DE.B-09	70 000	NA	368 000	NA	0	175 000	0	0
DE.B-10	90 000	432	1 110 000	24 000	0	0	0	0
DE.B-11	90 000	200	1 500 000	20 000	0	0	0	0
DE.B-12	79 000	NA	343 900	0	0	0	0	0
DE.B-13	140 000	800	117 023	0	0	0	323	9 270
DE.B-14	64 262 ⁽¹⁾	270	NA	0	0	0	300	300
DK.B-01	125 000	NA	80 000	NA	0	0	0	NA
DK.B-03	180 000	280	10 000	5 000	0	0	0	4 000
ES.B-01	200 000	470	238 996	5 855	0	0	1 484.4	0
FR.B-01	5 500	32	278 400	19 100	0	0	0	0
FR.B-03	90 000	204	221 830	62 068	0	0	380	900
FR.B-04	87 000	260	125 000	42 992	0	0	46	0
FR.B-05	54 250	200	100 000	36 000	0	0	261	NA
FR.B-06	200 000	412	660 000	52 000	0	0		0
FR.B-07	120 000	630	210 360	62 540	0	0	91	0
FR.B-09	7 000	7.5	52 616.25	8 000	0	0	0	0
FR.B-10	20 000	62	NA	7 810	0	0	NA	0
IT.B-01	250 000	1 000	1 217 063	630	45 283	0	21 083	0
IT.B-02	620 000	700	1 680 000	0	0	0	3 000	3 000
NL.B-01	180 000	800	800 000	0	0	0	0	0

Установка	Объемы обработки (т/г)	Установ- ленная мощность (кВА)	Потребление энергии и воды					Повтор- но использ- ованная дождева- я вода (м³)
			Электриче- ство (кВтч)	Жидкое топливо (л)	Природны й газ (кВтч)	Пар (кВтч)	Вода (м³)	
NL.B-02	320 000	NA	650 000	0	0	0	0	0
NL.B-03	700 000	1 070	1 115 877	157 440	0	0	20	0
PT.B-01	200 000	100	94 866	67 877	NA	NA	NA	24 304
SE.B-01	87 000	NA	80 000	0	0	0	100	0
SE.B-02	129 905 ⁽¹⁾	NA	NA	0	0	0	5 000	0
UK.B-01	200 000	500	212 138	NA	NA	NA	40 206	NA
Примечание: NA = нет данных. (¹) Данные о мощности отсутствуют; значение относится к объемам, обработанным в 2014 году. Источник: [81, TWG 2016]								



Примечание:
Тип печи: g = колосниковая решетка; r = ротационная печь; fb = кипящий слой; f = печь, отличная от предыдущих; газ = газификация; o = другое.
Основные сжигаемые отходы: M = твердые коммунальные отходы; S = осадок сточных вод; O = другие неопасные отходы; C = медицинские отходы; H = опасные отходы.
Размер установки: s = малая; m = средняя; l = крупная.
FB = зольный остаток от сжигания в кипящем слое; S = шлак; BA= зольный остаток.
Источник: [81. TWG 2016]

Рисунок 3.82: Содержание ООУ в необработанных зольном остатке и шлаках (1/2)

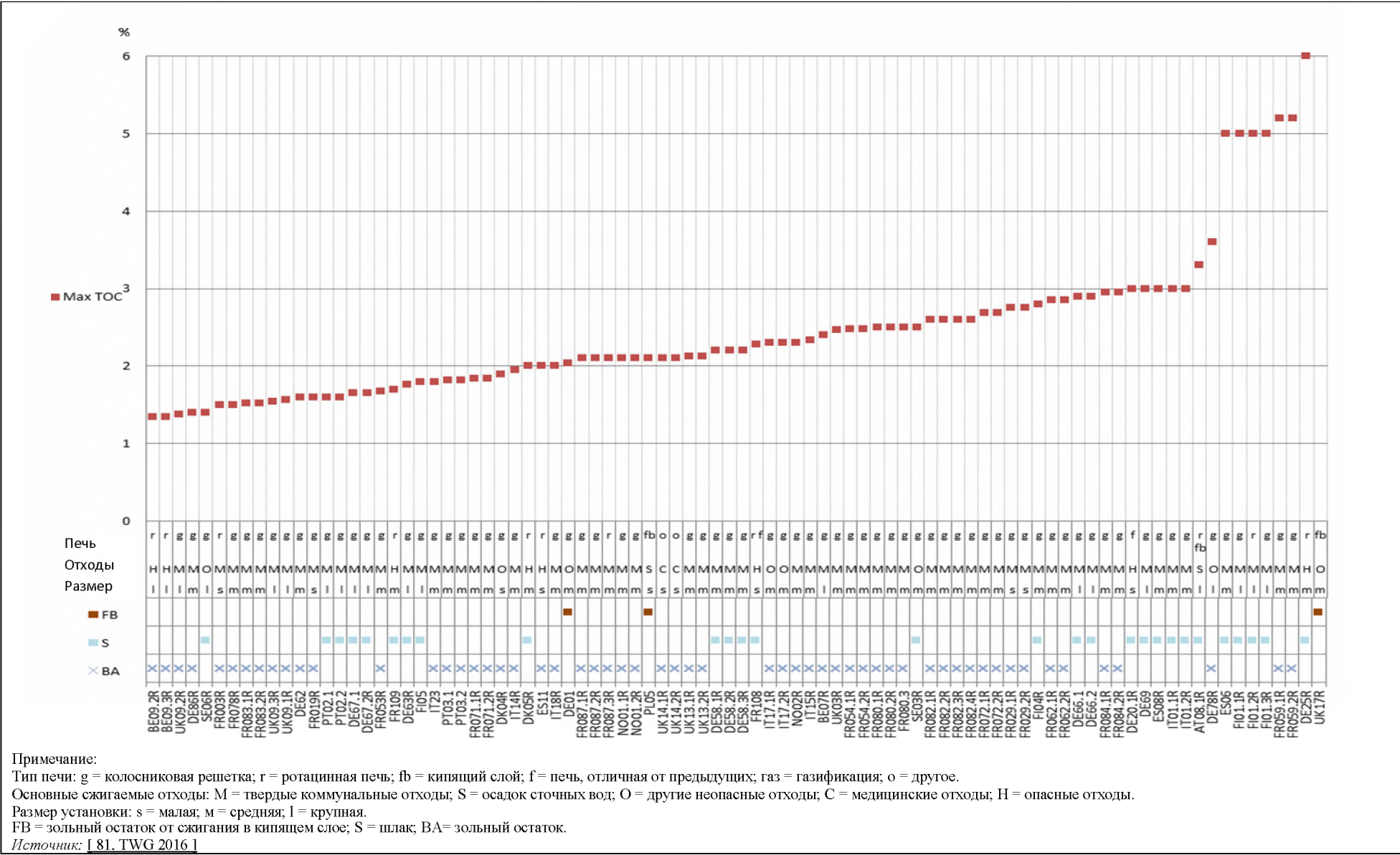
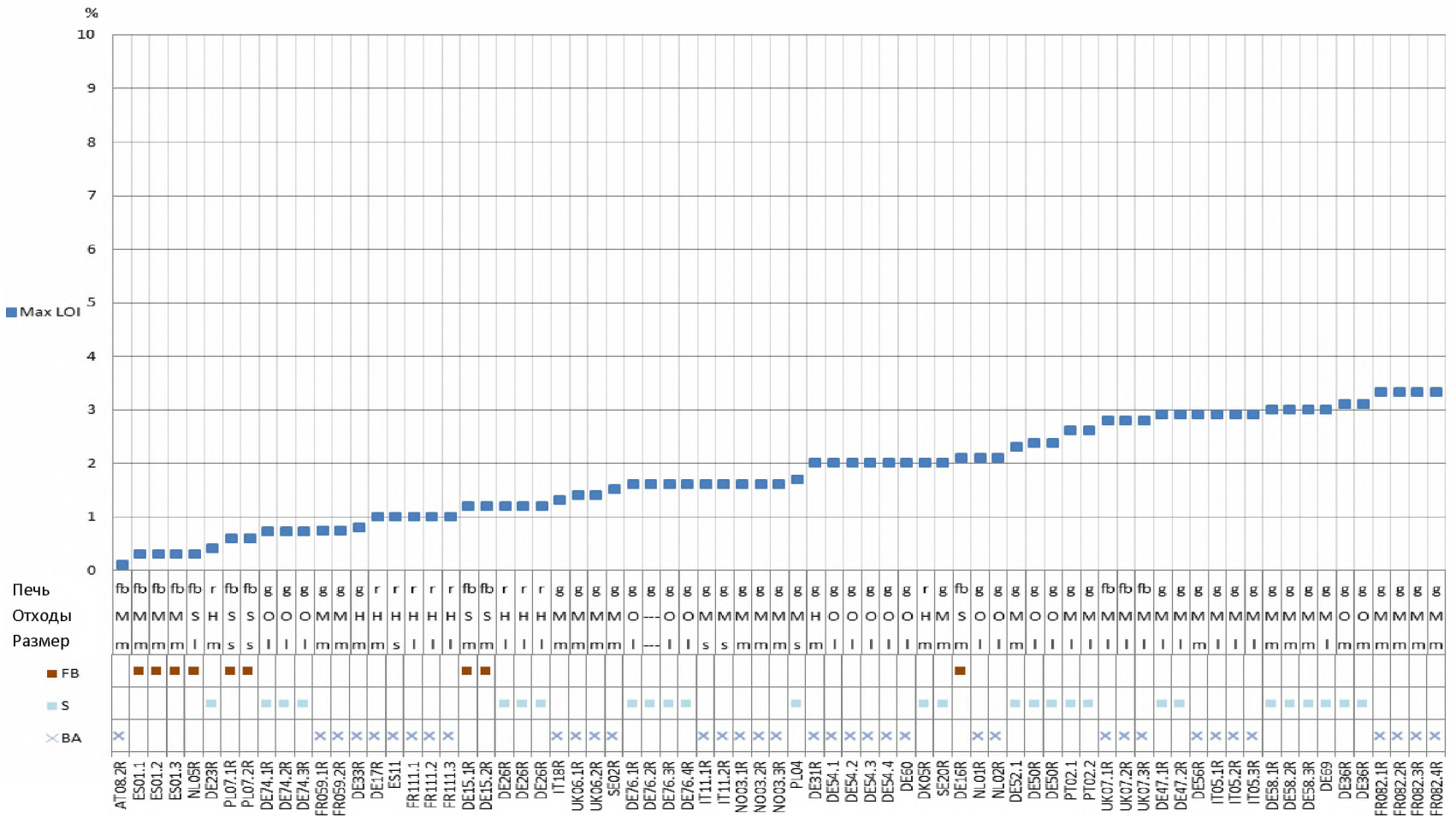
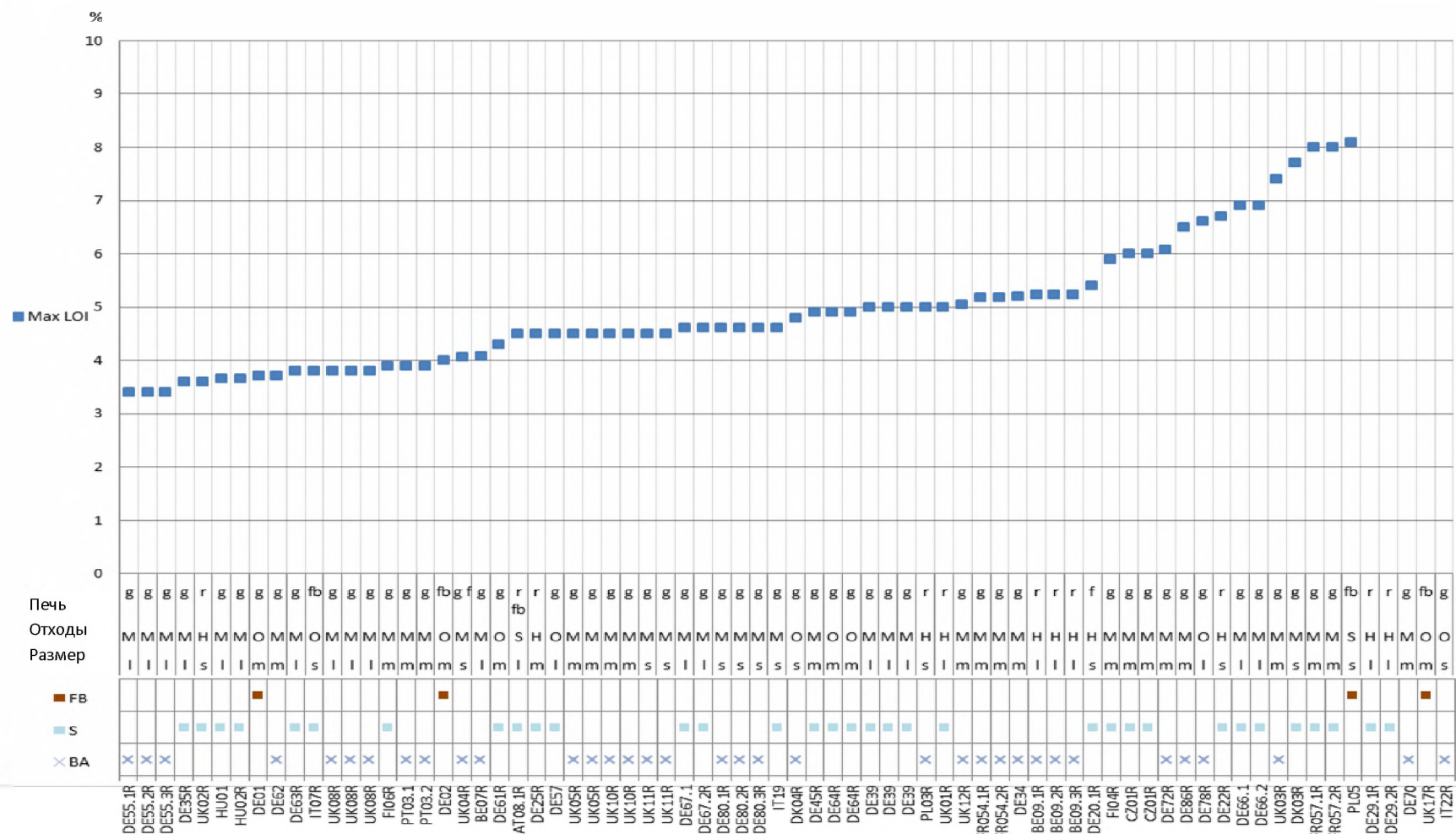


Рисунок 3.83: Содержание ООУ в необработанных зольном остатке и шлаках (2/2)



Примечание:
Тип печи: g = колосниковая решетка; r = ротационная печь; fb = кипящий слой; f = печь, отличная от предыдущих; газ = газификация; o = другое.
Основные сжигаемые отходы: M = твердые коммунальные отходы; S = осадок сточных вод; O = другие неопасные отходы; C = медицинские отходы; H = опасные отходы.
Размер установки: s = малая; m = средняя; l = крупная. FB = зольный остаток от сжигания в кипящем слое; S = шлак; BA = зольный остаток.
Источник: [81. TWG 2016]

Рисунок 3.84: ППП необработанных зольных остатков и шлаков (1/2)



Примечание:

Тип печи: g = колосниковая решетка; r = ротационная печь; fb = кипящий слой; f = печь, отличная от предыдущих; газ = газификация; o = другое.

Основные сжигаемые отходы: М = твердые коммунальные отходы; S = осадок сточных вод; O = другие неопасные отходы; С = медицинские отходы; Н = опасные отходы.

Размер установки: s = малая; м = средняя; l = крупная.

FB = зольный остаток от сжигания в кипящем слое; S = шлак; BA = зольный остаток.

Источник: [81. TWG 2016]

Рисунок 3.85: ППП необработанных зольных остатков и шлаков (2/2)

3.5 Потребление и производство энергии

Виды поступающей энергии для осуществления сжигания могут включать:

- отходы (в основном);
- вспомогательное топливо (обычно очень ограниченное количество; вспомогательное топливо необходимо для сжигания отходов с низкой НТС, например, для таких, как неосушенный осадок сточных вод);
- импортированная электроэнергия (если имеется).

Производимые и экспортируемые виды энергии могут включать:

- тепло (в виде пара или горячей воды);
- электричество.

Процессы пиролиза и газификации могут экспортировать часть энергетической ценности поступающих отходов вместе с веществами, которые они экспортируют, например, синтез-газ, кокс, масла. Во многих случаях эти продукты либо непосредственно, либо впоследствии сжигаются в качестве топлива для использования их энергетической ценности, хотя они могут также использоваться в качестве сырья за счет их химической ценности (если необходимо, то после предварительной обработки).

Большинство установок по сжиганию отходов в Европе производят и экспортируют электроэнергию, тепло или то и другое.

Комбинации экспортируемой энергии зависят от ряда факторов. Часто предложение стимулирует наличие местного спроса на пар или тепло. Относительные цены на поставку произведенной энергии и срок действия контрактов на продажу, как правило, рассматриваются в качестве ключевых факторов при определении результата. Это, в свою очередь, является важной движущей силой для технологических решений, касающихся проектирования процесса. Некоторые из этих факторов описаны в таблице 3.32 ниже.

Таблица 3.32: Факторы, влияющие на варианты рекуперации энергии

Фактор	Влияние
Высокая цена на электроэнергию, обоснованная наличием предложений или надежным спросом	• Поощряет инвестиции в производство электроэнергии • Облицовка котла может быть приобретена для обеспечения более высокого давления пара и большей электрической мощности • Меньше тепла будет доступно для подачи • Завод может импортировать электроэнергию, чтобы обеспечить максимальный экспорт собственного производства.
Более высокая цена на импортируемую электроэнергию, чем произведенную	• Поощряет использование электричества собственного производства для запуска процесса сжигания • Теплоэлектростанции могут принять решение о том, чтобы отвести часть энергии для удовлетворения собственных потребностей
Более высокая цена за производимое тепло и надежность спроса	• Инвестиции в распределительные сети становятся более жизнеспособными • Возможен общий прирост эффективности установки благодаря способности поставлять больше рекуперированной энергии.
Более холодный климат	• Может позволить теплоснабжение в течение большей части месяцев года
Более жаркий климат	• Менее надежная потребность в тепле для отопления • Может расширить возможности подачи тепла для привода охладителей для кондиционирования воздуха, для питания установок термического опреснения морской воды и т.д.
Контракт на поставку энергии базовой нагрузки	• Увеличивает надежность договора купли-продажи и поощряет инвестиции в методы использования доступной энергии (тепло и электричество)
Не разрешается сбрасывать очищенные сточные воды из мокрых скрубберов	• Сокращение доступного тепла для экспорта из-за необходимости поставки энергии испарения
Необходима витрификация золы	• Более высокий спрос на энергию в электростанции приводит к увеличению собственного потребления и снижению

Фактор	Влияние
	производительности.
Требуется более высокая температура сжигания	Возможна потребность в дополнительном топливе для достижения необходимой температуры
Источник: [122, СОМ 2006]	

3.5.1 Расчет энергоэффективности установок сжигания

Энергоэффективность связывает изначальную энергию химических связей отходов (обычно выражаемую как НТС), с полезной производимой энергией (электрической и тепловой), которая рекупируется, а не рассеивается (через дымовые газы, систему охлаждения, радиацию и т.д.). Там, где это уместно, учитываются другие виды энергии (например, вспомогательное топливо, электрическая энергия или энергия пара). Энергоэффективность установки для сжигания отходов часто выражается в процентах. Энергоэффективность может быть использована для сравнения производительности различных технических узлов и систем. Для сопоставимости данных важно обеспечить, чтобы показатели КПД рассчитывались согласованным образом. Для этого при расчете КПД необходимо учитывать следующее:

1. Границы системы/расчета должны быть четко определены

Основным требованием для установления любого баланса массы, материала или энергии является четкое определение помещения для взвешивания. Для определения объема проводимой оценки создается эталонный объект (например, котел, линия сжигания отходов, включая систему очистки дымовых газов и турбогенераторную установку, вся установка для сжигания).

Для сопоставимости необходимо учитывать тип сжигаемых отходов, а не только отходы, доставляемые на установку. Если поступающие отходы требуют значительной предварительной обработки (например, дробление, измельчение, сушка), это может привести к значительным дополнительным потребностям в энергии.

2. Должны быть учтены абсолютно все энергозатраты

Некоторые установки используют дополнительное топливо для поддержания температуры сжигания. Энергия, извлеченная на установке, будет частично получена из отходов и частично получена из дополнительного топлива.

3. Собственное потребление энергии и внутренние потоки энергии должны учитываться на постоянной основе.

В некоторых случаях электричество и/или тепло, которые рекупируются из отходов, затем используются внутри установки. Учет этого приводит к чистому сокращению экспортируемой энергии и эквивалентному сокращению импортируемой энергии.

4. Все предположения должны быть четко изложены и последовательно соблюдаться

Простое добавление электрической и тепловой мощности может создать трудности при рассмотрении относительной эффективности установок, которые производят различные количества этих потоков энергии. Использование факторов эквивалентности является возможным подходом, позволяющим учитывать относительную стоимость этих позиций.

В этом документе используется другой подход, основанный на выявлении различных случаев, которые являются внутренне сопоставимыми: 1) установки, в основном ориентированные на уничтожение отходов, такие как установки, предназначенные для сжигания опасных отходов (кроме опасных древесных отходов) и осадка сточных вод; 2) установки, в основном ориентированные на производство электроэнергии с помощью конденсационной турбины; 3) установки, в основном ориентированные на производство тепла/пара, возможно, в сочетании с турбиной с противодавлением; 4) гибридные установки, где разные части установки могут иметь различную ориентированности. Подробные примеры нескольких случаев представлены в приложении 8.2.

Кроме того, должно быть однозначно зафиксировано соответствующее измерение времени, либо в качестве краткосрочного статуса (например, во время теста производительности, обычно

продолжающегося около 8 часов), либо в течение определенного периода времени (например, как среднегодовое значение). Данные по КПД, представленные в этом разделе, в принципе, получены из теста производительности, который был проведен на установке для проверки ее реальной производительности, когда она была впервые введена в эксплуатацию или после значительных изменений. Однако данные теста производительности были доступны не во всех случаях: хотя тесты производительности обычно проводятся для печей/котлов и турбогенераторов, это не относится к теплообменникам центрального отопления или к системам прямого экспорта пара или горячей воды. В качестве альтернативы использовались номинальные расчетные значения, первоначально предоставленные операторами, и/или обновленные эксплуатационные данные.

Энергоэффективность может быть оценена на уровне установки для сжигания отходов, с границей системы, показанной на рисунке 3.86, или на уровне части установки для сжигания отходов в тех случаях, когда количества энергии, извлекаемые различными частями установки, не могут быть соответственно суммированы (подробные примеры таких ситуаций представлены в приложении 8.2).

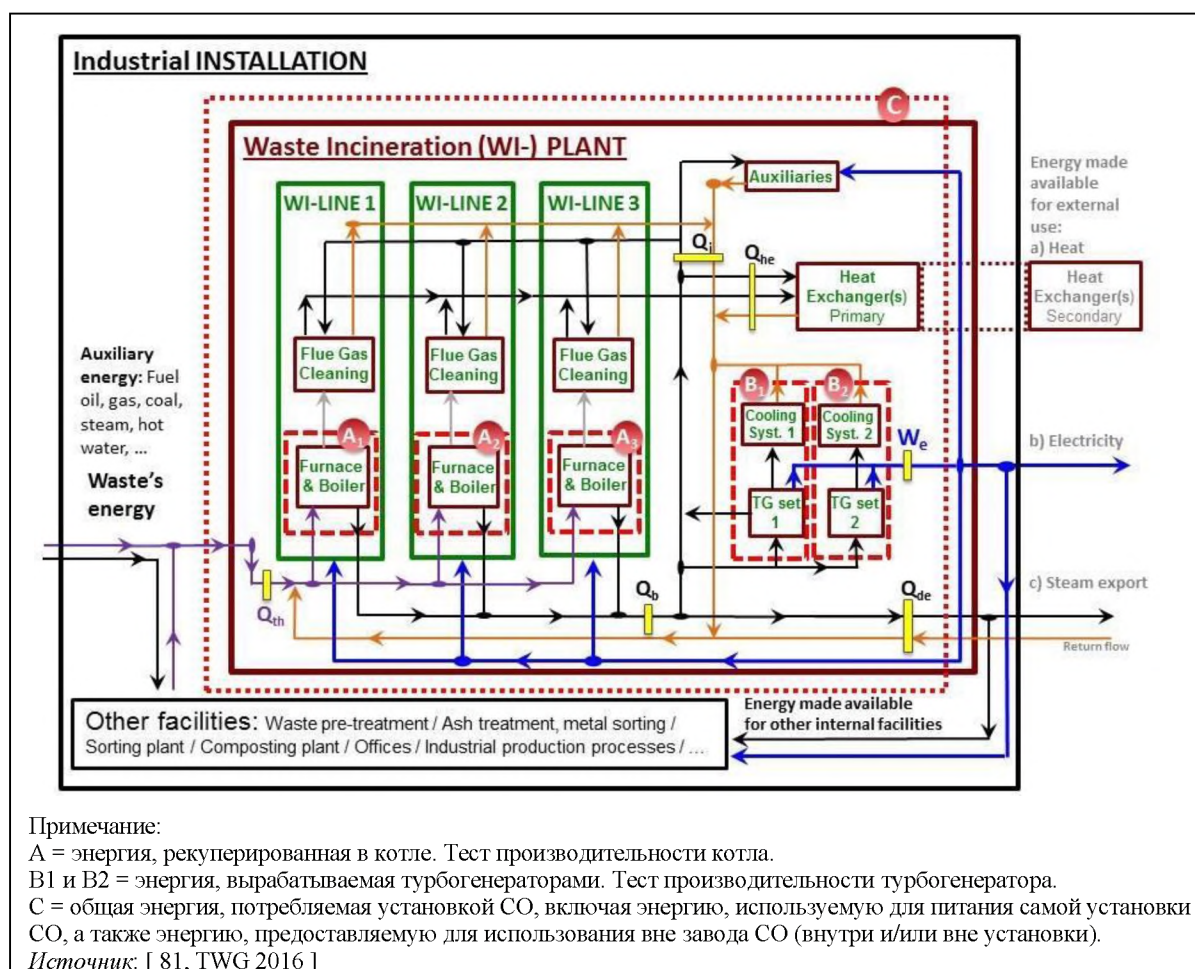


Рисунок 3.86: Граница системы, используемая для расчета КПД

На рисунке 3.86 показаны границы энергетического баланса, представляющие концепции КПД, которые обычно используются в этом документе для определения КПД, которые относятся к общей, а не чистой, КПД. Это означает определение КПД с точки зрения всей энергии, выделяемой УСО, в том числе: энергии, используемой самим заводом для внутренних нужд (например, для запуска системы очистки дымовых газов); энергия, используемая установкой за ее границами (например, для запуска установки предварительной обработки отходов); а также энергия, доступная для экспорта.

На рисунке 3.86 потоки энергии изображены с использованием следующих цветов:

- фиолетовым цветом – энергия, поступающая в печь (печи) в качестве отходов, а также вспомогательного топлива;
- серым цветом – энергия, содержащаяся в дымовых газах на выходе из котла;
- черным цветом – энергия, содержащаяся в паре и/или горячей воде, генерируемая в котле(-ах) с рекуперацией тепла, а также рекуperiруемая в системе очистки дымовых газов (например, при использовании конденсации дымовых газов);
- оранжевым цветом – обратные потоки системы пара/горячей воды;
- синим цветом – электричество, которое вырабатывается турбогенераторами, используется на заводе, за пределами установки или экспортируется.

Красная пунктирная линия (С) представляет границу расчета энергетического КПД (брутто), используемого для определения КПД заводов, которые участвовали в сборе данных 2016 года для обзора Справочного документа по НДТ сжигания отходов. В этом контексте на рисунке 3.86 указаны следующие величины:

- W_e – вырабатываемая электрическая мощность, МВт;
- Q_{he} – тепловая мощность, подводимая к теплообменникам на первичной стороне, МВт;
- Q_{de} –напрямую экспортируемая тепловая мощность (в виде пара или горячей воды) за вычетом тепловой мощности обратного потока, МВт;
- Q_b – тепловая мощность, вырабатываемая котлом, МВт;
- Q_i – тепловая мощность (в виде пара или горячей воды), которая используется внутри (например, для подогрева дымовых газов), МВт;
- Q_{th} – это тепловая мощность, поступающая в блоки термообработки (например, печи), включая отходы и вспомогательное топливо, которые используются непрерывно (исключая, например, используемые для запуска), в МВт_т, выраженных как более низкая теплотворная способность.

Уровни КПД, достигнутые заводами, в основном сжигающими неопасные отходы, кроме осадков сточных вод и опасных древесных отходов, представлены в следующих разделах:

В разделе 3.5.2.1 представлена общая электрическая эффективность (η_e) мусоросжигательных установок (или их частей), которые вырабатывают электроэнергию с использованием конденсационной турбины; η_e выражается как:

$$\eta_e = \frac{W_e}{Q_{th}} \times (Q_b / (Q_b - Q_i))$$

В разделе 3.5.2.2 представлена общая энергоэффективность (сумма тепла и электроэнергии, η_h) мусоросжигательных установок (или их частей), которые производят только тепло или производят электричество с использованием турбины с противодавлением и тепла с паром, выходящим из турбины; η_h выражается как:

$$\eta_h = \frac{W_e + Q_{he} + Q_{de} + Q_i}{Q_{th}}$$

3.5.2 Данные о рекуперации энергии из отходов

[1, UBA 2001]

Параметры (температура и давление) пара, генерируемого котлом-утилизатором, ограничены:

- высокотемпературной коррозией, которая может возникать в зоне преобразования тепла (котел, экономайзер и т.д.) из-за содержания определенных веществ, включая хлор, в отходах;
- загрязнением котла – при температуре выше примерно 600–800 °С зола становится липкой из-за присутствия некоторых плавящихся веществ.

В связи с вышесказанным, параметры пара (и, следовательно, электрическая эффективность) мусоросжигательных заводов ограничены. Давление пара 90 бар и температура 535 °С можно считать максимальными в настоящее время (2014 г.) и то лишь в тогда, когда принимаются специальные меры по ограничению коррозии.

Для производства электроэнергии из ТКО типичные условия перегретого пара составляют от 40 до 70 бар и от 400 до 450 °С, причем верхние границы этих диапазонов чаще наблюдаются на крупных установках. Более низкие параметры, обычно в диапазоне 30 бар и 350 °С, применяются в тех случаях, когда электроэнергия вырабатывается из опасных отходов вследствие повышенного риска коррозии (что приводит к трудным эксплуатационным затратам и расходам) с кислотными дымовыми газами при более высоких параметрах пара.

Там, где подается только тепло или пар, операторы, как правило, используют более низкие значения давления и температуры котла, чтобы избежать необходимости дополнительных инвестиций и технического обслуживания, а также более сложных условий эксплуатации, связанных с более высокими параметрами. В случае, когда теплоснабжение является приоритетным, высокое давление и температура не оправданы. Для подачи тепла пар обычно будет образовываться при более низких значениях, например, от 25 до 30 бар и от 250 до 350 °С.

Большинство мусоросжигательных заводов в Европе, и особенно в случае крупных установок, рекуперировать энергию из отходов. Установки без использования тепла, как правило, относятся к очень специфическим конструкциям, например, к таким установкам, которые сжигают галогенированные опасные отходы при температурах выше 1100 °С, где липкость летучей золы может создавать дополнительные проблемы для работы котла-утилизатора. В таких случаях можно избежать риска рекомбинации ПХДД/Ф с помощью гашения дымовых газов; некоторое количество тепла все еще может быть извлечено из горячей охлаждающей воды и/или из газо-газовых теплообменников, чтобы рекуперировать часть энергии горячего дымового газа на выходе из камеры дожигания перед охлаждением.

Параметры пара (давление и температура на входе в турбину) заводов, которые участвовали в сборе данных 2016 года, показаны на графиках в рисунках, на которые даны ссылки в этом разделе. Сообщается также о размере и сроке эксплуатации заводов, а также о том, производят ли они только тепло (Н), электричество (Е) или оба (С). Срок эксплуатации определяется как «недавний» для заводов, впервые введенных в эксплуатацию после 2006 года, как «промежуточный» для заводов, впервые введенных в эксплуатацию в период с 2000 по 2006 год, и как «старый» для заводов, впервые введенных в эксплуатацию до 2000 года. Размер определяется как «малый» для заводов с мощностью сжигания меньше 100 000 т/г (ниже 48 000 т/г в случае заводов для сжигания опасных отходов), как «средний» для заводов с мощностью сжигания от 100 000 т/г и 250 000 т/г (между 48 000 т/г и 80 000 т/г в случае заводов, преимущественно сжигающих опасные отходы), и как «крупные» для заводов с мощностью сжигания свыше 250 000 т/г (выше 80 000 т/г в случае заводов, преимущественно сжигающих опасные отходы).

Температура и давление пара, производимого заводами, в основном сжигающими твердые коммунальные отходы, другие неопасные отходы и опасные древесные отходы, показаны на графиках на рисунках 3.87, 3.88, 3.89 и 3.90 вместе с электрическим КПД (брутто) или энергетическим КПД (брутто), достигаемой заводом.

На этих графиках левая ось представляет электрический КПД (брутто) или энергетический КПД (брутто), в то время как на правой стороне графика представлены две разные оси, связанные с температурой (красным) и давлением (зеленым) произведенного пара.

На графиках заводы упорядочены в соответствии с электрическим КПД (брутто) или энергетическим КПД (брутто) (слева направо). Графики подтверждают, что установки, вырабатывающие электроэнергию или комбинированное тепло и электричество, обычно работают с более высокими параметрами пара, чем установки, работающие только на тепло.

В **таблице 3.33** показаны температура и давление пара на входе в турбину или на выходе из котла установок, сжигающих преимущественно опасные отходы, за исключением опасных древесных отходов. Все эти установки оснащены ротационными печами.

Таблица 3.33: Параметры пара заводов, сжигающих преимущественно опасные отходы

Установ- ка	Размер	Давление пара (бар)	Температура пара (°С)	Производство энергии
AT08	1	53	350	КВТиЭ
DE18	1	27	270	Электричество
DE26	1	44	325	КВТиЭ

Установ- ка	Размер	Давление пара (бар)	Температура пара (°C)	Производство энергии
DE29	l	26	280	Электричество
ES11	s	41	350	Электричество
FR111	l	40	360	КВТиЭ
HU01	l	16	304	КВТиЭ
PL03	s	20	270	Электричество
SE21	l	41	400	КВТиЭ
Примечание: Размер: l = крупная; s = малая. Источник: [81, TWG 2016]				

Таблица 3.34 показывает температуру и давление пара на входе в турбину или на выходе из котла установок, сжигающих преимущественно осадок сточных вод. Все эти установки оснащены печами сжигания в кипящем слое.

Таблица 3.34: Параметры пара заводов, сжигающих преимущественно осадок сточных вод

Установ- ка	Размер	Давление пара (бар)	Температура пара (° C)	Производство энергии
AT08	l	53	350	КВТиЭ
NL06	l	10	180	КВТиЭ
PL01	m	49	400	КВТиЭ
UK15	s	42	400	Электричество
Примечание: Размер: l = крупная; m = средняя; s = малая. Источник: [81, TWG 2016]				

В следующих разделах описываются уровни КПД (электрический и/или тепловой), зарегистрированные на заводах, которые участвовали в сборе данных 2016 года. Указанные уровни КПД относятся к соотношению между общей произведенной энергией и потребляемой энергией (выраженной в виде более низкой теплотворной способности) в блоках термической обработки, включая отходы и другое топливо, с учетом конструкции установки и режима работы с полной нагрузкой во время эксплуатационных испытаний.

3.5.2.1 Данные о рекуперированной электроэнергии

[1, UBA 2001]

Количество электричества, которое может быть произведено с помощью одной тонны коммунальных отходов на заводе по сжиганию коммунальных отходов, зависит от размера установки, параметров пара и степени использования пара и, главным образом, от теплотворной способности отходов.

Количество энергии, доступной для экспорта, обычно зависит от произведенного количества и степени собственного потребления установкой, которое может значительно различаться. Потребление системы ОДГ часто является значительным и зависит от типа применяемой системы (и требуемых уровней выбросов). В некоторых случаях энергия, необходимая для запуска установки, импортируется из внешнего источника, причем вся энергия, генерируемая установкой, экспортируется – местный баланс обычно отражает местные цены на произведенную электроэнергию по сравнению с общими ценами энергосистемы.

На следующих графиках и таблицах показан электрический КПД (брутто) мусоросжигательных заводов, которые участвовали в сборе данных для обзора Справочного документа по НДТ сжигания отходов. Эффективность представлена на графиках вместе с параметрами пара, сроком эксплуатации и размером заводов; заводы помечены E или C, если они производят только электричество или тепло и электричество соответственно.

Электрический КПД (брутто), сжигающих преимущественно твердые коммунальные отходы или другие неопасные отходы, показан на графиках на рисунках 3.87, 3.88 и 3.89. Эти графики также включают пять установок, предназначенных для сжигания опасных древесных отходов, которые больше похожи на установки по переработке отходов в энергию, чем на установки для сжигания опасных отходов (например, для используемых процессов (все эти установки основаны на колосниковых печах) и для их сосредоточения на рекуперации энергии). В целом, меньшие

установки достигают более низких уровней электрической эффективности, чем средние и крупные установки. Графики показывают корреляцию между электрической эффективностью и параметрами пара, так как большинство установок, достигающих электрического КПД (брутто) ниже 25%, работают при температурах ниже 400 °С и давлении ниже 40 бар, а все установки, достигающие электрического КПД (брутто) выше 30%, работают при температурах выше 420 °С и давлении выше 60 бар. Графики не показывают четкой корреляции между достигнутым электрическим КПД (брутто) и сроком эксплуатации установки.

В таблице 3.35 показан электрический КПД (брутто) установок, сжигающих преимущественно опасные отходы, за исключением опасных древесных отходов.

Таблица 3.35: Электрический КПД (брутто) установок, сжигающих преимущественно опасные отходы

Установка	Срок эксплуатации	Размер	Производство энергии	Эффективность (%)
DE18	O	Крупный	Электричество	14
ES11	O	Малый	Электричество	15
DK05	I/ab	Средний	КВТиЭ	32
Примечание: Срок эксплуатации: O = старая; I = промежуточная; модернизация завода = после 2006. Источник: [81, TWG 2016]				

В таблице 3.36 показан электрический КПД (брутто) установок, сжигающих преимущественно сточные воды.

Таблица 3.36: Электрический КПД (брутто) установок, сжигающих преимущественно осадки сточных вод

Установка	Срок эксплуатации	Размер	Производство энергии	Эффективность (%)
NL06	O/ab	Крупный	Электричество	12
DE16	O/ab	Средний	Электричество	20.5
Примечание: Срок эксплуатации: O = старая; модернизация завода = после 2006. Источник: [81, TWG 2016]				

3.5.2.2 Данные о рекуперированной энергии (тепло или тепло и электричество)

[1, UBA 2001]

Там, где энергия может поставляться в условиях базовой нагрузки, общая степень использования (электричество + тепло) может быть увеличена примерно до 90% затрат энергии (теплотворная способность выражается как LHV). Более высокие значения достигаются при использовании конденсации дымовых газов. [81, TWG 2016]

В этом разделе представлен энергетический КПД (брутто) (тепловой или тепловой и электрический) мусоросжигательных заводов, которые участвовали в сборе данных для обзора Справочного документа по НДТ сжигания отходов, а также параметры пара, срок эксплуатации и размер установок; заводы помечены (Н) или С, если они производят только тепло или тепло и электроэнергию соответственно.

Энергетический КПД (брутто) установок, сжигающих отходы всех видов, показана на рисунке 3.90. График не показывает четкой корреляции между энергетическим КПД (брутто) и сроком эксплуатации или размером установки, а также параметрами температуры и давления производимого пара. Следует обратить внимание, что АТ08.1 имеет комбинированную систему рекуперации энергии, состоящую из двух линий сжигания опасных отходов и трех линий сжигания осадка сточных вод. Рисунок 84% представляет эффективность только линий сжигания ОСВ.

3.5.2.3 Данные о КПД котла

Установки, сжигающие преимущественно опасные отходы или осадок сточных вод, из-за их размера (как правило, особенно это свойственно для установок по сжиганию опасных отходов,

меньшего размера, чем установки для производства энергии из отходов), их местоположения (обычно ближе к месту образования отходов и, возможно, дальше от потенциальных пользователей рекуперированной энергии) и их конструкции (в большей степени ориентированная на уничтожение отходов, чем на использование энергии, содержащейся в отходах), могут столкнуться с проблемами при оптимизации использования рекуперированной энергии.

По этим причинам для сжигания опасных отходов и осадков сточных вод эффективность преобразования энергетического содержания отходов в пар или горячую воду (или эффективность котла) может использоваться в качестве более широко сопоставимого параметра для определения эффективности использования энергии.

Эффективность котла для установок, работающих на безотходном топливе, обычно можно определить с использованием стандарта BS EN 12952-15: 2003 «Водотрубные котлы и вспомогательные устройства. Приемочные испытания». Настоящий стандарт предназначен как основной документ для испытаний на теплопроизводительность (приемочные испытания) паровых котлов и генераторов горячей воды с прямым нагревом. Такие испытания предназначены для демонстрации того, что гарантии в отношении эффективности и производительности или других параметров были выполнены. Чтобы преодолеть некоторые специфические проблемы, связанные с сжиганием отходов, немецкая компания Fachverband Anlagenbau (FDBR) разработала руководство по определению эффективности котла для сжигания отходов, когда трудно (или невозможно) определить чистую теплотворную способность топлива. Согласно этому руководству, КПД котла – это соотношение между полезной тепловой мощностью и общим поставленным теплом. Полезная тепловая мощность – это общее количество тепла, передаваемого воде в парогенераторе. [123, FDBR 2013]

КПД котла, представленный в этом разделе, был оценен с учетом проектных данных заводов, участвующих в сборе данных для обзора Справочного документа по НДТ сжигания отходов.

Эффективность котлов линий сжигания опасных отходов, которые участвовали в сборе данных, представлена на рисунке 3.91 с указанием срока эксплуатации, размера и типа печи линии, а также максимальной температуры, достигаемой дымовыми газами. Линии сжигания, вырабатывающие только электричество, только тепло или тепло и электричество, помечены Е, Н или С соответственно. График не показывает четкой корреляции между эффективностью котла и сроком эксплуатации или размером установки. Однако график показывает, что линии сжигания отходов при более высоких температурах, как правило, ограничиваются КПД котла ниже 70%.

Эффективность котлов линий сжигания осадка сточных вод, которые участвовали в сборе данных, представлена на рисунке 3.92 с указанием срока эксплуатации, размера и типа печи линии, а также с указанием содержания воды в осадке. Линии сжигания, вырабатывающие только электричество, только тепло или тепло и электричество, помечены Е, Н или С соответственно. График не показывает четкой корреляции между эффективностью котла и сроком эксплуатации или размером установки. Однако график показывает, что линии, сжигающие осадок сточных вод с более низким содержанием воды, как правило, достигают более высокой эффективности котла.

3.5.3 Данные об энергии потребляемой в процессе

[1, UBA 2001]

Процесс сжигания сам по себе требует энергии для его осуществления, например, для функционирования насосов и вентиляторов. Потребность сильно варьируется в зависимости от конструкции завода [1, UBA 2001]. В частности, потребность процесса в энергии может быть увеличена за счет:

- механических систем предварительной обработки (например, измельчители), насосных устройств или других методов подготовки отходов;
- подогрева воздуха при сжигании;
- подогрева дымовых газов (например, для устройств очистки газа или подавления шлейфа);
- эксплуатации установки выпаривания сточных вод;
- систем очистки дымовых газов с высокими перепадами давления (например, системы фильтрации), которые требуют более мощных вентиляторов с принудительной тягой;
- снижения теплотворной способности отходов – так как это может привести к необходимости

- использовать дополнительное топливо для поддержания минимальных требований к сжиганию; обработки осадка, например, сушки.
- [64, TWG 2003]

В некоторых случаях эти требования могут быть удовлетворены частично или полностью за счет теплообмена с горячими газами для сжигания.

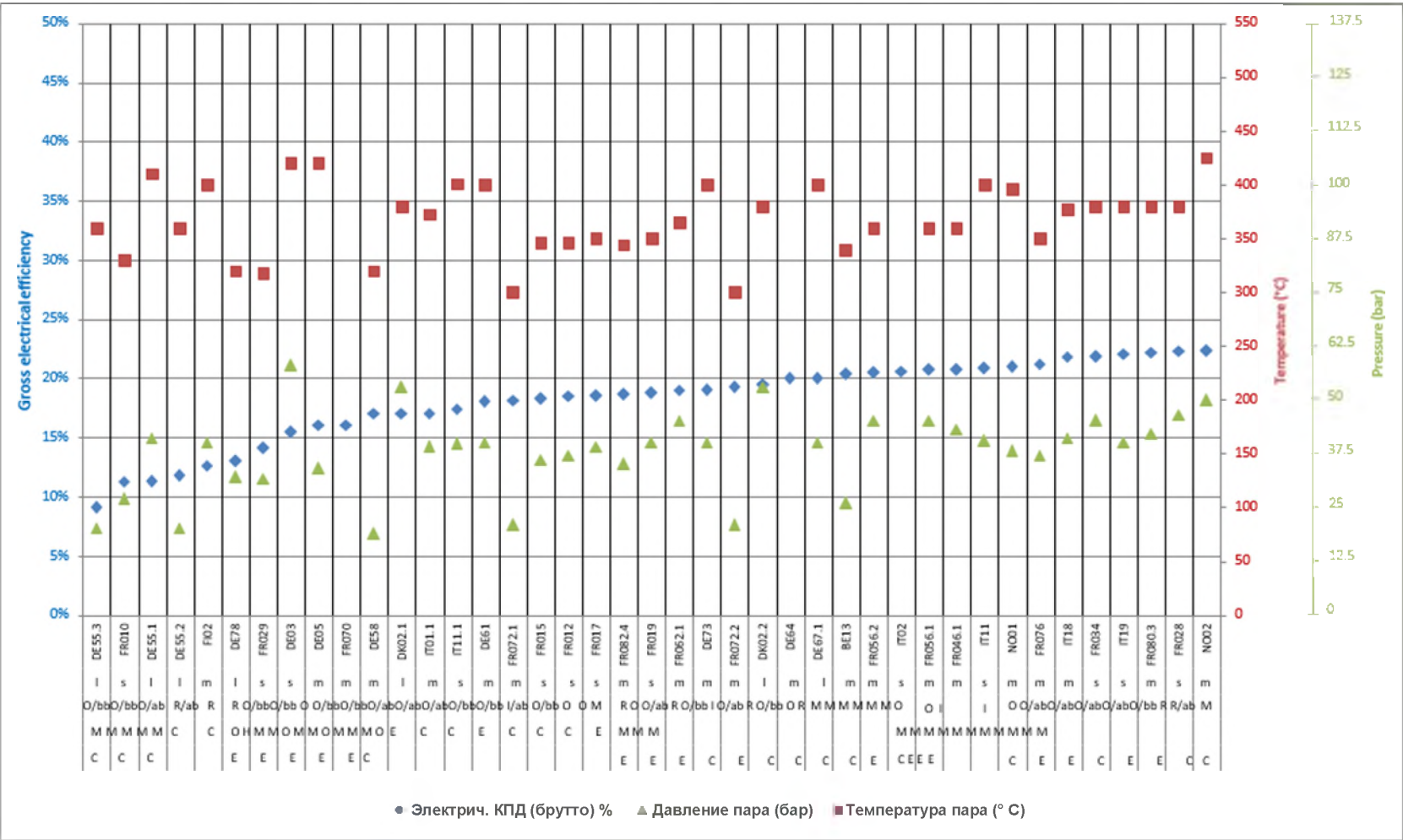
Старые установки с модернизированными системами очистки дымовых газов могут потреблять больше электроэнергии по сравнению с современными установками с интегрированными системами. Для промышленных установок по сжиганию опасных отходов наблюдается диапазон от 132 до 476 кВтч/т отходов. [1, UBA 2001]

В таблице 3.37 ниже показана удельная потребность в энергии мусоросжигательных заводов, которые участвовали в сборе данных. В таблице приведены потребности в электроэнергии и тепловой энергии для всего мусоросжигательного завода, выраженные в расчете на тонну обработанных отходов.

Таблица 3.37: Данные о потреблении электроэнергии и тепла на тонну обработанных отходов

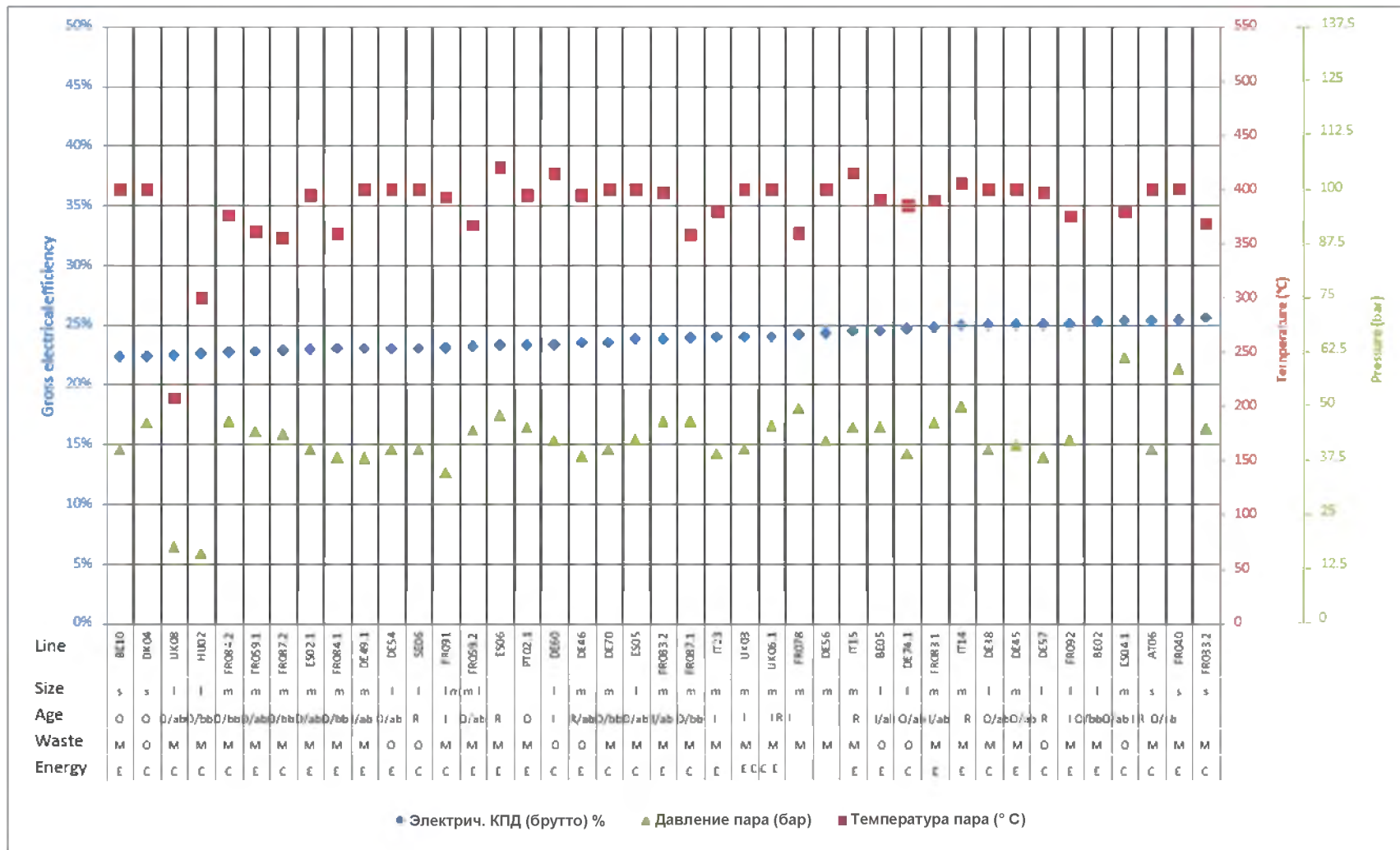
Тип энергопотребления	Сжигаемые отходы	Минимум	Среднее	Максимум
Электричество (МВтч/т отходов)	ТКО и ДНОО	0.045	0.107	0.264
	ОСВ	0.033	0.154	0.276
	МО	0.211	0.228	0.244
	ОО	0.073	0.202	0.360
Тепло (МВтч/т отходов)	ТКО и ДНОО	0.010	0.505	0.700
	ОСВ	0.121	0.265	0.675
	МО	NI	NI	NI
	ОО	0.056	0.373	0.674
Примечание: NI = нет данных. Источник: [81, TWG 2016]				

Энергопотребление установки также варьируется в зависимости от теплотворной способности отходов. Это в значительной степени связано с увеличением объемов дымовых газов при сжигании отходов с более высокой НТС – что требует большей мощности ОДГ. Это может отличаться в тех случаях, когда низкое значение НТС может быть связано с высоким содержанием влаги, что увеличивает объем дымовых газов.



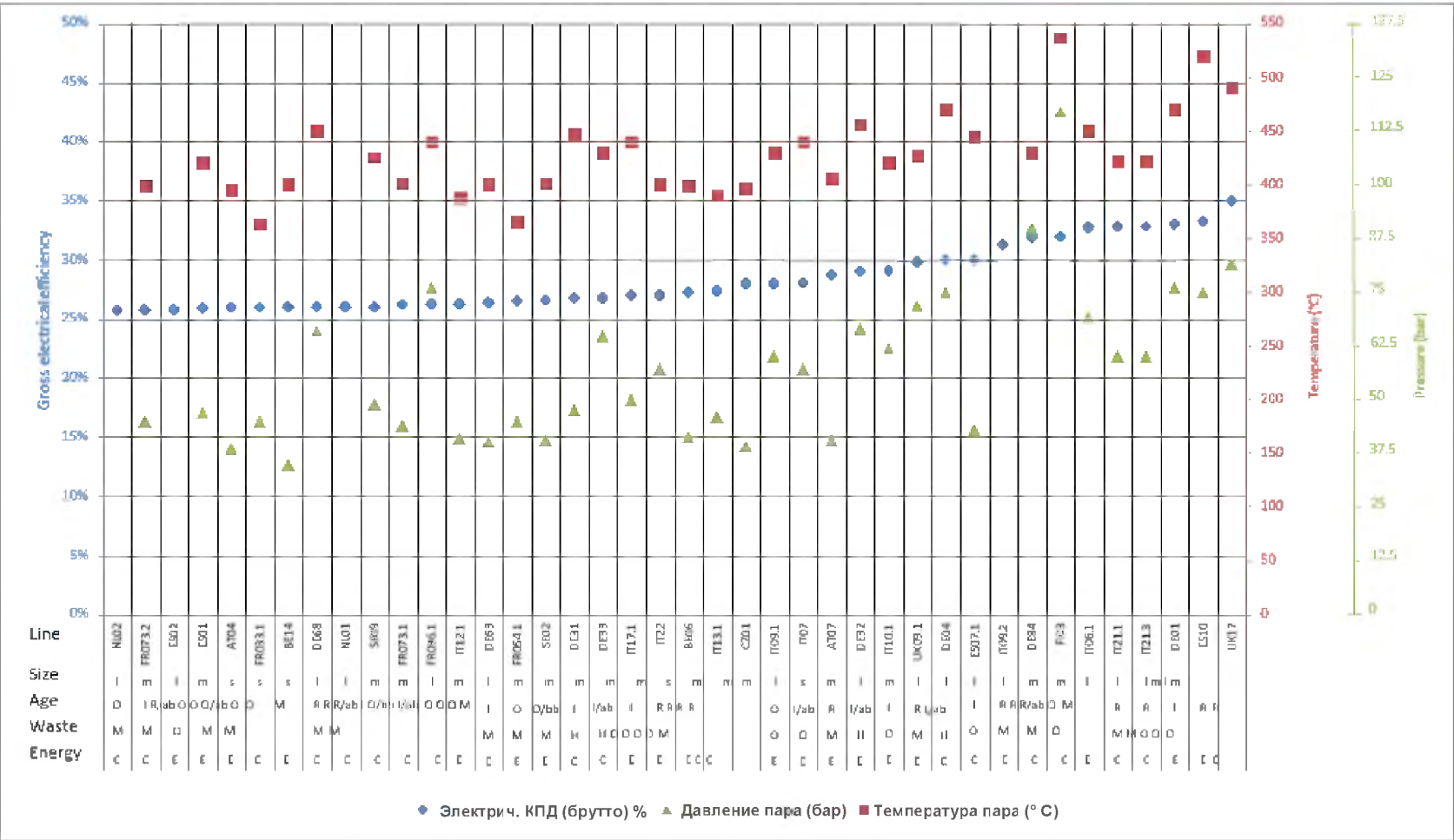
Примечание:
Размер установки: s = малая; m = средняя; l = крупная
Срок эксплуатации: O = старая; I = промежуточная; R = недавняя // год модернизации: bb = до предыдущего BREF по сжиганию отходов (2006); ab = после предыдущего BREF по сжиганию отходов (2006).
Основные сжигаемые отходы: M = твердые коммунальные отходы; O = другие неопасные отходы; N = опасные древесные отходы.
Производство энергии: E = Электричество; H = тепло; C = тепло и электричество.
Источник: [81, TWG 2016]

Рисунок 3.87: Электрический КПД (брутто) установок, сжигающих преимущественно ТКО, ДНОО и опасные древесные отходы (1/3)



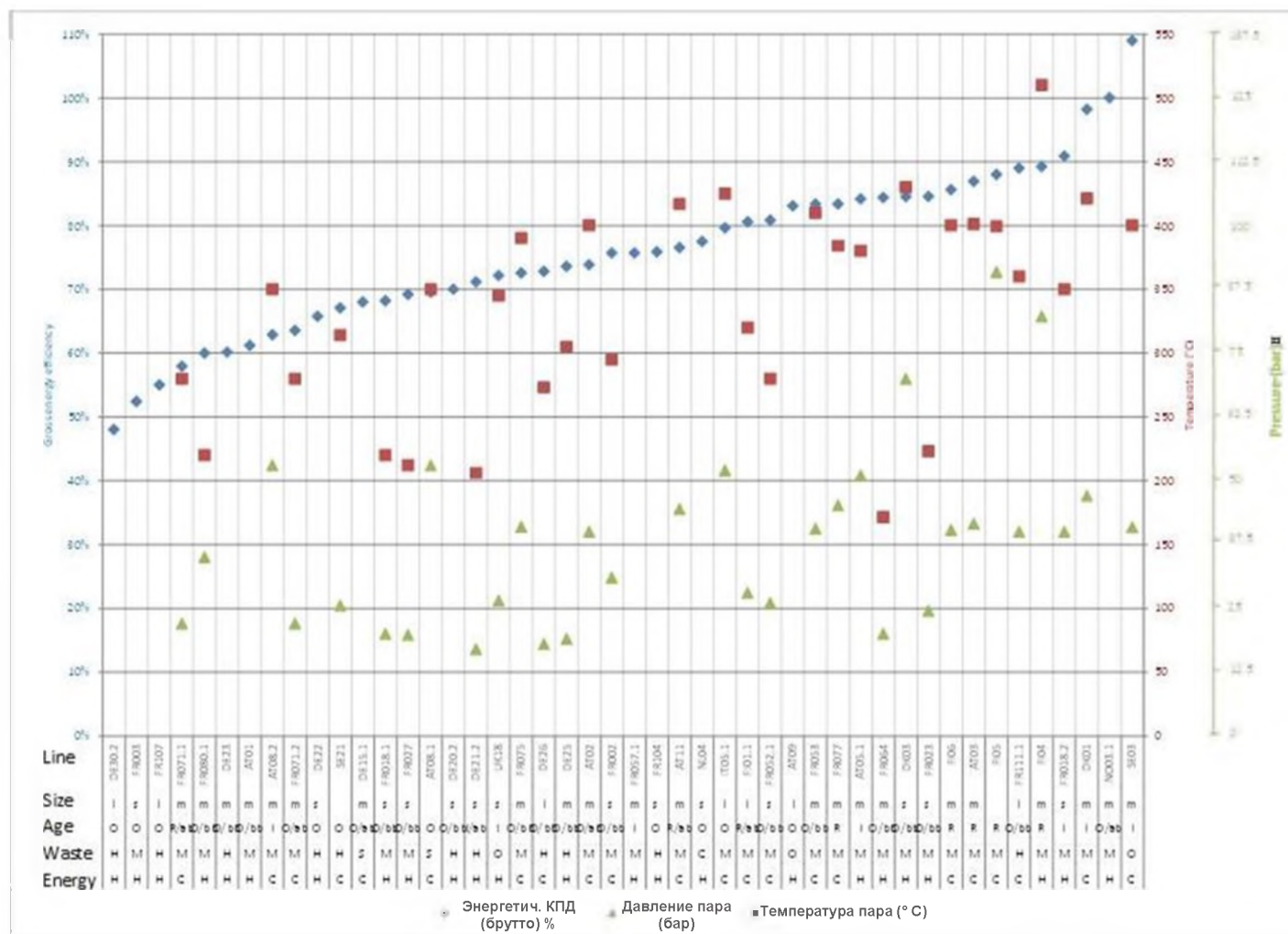
Примечание:
 Размер установки: s = малая; m = средняя; l = крупная
 Срок эксплуатации: O = старая; I = промежуточная; R = недавняя // год модернизации: bb = до предыдущего BREF по сжиганию отходов (2006); ab = после предыдущего BREF по сжиганию отходов (2006).
 Основные сжигаемые отходы: M = твердые коммунальные отходы; O = другие неопасные отходы; H = опасные древесные отходы.
 Производство энергии: E = Электричество; H = тепло; C = тепло и электричество.
 Источник: [81, TWG 2016]

Рисунок 3.88: Электрический КПД (брутто) установок, сжигающих преимущественно ТКО, ДНОО и опасные древесные отходы (2/3)



Примечание:
Размер установки: s = малая; m = средняя; l = крупная
Срок эксплуатации: O = старая; I = промежуточная; R = недавняя // год модернизации: bb = до предыдущего BREF по сжиганию отходов (2006); ab = после предыдущего BREF по сжиганию отходов (2006).
Основные сжигаемые отходы: M = твердые коммунальные отходы; O = другие неопасные отходы; H = опасные древесные отходы.
Производство энергии: E = Электричество; H = тепло; C = тепло и электричество.
Источник: [81, TWG 2016]

Рисунок 3.89: Электрический КПД (брутто) установок, сжигающих преимущественно ТКО, ДНОО и опасные древесные отходы (3/3)



Примечание:

Размер установки: s = малая; m = средняя; l = крупная

Срок эксплуатации: O = старая; I = промежуточная; R = недавняя // год модернизации: bb = до предыдущего BREF по сжиганию отходов (2006); ab = после предыдущего BREF по сжиганию отходов (2006).

Основные сжигаемые отходы: M = твердые коммунальные отходы; O = другие неопасные отходы; H = опасные древесные отходы; S = осадок сточных вод; C = медицинские отходы.

Производство энергии: E = Электричество; H = тепло; C = тепло и электричество.

Источник: [81, TWG 2016]

Рисунок 3.90: Энергетический КПД (брутто) мусоросжигательных заводов

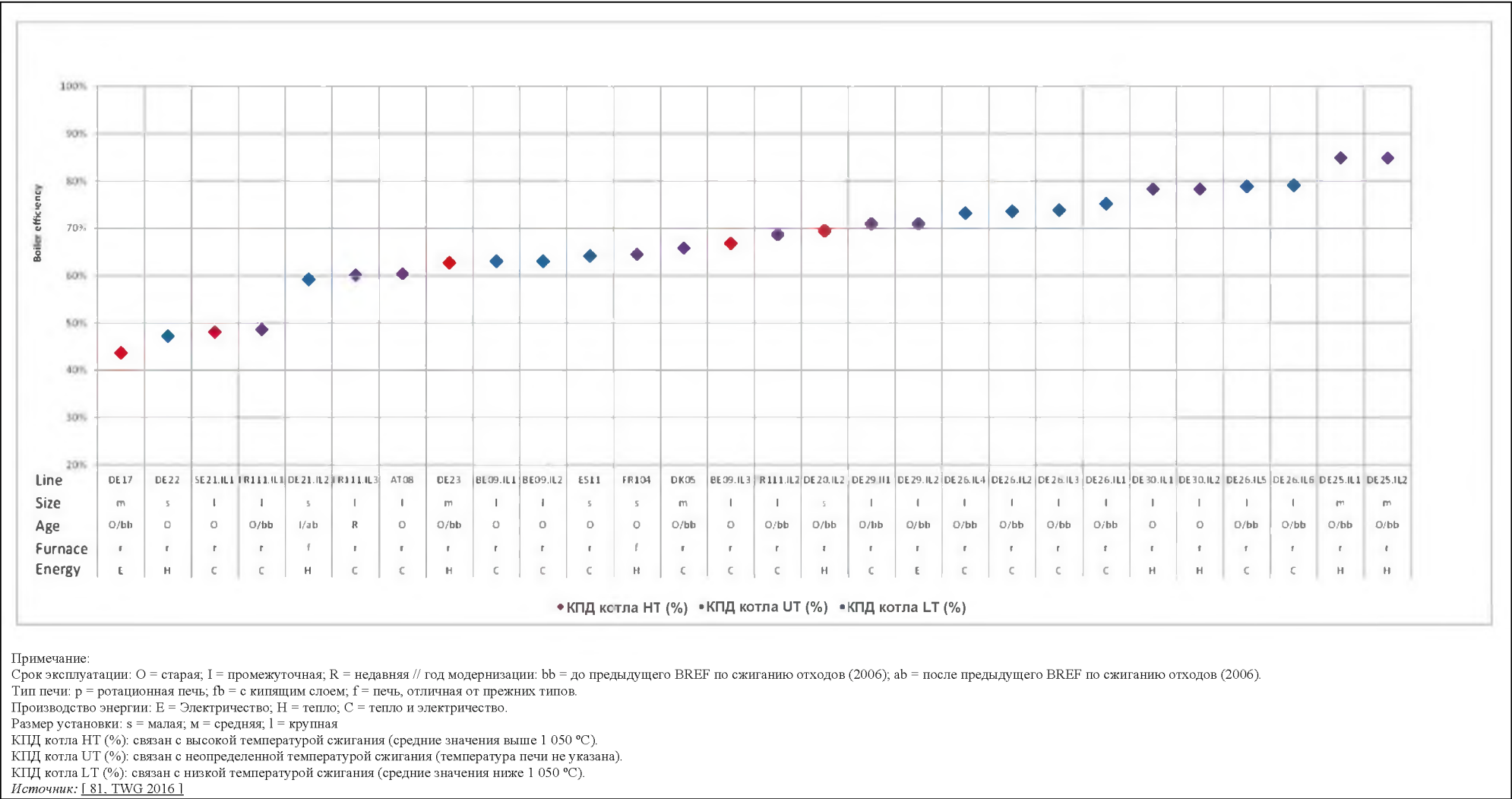


Рисунок 3.91: Эффективность котельных установок, сжигающих преимущественно опасные отходы

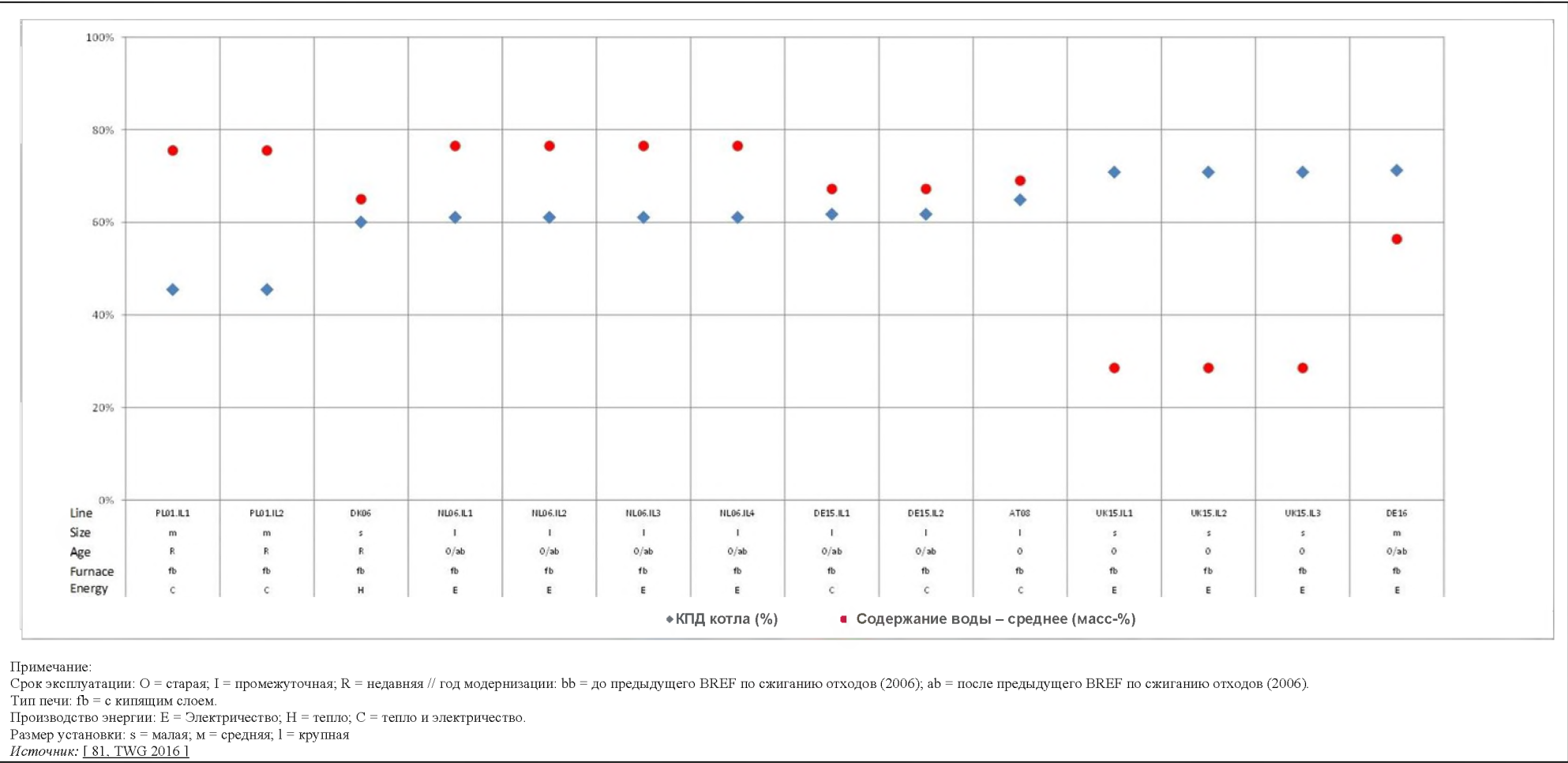


Рисунок 3.92: Эффективность котельных установок по сжиганию преимущественно осадков сточных вод

3.6 Шум

В таблице 3.38 ниже описаны источники и уровни шума, создаваемого на установках для сжигания отходов, а также некоторые используемые меры по снижению.

Таблица 3.38: Источники шума на мусоросжигательных заводах

Площадь, относящаяся к шуму/основным источникам	Меры по снижению	Шум L _{WA} [дБ (A)]
Доставка отходов, т.е. шум от грузовиков и т.д.	Участок сброса отходов закрывается со всех сторон	104–109
Измельчение	Ножницы на участке сброса отходов	95–99
Бункер для отходов	Шумоизоляция здания из газобетона, герметичные ворота	79–81
Строительство котлов	Корпус с многослойной конструкцией или газобетон, вентиляционные каналы с глушителями соединительных звеньев, герметичные ворота	78–91
Строительство машин	Использование малошумных клапанов, шумоизолированных трубок, шумоизоляция здания, как описано выше	82–85
Очистка дымовых газов:		
- ЭСФ	Шумоизоляция, ограждение объекта, например, листами с трапециевидными гофрами, использование звукозаглушающих боксов для вентиляции и глушителя для дымохода	82–85
- Скрубберы		82–85
- Всасывающая тяга		82–84
- Дымоход		84–85
- Полная система ОДГ		89–95
Утилизация остатков:		
- Выбросы зольного остатка	Ограждение, загрузка в бункер	71–72
- Загрузка		73–78 (день)
- Перевозка с завода		92–96 (день)
- Всего от управления остатками		92–96 (день)
		71–72 (ночь)
Охлаждение воздуха	Глушители на сторонах всасывания и нагнетания (см. также BREF ICS для подробной информации)	90–97
Установка по преобразованию энергии	Проектирование с низким уровнем шума внутри специально построенного звукоизолированного здания	71–80
Общий L_{WA} завода		
Днем		105–110
Ночью		93–99
Применение: День/ночь указывает на то, что операции обычно выполняются днем или ночью		
Источник: [1. UBA 2001]		

С помощью мер по снижению шума, описанных выше, пределы шума, установленные для конкретного проекта в зависимости от местных условий, могут быть безопасно соблюдены как днем, так и ночью.

Шум также возникает на этапе строительства. Это может привести к значительному воздействию шума на соседние жилые районы, в основном в зависимости от местоположения. В контексте создаваемого шума три основных этапа строительства одинаково важны:

- землеройные работы;
- закладка фундамента (в том числе свай); а также
- возведение наружной оболочки здания.

Могут быть приняты соответствующие меры, такие как ограничение рабочего времени, особенно в ночное время, использование малошумной строительной техники и сооружение временных звукоизоляционных конструкций. В некоторых государствах-членах ЕС для этого существует специальное законодательство.

[1. UBA 2001], [2. InfoMil 2002], [64. TWG 2003]

3.7 Другие используемые ресурсы

В этом разделе описаны и приведены данные относительно некоторых материалов, потребляемых в процессе сжигания. В таблице 3.40 в конце этого раздела приведены данные об объемах различных материалов, потребляемых мусоросжигательными заводами.

3.7.1 Вода

Основным процессом, требующим большого количества воды на мусоросжигательных заводах, является очистка дымовых газов. Сухие системы потребляют меньше всего воды, а мокрые – больше всего. Полусухие системы по объемам потребляемой воды находятся между ними.

Типичные объемы сбрасываемых сточных вод на заводах по сжиганию ТКО составляют около 250 кг на тонну обработанных отходов (в случае мокрого скруббинга).

Мокрые системы могут значительно снизить потребление воды путем рециркуляции очищенных стоков для использования в качестве скрубберных вод. Это может быть выполнено только до определенной степени, так как в рециркулируемой воде может накапливаться соль. Также возможны другие варианты использования очищенных сточных вод (например, охлаждение зольного остатка), в зависимости от требований к качеству воды для предполагаемого использования.

Использование охлажденных конденсационных скрубберов представляет собой дополнительное средство, с помощью которого вода может быть удалена из потока дымовых газов, и затем, после обработки, может быть рециркулирована в скрубберы. Нарастивание соли остается проблемой.

Процессы без котлов с рекуперацией энергии могут иметь гораздо более высокое потребление воды. Это связано с тем, что необходимое охлаждение дымовых газов осуществляется с помощью впрыска воды. В таких случаях наблюдаются нормы потребления до 3,5 тонн воды на тонну отходов. Установки с системой быстрого охлаждения (например, эксплуатируемые в Великобритании для сжигания ОО) могут использовать до 20 тонн воды на тонну сжигаемых отходов.

Потребление воды для ОДГ при СОО составляет около 1–6 м³ на тонну отходов; а для осадка сточных вод – около 15,5 м³ на тонну отходов. Однако в специальных установках для сжигания осадка сточных вод, использующих частичную предварительную сушку и сжигание в печах с псевдоожиженным слоем, около 50% содержания воды в осадке будет испаряться в печи; используя ступень охлаждения после мокрого скруббера, можно извлечь воду из дымовых газов и использовать ее для удовлетворения потребности скруббера в воде (NL05).

[74, TWG 2004] [7, TWG 2017]-

3.7.2 Другие расходные материалы и топливо

[1, UBA 2001]

Следующие уровни потребления (и остаточных продуктов) могут быть рассчитаны для их стехиометрической реакции при очистке дымовых газов.

Таблица 3.39: Стехиометрический расчет количеств различных реагентов, используемых для абсорбции при очистке дымовых газов (реагенты, выраженные при 100% концентрации и чистоте)

Загрязняющее вещество		Ca(OH) ₂	Остаточные продукты	
	кг	кг		кг
HCl	1	1.014	CaCl ₂	1.521
HF	1	1.850	CaF ₂	1.950
SO ₂	1	1.156	CaSO ₄	2.125
Загрязняющее вещество		NaOH	Остаточные продукты	
HCl	1	1.097	NaCl	1.600
HF	1	2.000	NaF	2.100
SO ₂	1	1.249	Na ₂ SO ₄	2.217
Загрязняющее вещество		Бикарбонат натрия	Остаточные продукты	

Загрязняющее вещество		Ca(OH) ₂	Остаточные продукты	
HCl	1	2.301	NaCl	1.600
HF	1	4.200	NaF	2.100
SO ₂	1	2.625	Na ₂ SO ₄	2.217
Загрязняющее вещество		Аммиак	Остаточные продукты	
NO	1	0.370	Неприменимо	
NO ₂	1	0.739		
Загрязняющее вещество		Мочевина	Остаточные продукты	
NO	1	0.652	Неприменимо	
NO ₂	1	1.304		
Примечание:				
1. Чтобы установить точные соотношения реагентов, необходимо учитывать начальный уровень выбросов и целевой уровень выбросов.				
2. Реактивы могут поставляться в различных концентрациях, и это может, следовательно, изменять общие нормы расхода смешанных реагентов.				
Источник: [1, UBA 2001] [74, TWG 2004]				

3.7.2.1 Нейтрализаторы

[1, UBA 2001]

Для нейтрализации кислот, содержащихся в дымовых газах, используется либо NaOH, гидратная известь, известковое молоко или бикарбонат натрия. Расход нейтрализаторов зависит от состава конкретных отходов (и, следовательно, от содержания неочищенного газа), а также от используемого технического оборудования (контакт, смешивание и т.д.).

Для гашеной извести расходуется от 2 кг до 22 кг на тонну отходов в зависимости от типа очистки дымовых газов и других факторов. Расход NaOH составляет 7,5–33 кг на тонну отходов.

[74, TWG 2004] [81, TWG 2016]

3.7.2.2 Химические вещества для удаления NO_x

Типичными реагентами для удаления NO_x из дымовых газов являются аммиак, аммиачная вода (25% NH₃) и раствор мочевины. Последний, в частности, в зависимости от производителя, часто дополняется другими ингредиентами.

Если известны концентрации NO_x выше по потоку, это помогает достичь хорошо контролируемого процесса. [74, TWG 2004]

Эти материалы должны использоваться целенаправленно и тщательно контролироваться для предотвращения чрезмерного образования аммиака или прямого выброса избытка аммиака.

Для аммиачной воды норма расхода составляет от 2 кг до 2,5 кг на тонну отходов. Литературные значения находятся в диапазоне от 0,5 кг до 5 кг на тонну отходов.

3.7.2.3 Нефтепродукты и природный газ

Для технологического отопления и вспомогательных горелок используются легкое топливо (дизельное топливо), тяжелое топливо (около 1–4 литра на тонну отходов) и природный газ (на австрийских заводах от 4,5 до 20 м³ на тонну отходов). [74, TWG 2004] [81, TWG 2016]

Отработанные растворители (обычно с тепловой температурой > 25 МДж/кг) также используются в качестве вспомогательного топлива на некоторых заводах.

Отходы с высокой теплотворной способностью (например, масла и растворители, как правило, имеющие тепловую мощность > 15 МДж/кг) обычно используются в качестве вспомогательного топлива на установках для сжигания опасных отходов в ротационной печи.

Если дымовой газ подогревается для отдельных технологических этапов (например, СКВ), это в основном осуществляется с использованием природного газа.

3.7.2.4 Данные обследования коммерческих заводов по сжиганию опасных отходов

[41, EURITS 2002]

Ниже приведен обзор минимального и максимального количества добавок в килограммах на тонну сожженных отходов для коммерческих установок по сжиганию опасных отходов.

Таблица 3.40: Количество добавок, используемых в процессах сжигания опасных отходов

Добавки	кг/т отходов		
	Минимум	Максимум	Среднее
CaO + Ca(OH) ₂ (100 %), как CaO	1.33	97	28.6
NaOH (50 %)	0.40	41.67	15.5
CaCO ₃	11.9	23.76	17.4
HCl (33 %)	0.14	10	1.5
TMT-15 или другая сульфидная обработка	0.0085	0.98	0.23
Na ₂ S	0.008	0.83	0.44
Na ₂ S ₂ O ₃	0.08	4.2	1.7
FeCl ₃	0.049	0.50	0.27
FeClSO ₄	0.15	0.96	0.55
Fe Al хлорид	1.75	1.75	1.75
PE	0.01	1.30	0.3
Активированный уголь	0.3	19.31	3.7
Мочевина (45 %)	3.1	3.1	3.1
NH ₄ OH	0.50	3.33	2.1
CaCl ₂	2.36	2.36	2.36
Примечание: в этой таблице приведены лишь некоторые эталонные значения, и они не могут быть показательными для конкретной установки или технологии. Источник: [41, EURITS 2002]			

4 РАССМАТРИВАЕМЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ПРИ ОПРЕДЕЛЕНИИ НДТ

В данной главе представлено описание технологий (или их комбинаций), применение которых может обеспечить соблюдение высокого уровня защиты окружающей среды в рамках деятельности, охватываемой настоящим документом, а также описание систем контроля и анализа применения таких технологий. Описанные технологии будут включать в себя как используемые технологии, так и способы проектирования, строительства, обслуживания, эксплуатации и вывода установки из эксплуатации.

Четвертая глава охватывает системы экологического менеджмента, общие технологии, интегрированные в производственные процессы, а также общие меры по устранению неполадок. Дополнительно рассматриваются вопросы предотвращения образования отходов и обращения с отходами, в том числе процедуры минимизации образования отходов и улучшения переработки отходов, а также технологии, которые снижают потребление сырья, воды и энергии за счет оптимизации и повторного использования данных ресурсов. Описанные технологии также охватывают меры, используемые для предотвращения или ограничения экологических последствий аварий и инцидентов, а также меры по восстановлению участков размещения заводов. Они также охватывают меры, применяемые для предотвращения или сокращения выбросов при условиях, отличных от нормальных условий эксплуатации (например, при запуске и остановке установок, утечках, неисправностях, кратковременных остановках и окончательном прекращении эксплуатации).

В Приложении III к Директиве перечислен ряд критериев для определения НДТ, и приведенная в рамках этой главы информация будет учитывать эти соображения. Насколько это возможно, для представления в общих чертах информации по каждой технологии используется стандартная структура, представленная в таблице 4.1, в первую очередь для того, чтобы предоставить возможность сравнить технологии и оценить их в контексте определения НДТ в соответствии с Директивой.

Эта глава не обязательно содержит исчерпывающий список технологий, которые могут быть применены в данном секторе. Возможно существуют или разрабатываются другие технологии, которые также могут учитываться при определении НДТ для отдельной установки.

Таблица 4.1: Структура представления информации по категориям для каждой технологии, описанной в этой главе

Заголовки в разделах	Представленная информация
Описание	Краткое описание технологии с целью ее использования в НДТ.
Техническое описание	Более подробное и в то же время краткое техническое описание с использованием, при необходимости, химических или других уравнений, рисунков, диаграмм и блок-схем.
Экологические преимущества	Основные потенциальные экологические выгоды, которые могут быть получены при внедрении этой технологии (в том числе снижение энергопотребления; сокращение выбросов в воду, воздух и землю; экономия сырья; увеличение выхода продукции, уменьшение количества отходов и т.д.).
Экологические показатели и эксплуатационные данные	Фактические и специфические для предприятия данные о производительности (включая уровни выбросов, уровни потребления – сырья, воды, энергии – и количества образующихся остатков/отходов) из хорошо функционирующих установок/заводов (по отношению к окружающей среде, взятой в целом) с применением технологии сопровождается соответствующей контекстной информацией. Любая другая полезная информация по следующим пунктам: как проектировать, эксплуатировать, поддерживать, контролировать и выводить из эксплуатации технологию

Заголовки в разделах	Представленная информация
	• вопросы мониторинга выбросов, связанные с использованием технологии • чувствительность и долговечность технологии • вопросы, касающиеся предотвращения несчастных случаев. Выделены связи между потреблением (например, характеристикой и количеством сырья и топлива, энергии, воды) и производством (выбросы, остатки/отходы, продукты), в частности, в тех случаях, когда это необходимо для улучшения понимания различных воздействий на окружающую среду и их взаимодействия, например, где были выявлены преимущества и недостатки между различными производимыми продуктами, таким образом, что определенные уровни экологической эффективности не могут быть достигнуты одновременно. Данные о выбросах и потреблении уточняются, насколько это возможно, с подробной информацией о соответствующих рабочих условиях (например, процентная доля полной мощности, состав топлива, исключение (ослабление) технологии, наличие или отсутствие рабочих условий отличных от нормальных, стандартных условий), с помощью отбора проб и аналитических методов и статистического представления (например, краткосрочные и долгосрочные средние значения, максимумы, диапазоны и распределения). Информация об условиях/обстоятельствах, препятствующих использованию технологии (борьбы с выбросами) на полную мощность и/или необходимости полного или частичного обхода технологии (борьбы с выбросами) и мерах, принятых для восстановления полной мощности (борьбы с загрязнением).
Воздействие на различные компоненты окружающей среды	Соответствующее негативное воздействие на окружающую среду обусловлено внедрением технологии, позволяющей проводить сравнение между технологиями с целью оценки воздействия на окружающую среду в целом. Это может включать такие вопросы, как: • уровни потребления и характеристика сырья и воды • уровни потребления энергии и вклад в климатические изменения • потенциал разрушения стратосферного озона • фотохимический потенциал создания озона • закисление среды в результате выбросов в воздух • наличие твердых частиц в атмосферном воздухе (включая микрочастицы и металлы) • эвтрофикация земли и вод в результате выбросов в воздух или воду • потенциал истощения кислорода в воде • стойкие/токсичные/биоаккумулируемые компоненты (включая металлы) • образование остатков/отходов • ограничение возможности повторного использования или переработки отходов/отходов • возникновение шума и/или запаха • повышенный риск несчастных случаев. Во внимание также должен быть принят Справочный документ по экономическим аспектам и вопросам воздействия на различные компоненты окружающей среды (ЕСМ).

Заголовки в разделах	Представленная информация
Технические соображения, касающиеся применимости	Указывается, может ли технология применяться во всем секторе. В противном случае указаны основные общие технические ограничения на использование технологии в данном секторе. Это могут быть: - указание типа заводов или процессов в секторе, к которым технология не может быть применена; - ограничения на реализацию в определенных типовых случаях, например: - касается ли это нового или существующего завода, принимая во внимание факторы, связанные с модернизацией (например, доступность места) и взаимодействие с уже установленными технологиями - размер, мощность или коэффициент загрузки установки - количество, тип или качество производимой продукции - тип отходов, топлива или используемого сырья - климатические условия. Эти ограничения указаны вместе с причинами их возникновения. Эти ограничения не являются списком возможных местных условий, которые могут повлиять на применимость технологии для отдельного завода.
Экономические аспекты	Информация о затратах (капитал/инвестиции, эксплуатация и техническое обслуживание, включая сведения о том, как эти затраты были рассчитаны/оценены) и о любой возможной экономии (например, снижение потребления сырья или энергии, сборов за отходы, сокращение времени окупаемости по сравнению с другими технологиями), или о доходах или других выгодах, включая детали того, как они были рассчитаны/оценены. Данные о расходах предпочтительно указываются в евро (EUR). Если преобразование производится из другой валюты, указываются данные в исходной валюте и в году, когда они были собраны. Цена/стоимость оборудования или услуги сопровождается годом его приобретения. Для предоставления контекста стоимости используемых технологий приводится информация о рынке данного сектора. Информация, относящаяся как к вновь построенным, модернизированным, так и к существующим заводам. Это должно позволить оценить, где это возможно, экономическую эффективность технологии для соответствующего сектора. Может быть представлена информация об экономической эффективности метода (например, в евро в расчете на массу загрязняющего вещества) и соответствующие предположения для ее расчета. Справочные документы по экономическим аспектам и вопросам воздействия на различные компоненты окружающей среды (ЕСМ) и по контролю выбросов установок, подпадающих под действие Директивы о промышленных выбросах (РОМ) принимаются во внимание с точки зрения экономических аспектов и мониторинга затрат, соответственно.

Заголовки в разделах	Представленная информация
Мотивы внедрения	Где это применимо, конкретные местные условия, требования (например, законодательство, меры безопасности) или не связанные с окружающей средой факторы (например, повышение выработки, улучшение качества продукции, экономические стимулы – например, субсидии, налоговые льготы), которые стимулировали или инициировали внедрение технологии на сегодняшний день. Этот список должен быть очень коротким, представленным в виде пунктов маркированного списка.
Примеры	Отсылка к заводам, где была внедрена технология и собрана и использована информация при написании раздела. Указание степени, в которой технология используется в ЕС или во всем мире.

4.1 Организационные технологии для улучшения экологических показателей

4.1.1 Система экологического менеджмента (СЭМ)

Описание

Формальная система для демонстрации соответствия экологическим целям.

Техническое описание

Директива определяет «технологии» (в соответствии с определением «наилучших доступных технологий») как «как используемую технологию, так и способ проектирования, сборки, обслуживания, функционирования и вывода установки из эксплуатации».

В этом отношении система экологического менеджмента (СЭМ) – это метод, позволяющий операторам установок систематически и наглядно решать экологические проблемы. Системы экологического менеджмента являются наиболее эффективными и действенными, если они являются неотъемлемой частью общего управления и эксплуатации установки.

СЭМ фокусирует внимание оператора на экологических характеристиках установки; в частности, путем применения четких рабочих процедур для нормальных и отличных от нормальных рабочих условий, а также путем установления соответствующих границ ответственности.

Все эффективные СЭМ включают в себя концепцию постоянного улучшения, что означает, что экологический менеджмент – это непрерывный процесс, а не проект, который в конечном итоге подходит к концу. Существуют различные схемы процессов, но большинство СЭМ основаны на цикле «планирование-исполнение-проверка-принятие мер» (который широко используется в других контекстах управления компанией). Цикл представляет собой итеративную динамическую модель, в которой завершение одного цикла переходит в начало следующего (см. Рис. 4.1).

Система экологического менеджмента (СЭМ) может принимать форму стандартизированной или нестандартизированной («настраиваемой») системы. Внедрение и соблюдение международно признанной стандартизированной системы, такой как EN ISO 14001: 2015, может повысить доверие к СЭМ, особенно при условии надлежащего выполнения внешнего контроля. Схема экологического менеджмента и аудита (СЭМА) обеспечивает дополнительный авторитет благодаря взаимодействию с общественностью посредством заявления о воздействии на окружающую среду и механизма для обеспечения соблюдения применимого природоохранного законодательства. Однако нестандартизированные системы в принципе могут быть одинаково эффективными при условии, что они должным образом спроектированы и внедрены.

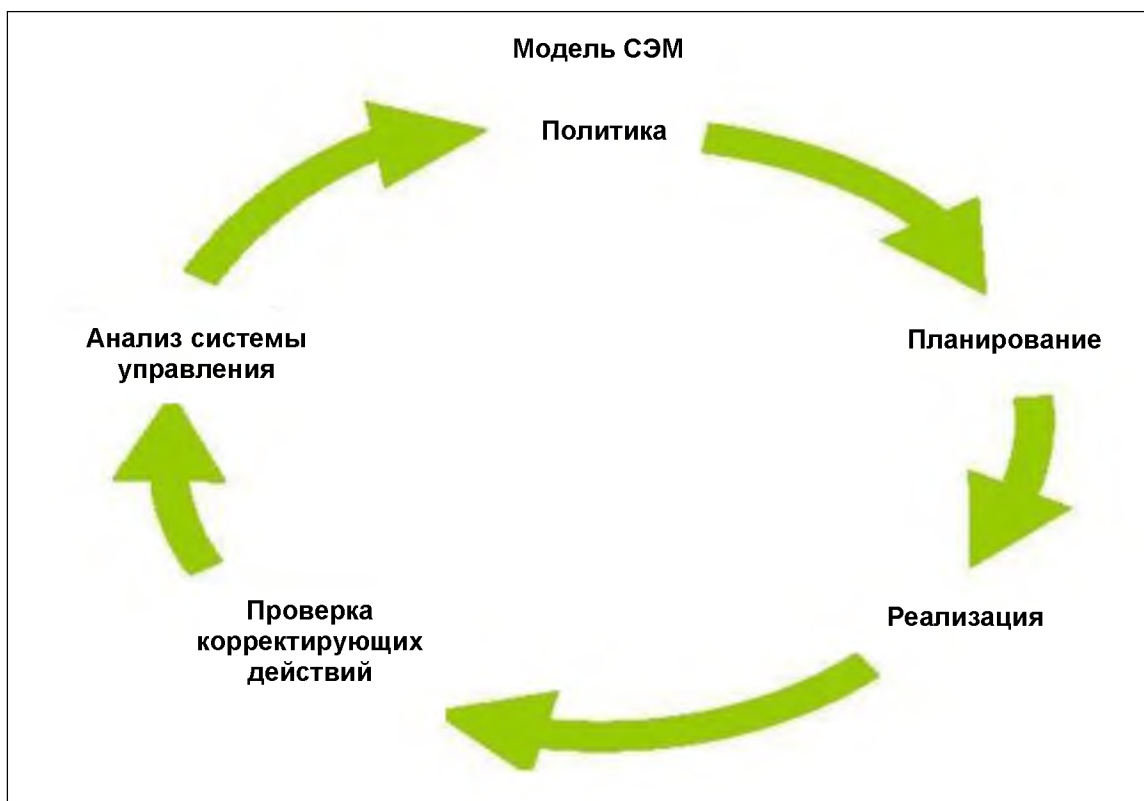


Рисунок 4.1 Постоянное усовершенствование модели СЭМ

Хотя, как стандартизированные системы (EN ISO 14001: 2015 или EMAS), так и нестандартизированные системы в принципе применимы к организациям, в этом документе используется более узкий подход, не включающий все виды деятельности организаций, например, в отношении их продукции и услуг, в связи с тем, что Директива регулирует только установки/заводы.

СЭМ может содержать следующие компоненты:

- i. приверженность, лидерство и подотчетность руководства, включая высшее руководство, внедрению эффективной СЭМ;
- ii. анализ, который включает определение контекста организации, определение потребностей и ожиданий заинтересованных сторон, определение характеристик объекта, которые связаны с возможными рисками для окружающей среды (или здоровья человека), а также применимых правовых требований, касающихся окружающей среды;
- iii. разработка экологической политики, которая включает в себя постоянное улучшение экологических показателей установки;
- iv. установление целей и показателей эффективности в отношении значимых экологических аспектов, включая обеспечение соблюдения применимых правовых требований;
- v. планирование и реализация необходимых процедур и действий (включая корректирующие и предупреждающие действия, где это необходимо) для достижения экологических целей и предотвращения экологических рисков;
- vi. определение структур, ролей и обязанностей в отношении экологических аспектов и целей и предоставление необходимых финансовых и кадровых ресурсов;
- vii. обеспечение необходимой компетентности и осведомленности персонала, чья работа может повлиять на экологические характеристики установки (например, путем предоставления информации и обучения);
- viii. внутренняя и внешняя связь;
- ix. содействие вовлечению работников в надлежащую практику управления окружающей средой;
- x. разработка и ведение руководства по управлению и письменных процедур для контроля деятельности, оказывающей значительное воздействие на окружающую среду, а также соответствующих записей;
- xi. эффективное оперативное планирование и управление процессом;
- xii. реализация соответствующих программ технического обслуживания;

- xiii. протоколы аварийной готовности и реагирования, включая предотвращение и/или смягчение неблагоприятных (экологических) воздействий чрезвычайных ситуаций;
- xiv. при (пере)проектировании (новой) установки или ее части учитывают ее воздействие на окружающую среду на протяжении всего срока ее службы, включая строительство, техническое обслуживание, эксплуатацию и вывод из эксплуатации;
- xv. реализация программы мониторинга и измерений. При необходимости информацию можно найти в Справочном документе по мониторингу эмиссий установок, подпадающих под действие Директивы о промышленных выбросах.
- xvi. применение сопоставительного анализа сектора на регулярной основе;
- xvii. периодический независимый (насколько это практически возможно) внутренний аудит и периодический независимый внешний аудит для оценки экологических показателей и определения того, соответствует ли СЭМ запланированным мероприятиям и была ли она надлежащим образом внедрена и поддержана;
- xviii. оценка причин несоответствий, реализация корректирующих действий в ответ на несоответствия, обзор эффективности корректирующих действий и определение того, существуют или могут иметь место подобные несоответствия;
- xix. периодическое рассмотрение высшим руководством СЭМ и его постоянной пригодности, адекватности и эффективности;
- xx. следование и принятие во внимание развития более чистых методов.

Специально для мусоросжигательных заводов и установок по переработке зольного остатка, в СЭМ также могут быть включены следующие функции:

- xxi. для мусоросжигательных заводов, управление потоком отходов.
- xxii. для установок по переработке зольного остатка, управление качеством продукции.
- xxiii. план обращения с остатками, включая меры, с целью:
 - a) минимизировать образование остатков;
 - b) оптимизировать повторное использование, регенерацию, рециркуляцию и/или рекуперацию энергии из остатков;
 - c) обеспечить правильное удаление остатков.
- xxiv. для мусоросжигательных заводов, план управления за пределами НУЭ.
- xxv. для мусоросжигательных заводов – план управления авариями, который определяет опасности, связанные с установкой, и связанные с этим риски и определяет меры по устранению этих рисков. Он предусматривает инвентаризацию загрязняющих веществ, присутствующих или вероятных, которые могут иметь экологические последствия, если они исчезнут. Он может быть составлен с использованием, например, анализа аварийных режимов и/или анализа характера, последствий и важности повреждений. План управления авариями включает в себя создание и реализацию плана предотвращения, обнаружения и борьбы с пожарами, который основан на оценке риска и включает использование автоматических систем обнаружения и оповещения о пожаре, а также ручных и/или автоматических систем вмешательства и контроля пожара. План предотвращения, обнаружения и борьбы с пожарами актуален, в частности, для:
 - зоны хранения и предварительной обработки отходов;
 - зоны загрузки печи;
 - электрических систем управления;
 - РФ;
 - неподвижных адсорбционных слоев.
 План управления авариями также включает, в частности, в случае установок, где принимаются опасные отходы, программы обучения персонала, касающиеся:
 - взрывов и противопожарной защиты;
 - пожаротушения;
 - знания химических рисков (маркировка, канцерогенные вещества, токсичность, коррозия, пожар).
- xxvi. для установок по переработке зольного остатка, управление диффузными выбросами пыли.
- xxvii. план управления запахом, в случае если неприятный запах на социальных объектах ожидается и/или был обоснован, включая:
 - a) протокол для проведения мониторинга запаха в соответствии со стандартами EN (например, динамическая одориметрия в соответствии со стандартом EN 13725 для определения концентрации запаха); он может быть дополнен измерением/оценкой обнаружения запаха (например, в соответствии с EN 16841-1 или EN 16841-2) или оценкой воздействия запаха;

- b) протокол реагирования на выявленные случаи запаха, например, жалобы;
 - c) программа предотвращения и уменьшения запаха, предназначенная для идентификации источника(ов); охарактеризовать вклад источников; и осуществлять меры профилактики и/или сокращения.
- xxviii. план управления шумом, если предполагается и/или было обосновано шумовое воздействие на социальные объекты, включая;
- a) протокол проведения мониторинга шума;
 - b) протокол для ответа на идентифицированные шумовые инциденты, например, жалобы;
 - c) программа снижения шума, предназначенная для идентификации источника(ов), для измерения/оценки воздействия шума, для характеристики вклада источника(ов) и для реализации мер по предотвращению и/или снижению.

Экологические преимущества

Система экологического менеджмента (СЭМ) поощряет и поддерживает постоянное улучшение экологических характеристик установки. Если установка уже имеет хорошие общие экологические показатели, СЭМ помогает оператору поддерживать высокий уровень производительности.

Экологические показатели и эксплуатационные данные

Информация не предоставлена.

Воздействие на различные компоненты окружающей среды

Не сообщалось. Систематический анализ первоначальных воздействий на окружающую среду и возможностей для улучшения в контексте СЭМ устанавливает основу для оценки наилучших решений для всех сред.

Технические соображения, касающиеся применимости

Компоненты, описанные выше, обычно могут применяться ко всем установкам в рамках данного документа. Объем (например, уровень детализации) и характер СЭМ (например, стандартизированный или нестандартизированный) обычно связаны с характером, масштабом и сложностью установки, а также с диапазоном воздействия на окружающую среду, которое она может иметь (определяется также типом и количеством перерабатываемых отходов).

Экономические аспекты

Трудно точно определить затраты и экономические выгоды от внедрения и поддержания качественной СЭМ. Есть также экономические выгоды, которые являются результатом использования СЭМ, и они сильно различаются от сектора к сектору.

Внешние затраты, связанные с проверкой системы, могут быть оценены на основе рекомендаций, изданных Международным форумом по аккредитации [84, IAF 2010].

Мотивы внедрения

Мотивы внедрения СЭМ включают в себя:

- улучшение экологических показателей;
- улучшение понимания экологических аспектов деятельности компании, которые могут быть использованы для выполнения экологических требований клиентов, регулирующих органов, банков, страховых компаний или других заинтересованных сторон (например, людей, живущих или работающих поблизости от объекта);
- улучшенная основа для принятия решений;
- улучшенная мотивация персонала (например, менеджеры могут быть уверены, что воздействие на окружающую среду контролируется, и сотрудники могут чувствовать, что они работают на экологически ответственную компанию);
- дополнительные возможности для снижения эксплуатационных затрат и улучшения качества продукции, улучшения имиджа компании;
- снижение ответственности, страхования и штрафов за несоблюдение требований.

Примеры

СЭМ применяются во многих странах ЕС.

Справочная литература

[85, COM 2014], [86, EC 2009], [87, COM 2010], [88, CEN 2015], [89, COM 2015]

4.1.2 Обеспечение непрерывной работы установки по сжиганию отходов

Описание

Настройка и реализация эксплуатационных процедур (например, организация цепочки поставок, непрерывная, а не периодическая работа, профилактическое обслуживание) для ограничения, насколько это практически возможно, количества остановок и запусков установки.

Техническое описание

Выбросы на мусоросжигательных заводах легче контролировать во время обычной работы, чем во время операций запуска и остановки. Таким образом, сокращение числа необходимых запусков и остановок является оперативной стратегией, которая может снизить общие уровни выбросов и потребления. Режим сбора/доставки отходов и сезонные колебания образования отходов могут привести к отключению из-за отсутствия поступающих отходов, хотя их зачастую можно избежать, если эксплуатировать установку с частичной нагрузкой, чтобы справиться с такими колебаниями. Работа с частичной нагрузкой обычно не вызывает проблем для современной камеры сжигания. [74, TWG 2004]

Факторы, которые помогают достичь непрерывной пропускной способности, включают в себя:

- спроектированная пропускная способность процесса аналогична скорости получения отходов;
- в периоды простоя (где это возможно) возможно обеспечение хранения отходов;
- организация цепочки поставок для предотвращения периодов простоя;
- добавление в отходы дополнительного топлива;
- использование чистки в рабочем режиме.

В связи с этим, для обеспечения максимальной непрерывной работы установок, важно определить их размеры и обеспечить надлежащее техническое обслуживание.

Надлежащее техническое обслуживание важно для предотвращения/ограничения остановок установки. Для установки также может быть разработана программа технического обслуживания без остановки процесса, обеспечивающая максимальную доступность.

Экологические преимущества

Выбросы, связанные с отключением и пуском, частично исключаются. Планирование и достижение уменьшенного количества остановок может снизить ежегодные уровни массовых выбросов любой установки.

Экологические показатели и эксплуатационные данные

Для обеспечения стабильной работы завода важны прогнозирование и контроль поступления потоков отходов на завод.

Воздействие на различные компоненты окружающей среды

При непрерывной работе в условиях низкой нагрузки из-за более низкой эффективности турбины энергоэффективность установки может быть снижена.

Технические соображения, касающиеся применимости

Технология, в целом, применима.

Экономические аспекты

Предотвращение остановок может снизить затраты на установках сжигания путем:

- обеспечения непрерывной пропускной способности и, следовательно, большего использования установки;
- снижения технического обслуживания печи из-за снижения тепловой нагрузки на процесс;
- избегания капитальных затрат из-за неоправданно обширного процесса.

Если мощность установки превышает количество поступающих отходов, и принимается решение дополнить пропускную способность другими отходами или топливом, могут возникнуть расходы, связанные с приобретением этих видов топлива/отходов.

Мотивы внедрения

Основные мотивы внедрения – особенности функционирования. Постоянная работа установки повышает энергоэффективность.

Примеры

Как правило, все мусоросжигательные заводы работают непрерывно.

Справочная литература

[28, FEAD et al. 2002] [64, TWG 2003]

4.2 Эксплуатационные технологии для улучшения экологических показателей

4.2.1 Контроль качества поступающих отходов

В этом разделе рассматриваются технологии, которые помогают оператору охарактеризовать поступающие отходы, подлежащие обработке. Общие технологии, применяемые для обеспечения того, чтобы поступающие отходы были совместимы с характеристиками завода, изложены в Справочном документе по НДТ переработки отходов и могут быть использованы для общего руководства.

4.2.1.1 Установление ограничений для поступающих на завод отходов и определение основных рисков

Описание

Определение типов отходов, которые могут быть приняты с учетом характеристик мусоросжигательного завода, с точки зрения теплоты сжигания, влажности, содержания золы, физического состояния, размера и т.д.

Техническое описание

Каждая установка имеет ограничения по характеристикам отходов, которые можно подавать на установку для сжигания. Зная об ограничениях для сжигаемых отходов, можно получить спецификацию для поступающих отходов, в которой выделены максимальные и желательные показатели расхода системы. Затем можно определить ключевые риски и процедурные меры контроля, необходимые для предотвращения или сокращения операций за пределами этих ограничений.

Факторы, которые устанавливают такие границы, включают:

- конструкция механизма подачи отходов и физическая пригодность полученных отходов;
- расход отходов и номинальная теплопроизводительность печи;
- требуемые экологические показатели (т.е. требуемое снижение уровня загрязнения, выраженное в процентах);
- производительность технологии очистки дымовых газов для индивидуального удаления загрязняющих веществ (например, ограничение расхода дымовых газов, загрузка загрязняющих веществ).

Примерами ключевых выявленных рисков могут быть:

- высокое поступление ртути, приводящее к высокой концентрации неочищенных дымовых газов;
- высокое поступление йода или брома, приводящее к высокой концентрации неочищенных дымовых газов;
- высокая изменчивость содержания влаги или теплоты сжигания, приводящая к неравномерностям сжигания;
- высокая загрузка хлора, превышающая емкость очистки дымовых газов;
- высокая загрузка серы, превышающая мощность очистки дымовых газов;
- быстрое изменение химического состава дымовых газов, которое влияет на функционирование очистки дымовых газов;
- физически крупные предметы, блокирующие системы подачи, приводящие к прерыванию нормальной работы;
- чрезмерное зашлаковывание/загрязнение компонентов котла при подаче определенных видов отходов, например, сообщалось, что источники с высокой концентрацией Zn (загрязненные древесные отходы) вызывают аномальное шлакообразование в первом проходе котла.

После того, как теоретические и фактические (то есть те, которые возникают на действующих заводах) риски были установлены, оператор может разработать целевую стратегию контроля для снижения этих рисков, например, если опыт показывает, что предельные значения выбросов HCl могут быть превышены, то оператор может принять решение попытаться контролировать

источники хлора и пиковые концентрации в отходах, подаваемых на стадию сжигания, и/или улучшить конструкцию и эксплуатационную практику очистки дымовых газов от кислотного газа.

Экологические преимущества

Использование этого метода помогает обеспечить бесперебойную и стабильную работу установки сжигания и снижает потребность в реактивном и аварийном вмешательстве в процесс.

Экологические показатели и эксплуатационные данные

Определение ограничений процесса ввода применяется всеми мусоросжигательными заводами, особенно теми, которые получают отходы из различных источников и имеют широкие или трудно контролируемые спецификации (например, коммерческие заводы по сжиганию опасных отходов).

Существующие заводы будут иметь преимущество опыта и знаний из предыдущих ситуаций, с которыми сталкивались в течение срока эксплуатации установки. Новые заводы могут извлечь уроки из опыта эксплуатации аналогичных существующих установок, а затем адаптировать и разработать свои собственные процедуры в соответствии с их конкретным опытом эксплуатации.

Установки с обширными хранилищами и установками для предварительной обработки могут принимать отходы, которые изначально не соответствуют нормам, установленным для стандартных камер сжигания, а затем обрабатывать отходы в соответствии с требованиями камеры сжигания.

Хотя коммерческие заводы по сжиганию опасных отходов часто строятся для переработки большого количества опасных отходов, это не относится ко многим другим установкам, включая УСТКО. Однако некоторые виды отходов, которые по своей характеристике аналогичны ТКО, перерабатываются на некоторых УСТКО, например, коммерческие отходы, некоторые медицинские отходы и осадки сточных вод. Установка может потребовать некоторого приспособления для надлежащего оснащения для обработки отходов, которые по своей природе отличаются от основного поступающего типа отходов. Это, как правило, включает обеспечение требуемых систем приема, хранения и обработки. Если отходы значительно отличаются, то также могут потребоваться более широкие адаптации, например, к типу печи, очистке дымовых газов, системе очистки сточных вод, специальным мерам безопасности и лабораторному/испытательному оборудованию. [64, TWG 2003]

Воздействие на различные компоненты окружающей среды

Внедрение ограничений на ввод процесса приводит к удалению отходов, которые выходят за пределы установленных спецификаций. Эти отходы затем направляются в другие системы обработки отходов. Таким образом, тип и величина различных компонентов воздействия зависят от типа и эффективности альтернативного варианта переработки.

Технические соображения, касающиеся применимости

Технология, в целом, применима.

Экономические аспекты

Исключение некоторых источников/типов отходов может снизить доход. Кроме того, могут потребоваться специальные инвестиции для внедрения методов идентификации и обращения с такими отходами, например, анализ таких отходов и их предварительную обработку.

Мотивы внедрения

Для оценки и выбора процедур для контроля поступающих отходов и, следовательно, общей производительности процесса требуется надлежащее знание ограничений процесса.

Примеры

Это широко распространенная практика, в частности, на заводах по сжиганию опасных отходов. Методика также применяется на многих европейских заводах по сжиганию ТКО для выявления и, возможно, исключения нежелательных типов отходов.

Справочная литература

[55, EIPPCB 2002] [64, TWG 2003]

4.2.1.2 Взаимодействие с поставщиками отходов для улучшения контроля качества поступающих отходов

Описание

Контроль за качеством поступающих отходов

Техническое описание

Отходы обычно поступают из самых разных источников, над которыми оператор может иметь только ограниченный контроль. В тех случаях, когда оператор идентифицировал конкретные отходы, вещества или свойства отходов, или отдельные источники, которые могут вызывать или уже вызывают эксплуатационные проблемы, сообщение о проблеме тем лицам, которые производят и поставляют отходы, может помочь обеспечить качество всей цепочки обращения с отходами. Примером является раздельный сбор ртутьсодержащих отходов, таких как батареи или зубная амальгама, так что содержание ртути в потоке ТКО уменьшается.

Тип используемых технологий и степень их применения зависят от степени риска, а также от частоты и характера возникающих эксплуатационных трудностей. В целом, чем больше изменчивость типов отходов, их составов и источников, тем больше усилий требуется для контроля за поступающими отходами.

Экологические преимущества

Избежание приема неподходящих отходов или контроль доставки отходов, которые трудно обрабатывать или которые требуют особого ухода, может уменьшить эксплуатационные трудности и тем самым поможет избежать дополнительных выбросов.

Экологические показатели и эксплуатационные данные

Эта технология наиболее полезна на тех заводах, которые получают отходы из различных источников, имеющих широкую или трудно контролируруемую спецификацию (например, коммерческие заводы по переработке опасных отходов).

Процессы, предназначенные для приема узкого ряда четко определенных отходов, могут потребовать особой осторожности для обеспечения контроля над основными веществами.

Существующие заводы будут иметь преимущество изучения реальных ситуаций, с которыми уже сталкивались. К примеру:

- На заводе «SELCHP» по переработке ТКО (Юго-Восточный Лондон, Великобритания) были выявлены источники гипса (сульфата кальция), которые мешали работе.
- В Кане (Франция) была проведена успешная информационная кампания по сокращению содержания ртути в ТКО.

Воздействие на различные компоненты окружающей среды

Некоторые отходы, возможно, потребуются перевести из мусоросжигательного завода в другие варианты обработки отходов.

Технические соображения, касающиеся применимости

Технология, в целом, применима.

Экономические аспекты

Экономия может возникнуть в результате избегания эксплуатационных трудностей.

Мотивы внедрения

Процедуры для контроля ввода могут снизить риски операционных сбоев и связанных с ними выбросов.

Примеры

Это широко распространенная практика, в частности, на заводах по сжиганию опасных отходов.

Справочная литература

[64. TWG 2003]

4.2.1.3 Контроль качества подачи на площадке сжигания

Описание

Контроль качества подачи на площадке сжигания.

Техническое описание

Чтобы помочь контролировать качество подачи отходов и, следовательно, стабилизировать процесс сжигания в пределах проектных параметров, может быть получен набор требований к качеству для отходов, подаваемых в камеру сжигания. Требования к качеству отходов могут быть получены из понимания эксплуатационных ограничений процесса, таких как:

- тепловая пропускная способность установки сжигания;
- физические требования к отходам (размер частиц);
- системы контроля, используемые для процесса сжигания (например, с использованием НТС, производства пара, содержания O_2);
- производительность системы очистки дымовых газов и полученные максимальные концентрации/скорости ввода неочищенного газа;
- предельные значения выбросов, которые необходимо соблюдать;
- требования к качеству зольного остатка.

Отходы могут храниться, перемешиваться или смешиваться (это ограничено некоторым национальным законодательством), чтобы гарантировать, что конечные отходы, которые подаются в камеру сжигания, подпадают под производный набор требований к качеству.

Основные вещества/свойства, которые, как правило, требуют определенных процедур для управления ими, относятся к изменениям концентрации и распределения в отходах следующего:

- ртуть, щелочные металлы и тяжелые металлы;
- йод и бром;
- хлор и сера;
- изменения в значениях теплоты/влажности;
- критические органические загрязнители, например, ПХД;
- физическая консистенция отходов, например, осадок сточных вод;
- смешиваемость различных видов отходов.

Для проведения отбора проб этих веществ/свойств в отходах могут быть актуальны результаты CEN/TC 292 и CEN/TC 343 (например, «EN 14899: 2005: Характеристика отходов – Отбор проб отходов – Структура для подготовки и применения плана отбора проб», или «EN 15002: 2015: Характеристика отходов – Подготовка проб из лабораторного образца»).

Экологические преимущества

Снижение выбросов в дымовых газах путем:

- бесперебойной работы процесса;
- эффективного сжигания;
- улучшенной рекуперации энергии;
- более равномерной концентрации неочищенного газа и, следовательно, улучшения работы установки очистки дымовых газов;
- уменьшения загрязнения в котле за счет уменьшения выброса пыли.

Экологические показатели и эксплуатационные данные

Все мусоросжигательные заводы имеют свой собственный набор ключевых ограничений процесса на этапе подачи отходов, а затем применяют подходящие ограничения приема и возможную предварительную обработку, чтобы гарантировать, что эти ограничения не превышаются.

Это особенно актуально, когда встречаются сильно варьирующие по составу отходы (например, на коммерческих заводах по сжиганию опасных отходов), и на заводах меньшей мощности, поскольку они имеют меньшую рабочую «буферную» мощность, чем более крупные заводы.

Эта технология находит свое основное применение и преимущества на установках сжигания опасных отходов, хотя в некоторых странах (например, в Австрии) она применяется на каждой установке сжигания отходов. [64, TWG 2003]

Воздействие на различные компоненты окружающей среды

Подготовка и хранение отходов могут привести к диффузным выбросам, которые требуют разработки дополнительных систем контроля и управления.

Технические соображения, касающиеся применимости

Технология, в целом, применима. Отбор проб неприменим к медицинским отходам из-за риска инфицирования.

Экономические аспекты

Информация не предоставлена.

Мотивы внедрения

Движущая сила состоит в том, чтобы помочь обеспечить соответствие исходного материала применяемым процессам и, следовательно, позволить контролировать выбросы и потребление в рамках требуемых параметров.

Примеры

Эта технология применяется, в частности, на заводах по сжиганию опасных отходов в ЕС-28.

Справочная литература

[25, Kommunikemi 2002], [64, TWG 2003]

4.2.1.4 Проверка, отбор проб и тестирование поступающих отходов

Описание

Проверка, отбор проб и тестирование поступающих отходов.

Техническое описание

Эта технология предполагает использование подходящего режима для оценки поступающих отходов. Применяемые методы оценки подобраны для обеспечения следующих параметров:

- характеристики полученных отходов находятся в пределах диапазона, подходящего для установки;
- оценки необходимости специальной обработки/хранения/переработки/удаления отходов для перемещения за пределы площадки;
- оценки соответствия отходов параметрам представленным поставщиком (по договорным, эксплуатационным или юридическим причинам).

Используемые технологии варьируются от простой визуальной оценки до полного химического анализа. Степень принятых процедур будет зависеть от риска, связанного с поступающими отходами, который, в свою очередь, будет связан с:

- характером и составом отходов;
- неоднородностью отходов;
- известными трудностями с отходами (определенного типа или из определенного источника);
- специфической чувствительностью соответствующей установки (например, известно, что определенные вещества вызывают эксплуатационные трудности);
- происхождением отходов: известное или неизвестное;
- наличием или отсутствием спецификации по контролю качества отходов;
- наличием опыта обращения с данными отходами ранее.

Основные конкретные применяемые технологии перечислены в таблице 4.2.

Таблица 4.2: Технологии, применяемые для проверки и отбора проб различных видов отходов

Тип отходов	Основные применяемые технологии	Комментарии
Смешанные коммунальные отходы и другие неопасные отходы	- Визуальный осмотр в бункере - Периодический отбор проб отходов и анализ ключевых свойств/веществ (например, теплотворная способность, содержание галогенов и металлов/металлоидов) - Для твердых коммунальных отходов – выборочная проверка доставки отходов путем раздельной выгрузки. - Взвешивание отходов на момент поставки - Радиоактивное обнаружение	Промышленные и коммерческие грузы могут иметь повышенные риски и требуют большего внимания
Предварительно обработанные коммунальные отходы и RDF-топливо	- Визуальный осмотр - Периодический отбор проб и анализ ключевых свойств/веществ (например, теплота сжигания, содержание галогенов, CO₂ и металлов/металлоидов)	Отсутствуют
Опасные отходы, за исключением медицинских отходов	- Визуальный осмотр, насколько это технически возможно - Контроль и сравнение данных в списке декларации с доставленными отходами - Отбор проб/анализ всех автоцистерн и фур - Проверка упакованных отходов на основе оценки риска (например, в бочках, контейнерах средней грузоподъемности для массовых грузов (КСГМГ) или в небольших упаковках) - Распаковка и проверка упакованных грузов - Оценка параметров сжигания - Тесты смешивания жидких отходов перед хранением - Контроль температуры вспышки отходов в бункере - Скрининг ввода отходов по элементному составу	Обширные и эффективные процедуры особенно важны для этого сектора. Заводы, принимающие монопотoki, могут принять упрощенные процедуры.
Сточные воды	- Взвешивание доставленных отходов (или измерение потока, если осадок сточных вод доставляется по трубопроводу) - Визуальный осмотр, насколько это технически возможно - Периодический отбор проб и анализ ключевых свойств/веществ (например, теплота сжигания, содержание воды и ртути) - Проверка твердых материалов, например, камни/металл/дерево/пластик, перед перекачкой, этапы обезвоживания и сушки - Управление процессом для адаптации к изменению осадка	Пригодность технологий зависит от вида осадка сточных вод, например необработанный осадок, сброженный осадок сточных вод, окисленный осадок.
Медицинские отходы	- Контроль и сравнение данных в списке декларации с доставленными отходами - Скрининг на радиоактивность - Взвешивание отходов - Визуальная проверка целостности упаковки	Риск инфицирования делает отбор проб нецелесообразным. Контроль производится по требованию производителя отходов.
Источник: [1, UBA 2001], [2, infomil 2002], [41, EURITS 2002], [64, TWG 2003] [7, TWG 2017]		

Экологические преимущества

Усовершенствованная идентификация неподходящих отходов, веществ или свойств может уменьшить эксплуатационные трудности и, следовательно, помочь избежать дополнительных выбросов.

Экологические показатели и эксплуатационные данные

Примеры испытаний, проводимых с поступающими отходами, в зависимости от типа обрабатываемых отходов, приведены в таблице 4.2.

Наиболее обширные режимы отбора проб и анализа используются там, где составы и источники отходов наиболее разнообразны (например, на предприятиях по переработке опасных отходов) или когда существуют известные трудности, например история проблем с конкретным типом или источником отходов.

Воздействие на различные компоненты окружающей среды

Нет значительного воздействия на окружающую среду.

Технические соображения, касающиеся применимости

Технология, в целом, применима. Отбор проб неприменим к медицинским отходам из-за риска инфицирования.

Экономические аспекты

Стоимость применения этих технологий быстро возрастает в зависимости от степени и сложности применяемых процедур.

Затраты на отбор проб, анализ, хранение и дополнительное время обработки могут составлять значительную долю эксплуатационных расходов, в частности, на заводах по переработке опасных отходов, где применяются самые широкие режимы отбора проб и анализа.

Мотивы внедрения

Для лучшего контроля за процессом и обеспечения защиты заводов.

Примеры

Широко используется на всей территории ЕС-28.

Справочная литература

[40, EURITS, 2003] and discussions during site visits. [64, TWG 2003]

4.2.1.5 Детекторы радиоактивных материалов

Описание

Использование детекторов для радиоактивных материалов.

Техническое описание

Включение радиоактивных источников или веществ в отходы может привести к проблемам с эксплуатацией и безопасностью. Некоторые отходы подвергаются риску более высокого уровня содержания, особенно те, которые образуются в результате деятельности, в которой используются радиоактивные материалы. Таким образом, некоторые медицинские и промышленные отходы могут, как правило, время от времени содержать конкретные радиоактивные источники или загрязнения, хотя включение таких отходов в коммунальные отходы и трудности контроля за содержанием смешанных отходов могут привести к радиоактивности других отходов.

Радиоактивные материалы часто можно обнаружить с помощью специальных детекторов, расположенных, например, на входе в установку. Проводятся проверки загрузки отходов, которые могут иметь более высокий риск загрязнения. Такие проверки специально проводятся, когда загрузки принимаются на основе максимального уровня загрязнения. Такие максимальные уровни получены из знания процесса поведения обработанных изотопов и конкретного процесса их получения, а также из рассмотрения пределов, установленных для уровней загрязнения, разрешенных при выбросах в землю, воздух и воду.

Одним из типов детекторов являются пластиковые сцинтилляционные детекторы; они измеряют фотоны от гамма-излучающих радионуклидов и в меньшей степени от бета-излучателей.

Радионуклиды регулярно обнаруживаются в медицинских отходах, лабораторных отходах и технически улучшенных природных радиоактивных материалах. Также важны меры контроля для предотвращения смешивания радиоактивных отходов с обычными отходами (иногда это делается для того, чтобы избежать высоких затрат на обработку, связанных с радиоактивными отходами).

Экологические преимущества

Преимущества включают предотвращение загрязнения завода и выброса радиоактивных веществ. Загрязнение установки может привести к длительным и дорогостоящим остановкам для дезактивации.

Экологические показатели и эксплуатационные данные

Некоторые заводы сообщают о хорошем опыте использования воротных систем контроля радиоактивности, после того, как они признали, что получаемые ими ТКО могут иногда содержать радиоактивные вещества. [64, TWG 2003]

Данная технология применяется на заводах, куда гетерогенные отходы поступают от широкого круга поставщиков. Она применяется в меньшей степени, когда источники и разнообразность состава отходов хорошо известны и контролируются, или когда риск получения радиоактивных веществ оценивается как низкий.

Воздействие на различные компоненты окружающей среды

Основная проблема заключается в управлении отходах, которые идентифицированы как радиоактивные, поскольку ни их дальнейшая транспортировка, ни обработка не могут быть разрешены. Целесообразной является разработка планов и процедур заблаговременно до таких ситуаций для обращения с любыми выявленными радиоактивными отходами.

Технические соображения, касающиеся применимости

Технология, в целом, применима.

Экономические аспекты

В 2006 году инвестиционные затраты на установку детекторов составляли приблизительно 25 000–50 000 евро [122, COM 2006].

Мотивы внедрения

Использование технологии стимулирует снижение допустимого порога для радиоактивного загрязнения низкого уровня. Эти пороговые значения могут варьироваться от одного государства-члена к другому в соответствии с требованиями законодательства. [64, TWG 2003]

В некоторых государствах-членах, например, во Франции, требование к использованию детекторов для радиоактивных материалов определено в положении об установках сжигания ТКО (за некоторыми исключениями).

Примеры

Установки по переработке опасных и некоторых коммунальных отходов.

Справочная литература

[40, EURITS, 2003], [64, TWG 2003]

4.2.2 Хранение отходов

Основные принципы хранения, изложенные в Справочном документе по НДТ выбросов при хранении, применимы к хранению отходов и могут быть использованы для общего руководства по технологиям. Общие принципы, применяемые при хранении отходов, также описаны в Справочном документе по НДТ переработки отходов. Этот раздел концентрируется на конкретных технологиях, которые имеют отношение к мусоросжигательным заводам, а не на более общих аспектах хранения.

4.2.2.1 Герметичные поверхности, регулируемый дренаж и защита от атмосферных воздействий

Описание

Хранение отходов на участках, облицованных герметичными поверхностями и оборудованных отдельным дренажем.

Техническое описание

Хранение отходов в емкостях с герметичными и устойчивыми поверхностями и регулируемым дренажом предотвращает выброс веществ либо непосредственно из отходов, либо путем вымывания из отходов. Целостность непроницаемой поверхности периодически проверяется.

Используемые технологии различаются в зависимости от типа отходов, их состава и уязвимости или риска, связанного с выбросом веществ из отходов. Как правило, применяются следующие технологии хранения.

Таблица 4.3: Некоторые примеры применяемых технологий хранения для различных типов отходов

Тип отходов	Технология хранения
Все отходы	• Пахучие материалы, хранящиеся внутри с системами контроля воздуха, использующими выпускаемый воздух в качестве воздуха для горения (см. Раздел 4.2.2.3) • Места для загрузки/разгрузки с регулируемым дренажем • Четко обозначенные (например, с цветовой кодировкой) зоны для дренажа из потенциальных зон загрязнения (хранение/загрузка/транспортировка) • Ограничение сроков хранения в зависимости от типа отходов и рисков • Соответствующая вместимость • В зависимости от вида отходов и факторов риска, связанных с конкретным местом расположения, возможно упаковывание в кипы или укрытие некоторых отходов для временного хранения. • Меры противопожарной защиты, например, огнеупорная стенка между бункером и топочным залом
Твердые коммунальные и другие неопасные отходы	• Бункеры с полом с защитным покрытием или герметичные складские площадки • Крытые и обнесенные стеной здания • Некоторые сыпучие продукты с низким потенциалом загрязнения могут храниться без специальных мер
Предварительно обработанные ТКО и RDF-топливо	• Закрытые бункеры • Бункеры с полом с защитным покрытием или складские площадки • Крытые и обнесенные стеной здания • Упакованные или помещенные в контейнеры грузы могут храниться снаружи без специальных мер, в зависимости от характеристики отходов.
Наливные жидкие отходы и шламы	• Ударопрочные резервуары, защищенные от утечек • Фланцы и клапаны в обвалованных участках • Для летучих веществ применяется создание трубопроводов (резервуарных пространств) к мусоросжигателю • Устройства контроля взрыва в воздуховодах и т.д. • Резервуарное или бункерное хранилище осадка сточных вод
Жидкие отходы в бочках и шламы	• Хранение под покрытием • Стойкие и защищенные от утечек поверхности
Опасные отходы	• Отдельное хранение в соответствии с оценкой риска • Особое внимание к продолжительности хранения • Автоматические погрузочно-разгрузочные устройства • Средства для очистки поверхностей и контейнеров

Тип отходов	Технология хранения
Медицинские/биологически опасные отходы	• Отдельное хранение • Хранение при пониженной температуре для биологически опасных отходов • Особое внимание к сокращению сроков хранения • Автоматические погрузочно-разгрузочные устройства • Сжигание одноразовых контейнеров для отходов • Средства дезинфекции многоразовых контейнеров для отходов • Низкотемпературное хранение, если срок хранения превышает определенные периоды времени, например 48 часов
Источник: [64, TWG 2003]	

Экологические преимущества

- Снижение риска выбросов путем безопасного хранения.
- Предотвращение попадания дождевой воды в хранящиеся отходы (и, следовательно, снижение НТС и степени трудности сжигания).
- Предотвращение рассеивания ветром.
- Сокращение производства фильтрата (и, следовательно, последующих требований к управлению образовавшимся фильтратом).
- Сокращение мобилизации загрязняющих веществ.
- Уменьшение износа контейнеров (коррозия и солнечное излучение).
- Снижение температурного расширения и сжатия герметичных контейнеров.
- Уменьшение и устранение запахов.
- Управление диффузными выбросами.

Экологические показатели и эксплуатационные данные

На всех установках применяется общий принцип анализа полученных видов отходов и обеспечения их надлежащего (то есть уменьшающего распространение загрязнения и вероятность выбросов при хранении и обращении с отходами) безопасного хранения.

Степень внедрения и точные принятые методы зависят от полученных отходов и описаны выше в разделе «Техническое описание». В целом, наибольшего внимания требуют жидкие и опасные отходы.

Воздействие на различные компоненты окружающей среды

Повышенное потребление энергии.

Технические соображения, касающиеся применимости

Технология, в целом, применима.

Экономические аспекты

Информация не предоставлена.

Мотивы внедрения

- Предотвращение и уменьшение диффузных выбросов.
- Оптимизация процесса сжигания.
- Требования по охране окружающей среды и здоровья.

Примеры

Широко применяется по всей Европе.

Справочная литература

[64, TWG 2003]

4.2.2.2 Достаточная вместимость хранилища

Описание

Технологии, которые следует рассмотреть, представляют собой сочетание мер, позволяющих избежать накопления отходов, например:

- установление максимальной емкости для хранения отходов с учетом характеристик отходов, например, относительно риска пожара;
- регулярный мониторинг количества хранимых отходов относительно максимальной вместимости хранилища;
- установление максимального времени хранения для отходов, которые не смешиваются во время хранения.

Техническое описание

Время хранения может быть уменьшено за счет:

- предотвращения чрезмерного увеличения объемов хранящихся отходов;
- контроля и управления поставками (где это возможно) путем взаимодействия с поставщиками отходов и т.д.

Экологические преимущества

- Предотвращение порчи контейнеров (разрушение под влиянием атмосферных воздействий, старение, коррозия).
- Предотвращение гниения органических отходов (которое в противном случае может привести к выделению запаха, трудностям при обработке и очистке, риску пожара и взрыва).
- Снижение риска отслоения маркировки.

Экологические показатели и эксплуатационные данные

Как правило, ТКО хранятся в закрытых помещениях в течение 4-10 дней, причем периоды хранения сильно зависят от организации сбора/поставок. В связи со стремлением запускать установки на постоянной основе, вместимость хранилища и, следовательно, максимальное время хранения часто будут определяться максимальным периодом времени, в течение которого отходы не будут доставляться на установку. В частности, отпускные периоды могут привести к тому, что отходы не будут доставлены в течение нескольких дней. [64, TWG 2003]

Ограниченное время выдерживания коммунальных отходов в бункере может оказать положительное влияние на однородность отходов. Подача только что поступивших отходов может вызвать колебания процесса. [74, TWG 2004]

Если различные источники и типы отходов принимаются и вводятся в печь для соответствия определенному «меню» ввода (например, установки для опасных отходов), могут быть полезны более длительные сроки хранения конкретных веществ, в некоторых случаях даже несколько месяцев. Это позволяет медленно вводить в систему труднообрабатываемые отходы при наличии достаточного количества совместимых материалов. Такая практика приемлема, когда эти конкретные вещества хранятся при условии наличия системы надлежащего управления рисками порчи вещества и контейнера.

Воздействие на различные компоненты окружающей среды

Не сообщается.

Технические соображения, касающиеся применимости

Технология, в целом, применима.

Экономические аспекты

Информация не предоставлена.

Мотивы внедрения

Стабильная работа завода.

Примеры

Широко применяется по всей Европе.

Справочная литература

[122, COM 2006].

4.2.2.3 Отбор воздуха из хранилищ для контроля запаха, пыли и диффузных выбросов

Описание

Рассматриваемые технологии:

- отбор воздуха из мест хранения отходов и его использование в качестве первичного и вторичного воздуха для сжигания;
- ограничение количества хранящихся отходов, когда установка для сжигания не эксплуатируется;
- использование альтернативного метода для очистки выбросов из зоны хранения, когда мусоросжигательный завод не эксплуатируется.

Техническое описание

Подача воздуха (первичного или вторичного) в мусоросжигатель может осуществляться из мест хранения отходов (или химикатов). За счет ограждения участков хранения отходов и ограничения размера входов в участки хранения отходов вся область хранения отходов может поддерживаться при небольшом давлении ниже атмосферного. Это снижает риск выделения запахов и гарантирует, что пахучие вещества разрушаются в мусоросжигательной установке, а не выделяются.

Также допустимо проветривать хранилище сырья и направлять воздух либо в камеру сжигания, либо в оборудование для очистки дымовых газов, в зависимости от характера извлекаемого воздуха.

Основные применяемые технологии показаны в таблице 4.4.

Таблица 4.4: Основные технологии снижения диффузных выбросов в атмосферу, выделения запахов и выбросов ПГ (парниковых газов)

Технология	Применение
Воздух для сжигания поступает закрытых помещениях в которых хранятся твердые отходы	• Коммунальные отходы • Крупногабаритные твердые и вязкие опасные отходы • RDF-топливо • Осадки сточных вод • Медицинские отходы • Другие пахучие отходы
Вентиляционная труба от резервуара для подачи воздуха для сжигания	• Пахучие и летучие опасные отходы, например, отходы растворителя • Пахучие шламы, например, осадки сточных вод • Другие пахучие или летучие отходы
Источник: [2, InfoMil 2002] стр 150, [1, UBA 2001] стр 36, [40, EURITS 2003], [7, TWG 2017]	

Экологические преимущества

Снижение диффузных выбросов (например, запах, пыль, CH₄).

Экологические показатели и эксплуатационные данные

Типичные потребности в воздухе для процессов сжигания отходов составляют 3 000–10 000 м³/т переработанных отходов, в основном в зависимости от НТС.

Если входные отверстия для воздуха (например, дверные проемы) в места хранения отходов меньше (с точки зрения их общей площади поперечного сечения), скорость входа воздуха через эти входные отверстия будет выше, и, следовательно, риск диффузных выбросов через эти пути будет ниже.

Необходимо соблюдать осторожность при отборе воздуха из зон хранения опасных отходов (особенно легковоспламеняющихся/летучих веществ), чтобы избежать риска взрыва.

В случае пожара в бункере воздушные каналы должны быть автоматически закрыты, чтобы не допустить распространения огня из бункера в помещение где проходит сжигание.

Эта технология используется там, где существует риск распространения запаха или выброса других

веществ из зон хранения.

Использование этой технологии на заводах, где хранятся летучие растворители, может значительно снизить выбросы ЛОС.

Воздействие на различные компоненты окружающей среды

Альтернативные меры обработки и очистки воздуха (например, для устранения запаха, ЛОС или других веществ в зависимости от типа отходов) могут потребоваться при остановке мусоросжигателя. Даже для процессов с несколькими линиями, когда обычно в любой конкретный момент времени работает по меньшей мере одна линия, можно использовать альтернативную обработку и очистку воздуха, поскольку возможно, что все линии установки сжигания отходов должны одновременно прекратить свою работу (например, в случае аварий, обслуживания одной линии и одновременного выхода из строя другой линии, прекращения обслуживания, когда отходы уже доставлены на установку). [74, TWG 2004]

Технические соображения, касающиеся применимости

Ограничение количества отходов, когда установка для сжигания не работает, может быть неприменимо во время незапланированных отключений.

В случае риска взрыва может быть предпочтительнее направлять воздух, извлеченный из зоны хранения, в отдельную систему очистки, а не использовать его в качестве воздуха для сжигания в мусоросжигателе.

Экономические аспекты

Дополнительные расходы на воздуховоды при модернизации.

Предоставление вспомогательной системы для периодов, когда мусоросжигательный завод не эксплуатируется, влечет за собой дополнительные расходы на эту систему.

Мотивы внедрения

- Контроль диффузных выбросов, включая запахи.
- Близость к чувствительным к запахам объектам воздействия.

Примеры

Технология широко используется на мусоросжигательных заводах по всей Европе. В Германии порядка 60 заводов по сжиганию ТКО имеют многолетний опыт применения этой технологии.

Справочная литература

[2, InfoMil 2002] p 150, [1, UBA 2001] p 36, [40, EURITS 2003], [64, TWG 2003], [7, TWG 2017]

4.2.2.4 Разделение видов отходов для безопасной обработки

Описание

Раздельное хранение отходов в зависимости от их химических и физических характеристик для обеспечения более простого и экологически безопасного хранения и обработки.

Техническое описание

Процедуры приема и хранения отходов зависят от химических и физических характеристик отходов. Соответствующая оценка отходов является важным элементом при выборе операций хранения и ввода отходов.

Данная технология тесно связана с проверкой, отбором проб и оценкой поступающих отходов, описанных в разделе 4.2.1.4.

Применяемые методы разделения отходов различаются в зависимости от типа отходов, поступивших на завод, способности завода обрабатывать эти отходы и наличия конкретных альтернативных способов обработки или предварительной обработки при сжигании. В некоторых случаях, особенно для определенных реактивных смесей опасных отходов, разделение отходов необходимо, когда материалы упакованы на производственной площадке, чтобы их можно было безопасно упаковывать, транспортировать, выгружать, хранить и обрабатывать. В этих случаях разделение на мусоросжигательной установке связано с продолжением отдельного хранения этих

материалов, чтобы избежать образования опасных смесей. [64, TWG 2003]

Таблица 4.5: Некоторые технологии разделения, применяемые к различным типам отходов

Тип отходов	Технологии разделения
Смешанные коммунальные отходы	- Разделение отходов обычно не применяется, если не получены различные потоки отходов. - Крупногабаритные предметы, требующие предварительной обработки, могут быть отделены - Зоны аварийной сегрегации для забракованных отходов - Для облегчения измельчения и предотвращения закупорки при сжигании в установках с псевдоожиженным слоем может потребоваться предварительное удаление металлов.
Предварительно обработанные коммунальные отходы и RDF-топливо	- Разделение отходов обычно не применяется - Зоны аварийной сегрегации для забракованных отходов
Опасные отходы	- Обширные процедуры, необходимые для разделения химически несовместимых материалов; примеры включают в себя: - вода из фосфидов - вода из изоцианатов - вода из щелочных металлов - цианид из кислот - легковоспламеняющиеся материалы от окислителей - Поддерживать отдельное хранение предварительно раздельно упакованных поступивших отходов
Осадки сточных вод	- Отходы, как правило, хорошо перемешиваются перед поступлением на завод - Некоторые промышленные потоки могут поставляться отдельно и требуют разделения для последующего смешивания
Медицинские отходы	- Содержание влаги и теплота сжигания могут сильно различаться в зависимости от источника - Разделение разных контейнеров для обеспечения надлежащего хранения и контролируемой подачи
Источник: [2, InfoMil 2002] p 150, [1, UBA 2001] p 36, [40, EURITS, 2003] [64, TWG 2003]	

Экологические преимущества

Разделение несовместимых отходов снижает риск выбросов за счет:

- снижения риска несчастных случаев (которые могут привести к выбросам, влияющим на окружающую среду и/или здоровье и безопасность);
- обеспечения сбалансированной подачи материалов, что позволяет избежать перегрузок и сбоев в работе системы и тем самым предотвратить остановку установки.

Экологические показатели и эксплуатационные данные

Во Франции хранение чистых контейнеров для медицинских отходов в отдельном помещении от грязных предусмотрено законодательством.

Воздействие на различные компоненты окружающей среды

Ни одно не идентифицировано.

Технические соображения, касающиеся применимости

Технология, в целом, применима.

Экономические аспекты

Информация не предоставлена.

Мотивы внедрения

Технология применяется для контроля опасностей, которые могут возникнуть в результате смешивания несовместимых материалов, и для защиты установки путем обеспечения того, что поступающие отходы попадали в предусмотренный для мусоросжигательной установки диапазон.

Примеры

Информация не предоставлена.

Справочная литература

[64, TWG 2003]

4.2.2.5 Использование систем обнаружения и предотвращения пожара

Описание

Рассматриваемые технологии:

- использование автоматической системы обнаружения и оповещения о пожаре;
- использование ручного и/или автоматического противопожарного вмешательства и системы управления.

Техническое описание

Автоматические системы обнаружения и оповещения о пожаре используются в местах хранения отходов, а также для рукавных и коксовых фильтров с неподвижным слоем, в помещениях с электротехническим оборудованием и пунктах управления, а также в других выявленных зонах риска.

Непрерывное автоматическое измерение температуры осуществляется на поверхности отходов, хранящихся в бункерах. Изменения температуры могут быть использованы для запуска звуковой сигнализации.

Эффективной мерой обнаружения пожара может быть дополнительный визуальный контроль со стороны операторов. [74, TWG 2004]

В некоторых случаях применяются автоматические системы пожаротушения и контроля, чаще всего при хранении легковоспламеняющихся жидких отходов, но также и в других зонах риска.

Системы пенного пожаротушения и регулирования содержания углекислого газа используются при хранении легковоспламеняющихся жидкостей. Пенные огнетушители обычно используются на заводах по сжиганию ТКО в бункере для хранения отходов. Также используются системы распыления воды с мониторами, водяные пушки с возможностью использования воды или пены и системы порошкового пожаротушения. В коксовых фильтрах с неподвижным слоем, рукавных фильтрах, резервуарных парках или для предварительной обработки и загрузки в печь опасных отходов может быть использован защитный азотный слой. [74, TWG 2004]

Есть и другие защитные устройства, такие как:

- форсунки над загрузочными воронками;
- огнеупорные стены для разделения трансформаторов и удерживающие устройства под трансформаторами;
- детекторы газа над газораспределительным модулем.

При использовании аммиака требуется соблюдение особых мер безопасности: устройства обнаружения NH_3 и устройства для распыления воды для поглощения выбросов. [74, TWG 2004]

Использование азотного защитного слоя требует наличия эффективных рабочих процедур и защитной оболочки, чтобы избежать воздействия на оператора. Удушье может возникнуть как внутри закрытых помещений, так и внутри.

Экологические преимущества

Снижение риска случайных диффузных выбросов от пожаров и взрывов.

Экологические характеристики и эксплуатационные данные

Для предотвращения неконтролируемого сброса загрязненной воды/химикатов для пожаротушения необходимы системы локализации и предотвращения распространения.

Воздействие на различные компоненты окружающей среды

Использование азота для создание защитного слоя.

Технические соображения, касающиеся применимости

Технология, в целом, применима.

Экономические аспекты

Затраты на монтаж и техническое обслуживание и, если используется, на азот.

Предотвращение ущерба от пожара может привести к значительной экономии. Применение мер пожарной безопасности может снизить страховые взносы.

Мотивы внедрения

Требования и нормы безопасности.

Примеры

Множество заводов в Европе.

Справочная литература

[40, EURITS, 2003], [64, TWG 2003], [74, TWG 2004].

4.2.3 Предварительная обработка поступающих отходов, транспортировка и загрузка отходов

4.2.3.1 Предварительная обработка, гомогенизация и смешивание отходов

Описание

Рассматриваемые технологии:

- смешивание поступающих ТКО;
- предварительная обработка гетерогенных отходов;
- система контроля за равномерной подачей твердых опасных отходов.

Техническое описание

Технологии, используемые для предварительной обработки и смешивания отходов, широко распространены и могут включать в себя:

- смешивание жидких или твердых опасных отходов в соответствии с требованиями к поступающим отходам установки;
- измельчение, дробление и резку упакованных отходов и крупногабаритных горючих отходов;
- смешивание отходов в бункере с помощью грейфера или другой машины;

Смешивание отходов может способствовать улучшению системы подачи отходов в установку и повышения эффективности процесса сжигания. Смешивание опасных отходов с другими отходами или продуктами перед сжиганием проводится с целью стабилизации подачи отходов и условий процесса, увеличения выгорания, улучшения безопасного удаления остатков и повышения качества фракций восстановленных отходов [90 Eurits 2016]. Смешивание опасных отходов может повлечь за собой риски. Смешивание разных видов отходов может осуществляться по предписанной инструкции [74, TWG 2004]

В любом случае, смешивание отходов перед сжиганием не должно приводить к разбавлению

опасных компонентов, которые изначально присутствовали в концентрациях неприемлемых для возможных пределов установки [90 Eurits 2016].

Можно извлечь преимущество из степени смешивания твердых гетерогенных отходов (например, коммунальных и упакованных опасных отходов) в бункере перед загрузкой в системы подачи.

Смешивание в бункерах включает смешивание отходов с использованием бункерных кранов в самом бункере-хранилище. Операторы кранов могут идентифицировать потенциально проблемные грузы (например, упакованные отходы, отдельные предметы, которые не могут быть смешаны или могут вызвать проблемы с загрузкой/подачей) и обеспечить их удаление, измельчение или непосредственное смешивание (при необходимости) с другими отходами. Данная технология обычно применяется на муниципальных и других мусоросжигательных заводах, где партии груза доставляются для предварительного сжигания в обычном бункере. Грузоподъемность крана должна быть спроектирована таким образом, чтобы его было достаточно для перемешивания и загрузки с подходящей скоростью. Обычно используются два крана, каждый из которых способен обеспечить смешивание и подачу для всех линий сжигания.

Когда вместе с ТКО сжигаются другие отходы, то для них может потребоваться специальная предварительная обработка. Медицинские отходы могут доставляться в специальной упаковке, в то время как осадок сточных вод, если не в относительно небольшой пропорции, может потребовать предварительной частичной или полной сушки и, как правило, специальной системы подачи, например, в загрузочном бункере, в загрузочном желобе, непосредственно в печи через боковую стенку или над механизмом подачи. [74, TWG 2004]

Эквалайзер (система равномерной загрузки) подачи твердых опасных отходов состоит из двух винтовых конвейеров, способных измельчать и подавать твердые отходы, и загрузочного бункера для приема различных типов отходов. Твердые сыпучие отходы поступают в загрузочный бункер с помощью грейферного крана через горизонтальные загрузочные ворота. Подающие заслонки обычно закрыты для предотвращения утечки газа в окружающую атмосферу.

В нижней части загрузочного бункера расположены два винта подачи с гидравлическим приводом, которые непрерывно подают отходы в загрузочный желоб через противопожарные двери. Противопожарные двери предотвращают возникновение пожара в загрузочном бункере.

Загрузочный бункер оснащен измерителями уровня для верхнего и нижнего пределов заполнения бункера. На верхнем пределе это обеспечивает сигнал для прекращения подачи в бункер, в то время как сигнал нижнего предела замедляет работу винтов, таким образом, в буферной зоне бункера всегда остается некоторое количество отходов в качестве барьера между винтом и загрузочным бункером.

Таким образом, загрузочный бункер работает как буферная зона, предотвращая:

- утечку азота в печь; а также
- возникновение пожара в загрузочных бункерах.

Бочки могут подаваться через переднюю стенку ротационной печи без загрузочной воронки.

Экологические преимущества

Сгораемость отходов повышается за счет того, что они становятся более однородными, что снижает и стабилизирует выбросы из печи и приводит к более устойчивому образованию пара/горячей воды в котлах. Хотя большая однородность обычно улучшает «плавность» операции, степень очистки, подходящая для данного типа отходов, зависит от характеристики отходов и конструкции принимающей установки (т.е. приводит или приведет ли степень неоднородности отходов к конкретной проблеме или трудностям в установке, и даст ли использование дополнительной предварительной обработки достаточную выгоду, превышающую воздействие на различные компоненты окружающей среды и затраты?).

Подача однородных отходов приводит к более равномерному составу неочищенных дымовых газов, что может обеспечить лучшую оптимизацию процесса очистки дымовых газов.

Экологические показатели и эксплуатационные данные

При разработке таких систем и процедур требуется рассмотрение безопасности операций по смешиванию и дроблению отходов. Это особенно касается легковоспламеняющихся, токсичных, пахучих и инфицированных отходов, упакованных в бочки. Покрытие защитным азотным слоем и воздушные шлюзы для оборудования для предварительной обработки эффективно снижают риски.

На заводах по механической сортировке и смешиванию значительный риск представляют пожары и взрывы. Однако смешивание ТКО в бункере обычно не вызывает какого-либо особого риска. [74, TWG 2004]

На заводе «RMVA» Кёльн, Германия, отходы принимаются в разных фракциях и специально подготавливаются перед сжиганием. Соответствующее дробление и удаление ценных материалов (прежде всего металла) и объединение отдельных фракций с помощью конвейеров позволяет генерировать стандартизированное, гомогенное топливо.

Воздействие на различные компоненты окружающей среды

Потребление энергии и запахи, шум и выбросы пыли от работы оборудования для предварительной обработки могут широко варьироваться в зависимости от характеристики отходов, используемой технологии и желаемого качества подачи.

Технические соображения, касающиеся применимости

Технология, в целом, применима.

Экономические аспекты

Расходы значительно варьируются в зависимости от характеристики отходов, используемой технологии и желаемого качества подачи.

Стоимость разделения смешанных отходов может быть значительной. Затраты будут ниже, если уже применяются эффективные системы разделения перед поступлением, возможно, в сочетании с некоторой простой предварительной обработкой, а это означает, что на установке сжигания выполняются непосредственно хранение и смешивание отходов.

Преимущества существенной предварительной обработки, скорее всего, будут реализованы на новых заводах, которые могут спроектировать установку для сжигания отходов, подвергшихся предварительной обработке.

На существующих установках, которые были специально сконструированы для обеспечения универсальности относительно перерабатываемого сырья и которые уже способны достигать хороших уровней производительности, все еще можно увидеть преимущества простой предварительной обработки. Однако внедрение технологий предварительной обработки, которые фактически требуют масштабных изменений в цепочке сбора и предварительной очистки отходов перед поступлением на установку сжигания, вероятно, потребует очень значительных инвестиций в инфраструктуру и логистику. Такие решения, вероятно, выходят за рамки одной установки и требуют общего рассмотрения всей цепочки управления отходами в регионе, из которого поступают отходы.

Мотивы внедрения

Более однородный состав сжигаемых отходов обеспечивает стабильность и оптимизацию процесса, улучшение условий сжигания. В связи с чем выбросы от установки могут быть уменьшены или более тщательно контролироваться.

При определении степени необходимой предварительной обработки важно установить взаимосвязь с местной стратегией обращения с отходами.

Примеры

Все УСТКО в Европе смешивают ТКО в бункере. Многочисленные заводы оснащены ножницами, shreddерами или дробилками для крупногабаритных материалов, например, Тулон (FR).

Сушка осадка сточных вод перед его смешиванием с коммунальными отходами проводится на некоторых заводах в Европе, например, в Ницце-Ариане (FR). Она также выполняется без последующего смешивания, в случае, когда ОСВ подается в загрузочный желоб с ТКО, например,

Тиверваль-Гриньон (FR), Туманд (BE) и отдельно подается в печь, например, Монако, Бордо Сенон (FR). [74, TWG 2004]

Система равномерной подачи используется в Екокем в Рийхимяки (FI), в Sakab в Кумле (SE) и в A.V.R.-Chemie в Роттердаме (NL).

Справочная литература

[40, EURITS, 2003], [64, TWG 2003] [90 Eurits 2016], [20, ЕКОКЕМ, 2002]

4.2.3.2 Прямой впрыск жидких и газообразных отходов

Описание

Подача жидких и газообразных отходов непосредственно в печь.

Техническое описание

Для предотвращения диффузных выбросов и безопасной обработки, жидкие, вязкие и газообразные отходы подают непосредственно в печь через несколько прямых линий подачи. В 2002 году почти 8,5% от общего объема сжигания отходов в ротационных печах составляли жидкие отходы, перерабатываемые на линиях прямого впрыска [122 COM 2006]. Каждая ротационная печь имеет несколько прямых линий подачи.

Как правило, операция прямого впрыска выполняется путем подключения контейнера для отходов и линии подачи и создания давления в контейнере с помощью азота или, в случае достаточно низкой вязкости, путем опустошения контейнера с помощью насосов. Таким образом, жидкие отходы поступают в технологическую линию. В зависимости от теплоты сжигания жидких отходов, они впрыскиваются либо в переднюю часть ротационной печи, либо в камеру дожигания. После обработки линию можно продуть азотом, топливом, отработанным маслом или паром.

Используются многоцелевые и/или специальные инжекционные линии, в значительной степени зависящие от веществ, подлежащих сжиганию.

Экологические преимущества

Предотвращение диффузных выбросов связано с тем, что отходы поступают по полностью закрытой системе.

Экологические показатели и эксплуатационные данные

В зависимости от характеристик жидких отходов для линий подачи требуются соответствующие материалы/футеровки, а для высоковязких жидкостей необходим предварительный нагрев.

Диапазон производительности подачи зависит от факторов процесса сжигания (например, теплоемкости и производительности систем очистки дымовых газов), но может варьироваться от 50 кг/час до 1500 кг/час.

Впрыск может быть произведен через специальную фурму или мультитопливную горелку.

Воздействие на различные компоненты окружающей среды

Использование азота и пара.

Технические соображения, касающиеся применимости

Технология, в целом, применима.

Экономические аспекты

Средняя инвестиционная цена за выделенную линию составляет 100 000–200 000 евро.

Мотивы внедрения

Движущей силой является необходимость безопасной подачи токсичных, пахучих, реактивных и едких жидкостей и газов.

Примеры

Indaver, завод в Антверпене (BE), HIM, завод в Бибесхайме (DE) и GSB, завод в Эбенхаузене (DE).

Справочная литература

[64, TWG 2003]

4.3 Термическая обработка

Используемый процесс термической обработки различается в зависимости от физико-химических характеристик сжигаемых отходов.

В приведенной ниже таблице 4.6 приводится сравнение основных применяемых технологий термической обработки и факторов, влияющих на их применимость и эксплуатационную пригодность. Важно отметить, что, несмотря на применение в этом секторе, степень использования перечисленных технологий различается, как и характеристика отходов, для сжигания которых они были успешно применены.

Таблица 4.6: Сравнение технологий сжигания и термической обработки и факторов, влияющих на их применимость и эксплуатационную пригодность

Процесс	Основные характеристики отходов и их пригодность	Пропускная способность на линию	Операционная/экологическая информация		Качество зольного остатка	Объем дымовых газов	Информация о стоимости
			Преимущества	Недостатки/ограничения использования			
Движущаяся колосниковая решетка с воздушным охлаждением	- Низкие и средние значения НТС 5–16,5 ГДж/т - Коммунальные и другие неоднородные твердые отходы - Может принимать часть осадков сточных вод и/или медицинских отходов вместе с коммунальными отходами - Применяется в большинстве современных установок по переработке ТКО	1–50 т/ч (в основном 5–30 т/ч). Большинство промышленных применений не ниже 2,5 т/ч или 3 т/ч.	- В значительной степени зарекомендовала себя в больших масштабах - Надежность – низкие эксплуатационные расходы - Продолжительный опыт использования - Может принимать гетерогенные отходы без специальной подготовки	Обычно не подходит для порошков, жидкостей или материалов, которые плавятся через решетку	Общее содержание органического углерода (ООУ) 0,5–3 %	4 000–7 000 Нм ³ /т отходов. Зависит от НТС. Обычно 5 200 Нм ³ т.	Высокая производительность снижает удельную стоимость за тонну отходов
Подвижная колосниковая решетка с жидкостным охлаждением	Те же, что и у решеток с воздушным охлаждением, за исключением: НТС 10–20 ГДж/т	1–50 т/ч (в основном 5–30 т/ч). Большинство промышленных применений не ниже 2,5 т/ч или 3 т/ч	Те же, что у решеток с воздушным охлаждением, но: - более высокая теплота сжигания при переработке отходов - возможно лучшее управление сжиганием	Те же, что у решеток с воздушным охлаждением, но: - риск утечки - повышенная сложность	ООУ 0,5–3 %	4 000–7 000 Нм ³ /т отходов. Зависит от НТС. Обычно 5 200 Нм ³ /т.	Немного выше капитальные затраты, чем у решеток с воздушным охлаждением
Колосниковая решетка плюс ротационная печь	Те же, что у других решеток, кроме: - может принимать очень разнородные отходы и при этом достигать эффективного выгорания - не широко используется	1–10 т/ч	Возможно улучшенное выгорание зольного остатка	- Пропускная способность ниже, чем только решетка - Обслуживание ротационной печи	ООУ 0,5–3 %	4 000–7 000 Нм ³ /т отходов. Зависит от НТС. Обычно 5 200 Нм ³ /т.	Более высокие капитальные и доходные затраты

Процесс	Основные характеристики отходов и их пригодность	Пропускная способность на линию	Операционная/экологическая информация		Качество зольного остатка	Объем дымовых газов	Информация о стоимости
			Преимущества	Недостатки/ограничения использования			
Статическая колосниковая решетка с механизмом транспортировки и золы/отходов	- Коммунальные отходы требуют предварительного разделения или измельчения - Меньше проблем с порошками и т.д., чем у движущихся решеток	Обычно низкая < 1 т/ч	Неприхотлива в обслуживании – нет движущихся частей	- Только для выбранных/предварительно обработанных отходов - Низкая пропускная способность - Некоторые статические решетки требуют вспомогательного топлива	< 3 % с подготовленными отходами	Немного ниже, чем у других решетчатых систем, где используется поэтапное сжигание (выше, если используется вспомогательное топливо)	Конкурентоспособна с движущимися решетками при малых объемах (<100 тыс. тонн/год)
Ротационная печь	- Может принимать жидкости и пасты, а также газы - Подача твердых веществ более ограничена, чем решетка (из-за огнеупорных повреждений) - Часто применяется к опасным отходам	< 16 т/ч	- Очень хорошо себя зарекомендовала - Широкий спектр отходов - Хорошее выгорание – даже опасных отходов	Пропускная способность ниже, чем с решетками	ООУ < 3 %	6 000–10 000 м³/т поступающих отходов	Более высокая удельная стоимость за счет уменьшения емкости
Ротационная печь (охлаждающая рубашка)	Те же, что у ротационной печи, но: возможно более высокая теплота сжигания вследствие большей температурной устойчивости	< 10 т/ч	- Очень хорошо себя зарекомендовала - Может использовать более высокие температуры сжигания (если требуется) - Лучшая стойкость огнеупора, чем у неохлаждаемой печи	Пропускная способность ниже, чем с решетками	Витрифицированный шлак с низким выщелачиванием	6 000–10 000 м³/т поступающих отходов	Более высокая удельная стоимость за счет уменьшения емкости
Кипящий слой –	Широкий диапазон	До 25 т/ч	Хорошее	Требуется	ООУ < 1 %	Относительно	Стоимость

Процесс	Основные характеристики отходов и их пригодность	Пропускная способность на линию	Операционная/экологическая информация		Качество зольного остатка	Объем дымовых газов	Информация о стоимости
			Преимущества	Недостатки/ограничения использования			
пузырьковый	теплоты сжигания (5–25 МДж/кг) - Только тонкоизмельченные последовательные отходы. Ограниченное использование для необработанных ТКО - Часто применяется для шламов, совместно с RDF-топливом, измельченных ТКО, шламов, птичьего помета		смешивание Летучая зола хорошего качества выщелачивания	осторожная работа, чтобы избежать засорения слоя Образуется больше летучей золы		ниже, чем у решеток	очистки дымовых газов может быть ниже. Затраты на подготовку отходов.
Кипящий слой – ротационный	- Широкий диапазон теплоты сжигания (7–18 МДж/кг) - Крупно измельченные ТКО могут быть обработаны - Комбинированное сжигание осадка	3–22 т/ч	- Хорошее перемешивание/высокая турбулентность - Широкий диапазон НТС - Сильное выгорание, сухой зольный остаток	- Требуется измельчение ТКО - Более высокое количество летучей золы, чем у решеток	ООУ < 3 %, часто 0.5–1 %	4 000–6 000 Нм³/т	Затраты на подготовку отходов.
Кипящий слой – циркулирующий	- Широкий диапазон теплоты сжигания (6–25 МДж/кг) - Только тонкоизмельченные последовательные отходы. Ограниченное использование для необработанных ТКО - Часто применяется для шламов, совместно с RDF-топливом, углем, древесными отходами.	До 70 т/ч	- Хорошее смешивание - Высокие параметры пара до 500°C легко достижимы с помощью теплообменников в материале слоя - Большая топливная гибкость, чем у пузырькового кипящего слоя - Летучая зола	- Циклон, необходимый для сохранения материала слоя - Более высокие количества летучей золы	ООУ < 1 %	Относительно ниже, чем решетки	Стоимость очистки дымовых газов может быть ниже. Затраты на подготовку отходов.

Процесс	Основные характеристики отходов и их пригодность	Пропускная способность на линию	Операционная/экологическая информация		Качество зольного остатка	Объем дымовых газов	Информация о стоимости
			Преимущества	Недостатки/ограничения использования			
			хорошего качества выщелачивания				
Статическая печь	Опасные жидкие и газообразные отходы	До 10 т/ч	- Возможна высокая температура (до 1 100°C) - Хорошее выгорание жидких и газообразных отходов	Подходит только для жидких и газообразных отходов	Нет данных	В зависимости от теплоты сжигания и до 10 000 м³/ч	Нет данных
Печь с возвратно-поступательным перемещением	- ТКО - Гетерогенные отходы	1–10 т/ч	- Надежность – низкие эксплуатационные расходы - Продолжительный опыт использования - Низкий уровень NO_x - Низкие ППП зольного остатка	- Более высокие тепловые потери, чем в решетчатой печи - НТС до 15 г/т	ООУ 0.5–3 %	Нет данных	Аналогично другим технологиям
Импульсный под	- Только отходы с более высокой теплотой сжигания (НТС > 20 ГДж/т) - В основном используется для медицинских отходов	< 7 т/ч	Может справиться с жидкостями и порошками	Смешивание слоя может быть ниже	В зависимости от типа отходов	Нет данных	Более высокая удельная стоимость за счет уменьшения производительности
Ступенчатые и статические поды	- Только отходы с более высокой теплотой сжигания (НТС > 20 ГДж/т) - В основном используется для медицинских отходов	Нет данных	Может справиться с жидкостями и порошками	Смешивание слоя может быть ниже	В зависимости от типа отходов	Нет данных	Более высокая удельная стоимость за счет уменьшения производительности

Процесс	Основные характеристики отходов и их пригодность	Пропускная способность на линию	Операционная/экологическая информация		Качество зольного остатка	Объем дымовых газов	Информация о стоимости
			Преимущества	Недостатки/ограничения использования			
Слоевая топка с забрасыванием топлива равномерно по поверхности решётки	• RDF-топливо и другие частицы сырья • Птичий помет • Древесные отходы	Нет данных	• Простая конструкция решетки • Менее чувствителен к размеру частиц, чем кипящий слой	• Только для четко определенных монопоток	Нет данных	Нет данных	Нет данных
Газификация – неподвижный слой	• Смешанные пластиковые отходы • Другие аналогичные последовательные потоки • Газификация менее широко используется/доказана, чем сжигание	До 20 т/ч	• Низкий остаток выщелачивания • Хорошее выгорание при продувке кислородом • Доступен синтез-газ • Снижение окисления перерабатываемых металлов	• Ограниченная подача отходов • Неполное сжигание • Высокий уровень квалификации • Смола в неочищенном газе • Менее широко доказано	• Низко выщелачиваемый зольный остаток • Хорошее выгорание с кислородом	Ниже, чем при прямом сжигании	Высокие операционные/эксплуатационные расходы
Газификация – перемешающийся поток	• Смешанные пластиковые отходы • Другие аналогичные последовательные потоки • Не подходит для необработанных ТКО • Газификация менее широко используется/доказана, чем сжигание	До 10 т/ч	• Низко выщелачиваемый шлак • Снижение окисления перерабатываемых металлов	• Ограниченная подача отходов • Неполное сжигание • Высокий уровень квалификации • Менее широко доказано	• Низко выщелачиваемый шлак	Ниже, чем при прямом сжигании	Высокие операционные/эксплуатационные расходы Высокие затраты на предварительную обработку
Газификация – кипящий слой	• Смешанные пластиковые отходы • Измельченные ТКО • Остатки шредера • Шламы • Металлосодержащие отходы	5–20 т/ч	• Может использовать низкие температуры реактора, например, для восстановления Al • Разделение основных негорючих	• Ограниченный размер отходов (< 30 см) • Смола в неочищенном газе • Полезная теплота неочищенного газа	• В сочетании с плавлением золы зола в камере превращает	Ниже, чем при прямом сжигании	Ниже, чем у других газификаторов

Процесс	Основные характеристики отходов и их пригодность	Пропускная способность на линию	Операционная/экологическая информация		Качество зольного остатка	Объем дымовых газов	Информация о стоимости
			Преимущества	Недостатки/ограничения использования			
	- Другие аналогичные последовательные потоки - Газификация менее широко используется/доказана, чем сжигание		- Может эффективно сочетаться с плавлением золы - Снижение окисления перерабатываемых металлов	- выше - Менее широко доказано	- ся в стекло - Без камеры плавления золы: нет - доступной информации		
Пиролиз – короткая бочка	- Предварительно обработанные ТКО - Высокие металлические инертные потоки - Остатки шредера/пластмассы - Пиролиз менее широко используется/доказан, чем сжигание	~ 5 т/ч	- Нет окисления металлов - Нет энергии сжигания для металлов/инертных газов - Возможна нейтрализация кислотой в реакторе - Доступен синтез-газ	- Ограниченные отходы - Управление процессом и инженерно-критические - Высокий уровень квалификации - Не широко доказано - Нужен рынок для синтез-газа	- Зависит от температуры процесс - Полученный остаток требует дальнейшей переработки, и иногда сжигания	Очень низкий из-за низкого избытка воздуха, необходимого сжигания газа	Высокие затраты на предварительную обработку, эксплуатационные и капитальные затраты
Пиролиз – средняя бочка		5–10 т/ч					

Источник: [24, CEFIC, 2002] [2, InfoMil 2002] [10, Juniper 1997] [8, Energos, 2002] [1, UBA 2001] [64, TWG 2003]

4.3.1 Использование моделирования потоков

Описание

Использование моделирования потоков

Техническое описание

Для исследования влияния особенностей проектирования могут использоваться физические и/или компьютерные модели. Исследуются различные параметры, в том числе скорости газа и температуры внутри печи и котла. С целью повышения эффективности систем очистки дымовых газов также может быть изучена газодинамика потока, например, в установках селективного каталитического восстановления (СКВ).

Компьютеризированная гидродинамика (КГД) – это пример инструмента моделирования, который используется для прогнозирования газодинамики потока. Использование таких технологий может помочь в выборе конструкции, которая позволит оптимизировать потоки газа, с тем чтобы стимулировать эффективные условия сжигания и избегать длительного времени пребывания газа в температурных зонах, которые могут увеличить риски образования ПХДД/Ф. Применение технологии к проектированию систем очистки дымовых газов используется для повышения производительности, например, путем обеспечения равномерного потока через сетку катализатора селективного каталитического восстановления.

Моделирование было успешно использовано как на новых, так и на существующих мусоросжигательных заводах, чтобы:

- оптимизировать геометрию печи и котла;
- оптимизировать расположение вторичного и/или воздуха рециркуляция дымовых газов (если используется);
- оптимизировать точки ввода реагента для уменьшения селективного некаталитического восстановления NO_x (СНКВ);
- оптимизировать поток газа через установки селективного каталитического восстановления.

Экологические преимущества

Оптимизация конструкции печи может улучшить характеристики сжигания и, следовательно, предотвратить образование CO , ООУ , ПХДД/Ф и/или NO_x (т.е. веществ, связанных со сжиганием). Не оказывает влияния на другие загрязнители, содержащиеся в отходах. [64, TWG 2003]

Снижение загрязнения из-за чрезмерных локальных скоростей дымовых газов с использованием КГД-моделирования может увеличить доступность установок и улучшить рекуперацию энергии с течением времени.

Еще одним преимуществом является улучшение производительности оборудования для борьбы с загрязнением.

Экологические показатели и эксплуатационные данные

Улучшение распределения потока дымовых газов вдоль котла помогает уменьшить эрозию и загрязнение, приводящее к коррозии. Технология применяется:

- в новых проектах по сжиганию отходов для оптимизации конструкции;
- на существующих установках, где существуют проблемы, связанные с сжиганием и конструкцией котла, чтобы позволить оператору изучить и определить приоритеты возможностей оптимизации;
- на существующих установках, на которых проводится модернизация топки/котла;
- на новых и существующих установках, чтобы оптимизировать расположение оборудования для рециркуляции вторичных/дымовых газов;
- в установках, устанавливающих или использующих СКВ/СНКВ, для оптимизации самой установки СКВ/СНКВ.

Воздействие на различные компоненты окружающей среды

Не сообщается.

Технические соображения, касающиеся применимости

Технология, в целом, применима к новым заводам. К существующим заводам применима исключительно при крупных модернизациях.

Экономические аспекты

В 2006 году стоимость компьютерной оптимизации в регионе составляла от 10 000 до 30 000 евро, в зависимости от объема исследования и количества необходимых прогонов модели.

Экономия на инвестициях и эксплуатационных расходах может возникнуть в результате:

- выбора альтернативных технологических решений системы снижения выбросов;
- меньших/менее сложных систем борьбы с выбросами;
- сниженного потребления ресурсов системой борьбы с выбросами.

Экономия, отмеченная выше, с меньшей вероятностью будет достигнута, если основной вопрос проектирования для выбора системы борьбы с загрязнением воздуха – это наличие тяжелых металлов или галогенов, например, заводы по переработке опасных отходов. Это связано с тем, что движущей силой при разработке системы очистки дымовых газов в этих случаях обычно является загрузка трудноизвлекаемых веществ, а не веществ, связанных с горением.

Значительные затраты могут быть связаны с модификацией конструкции печи или котла существующих установок.

Мотивы внедрения

Мотивами внедрения являются оптимизация конструкции камеры сжигания для низких концентраций неочищенных дымовых газов и возможного снижения выбросов и потребления ресурсов.

Примеры

Технология была использована:

- на этапе применения в Великобритании, чтобы продемонстрировать эффективную схему сжигания предлагаемой установки;
- чтобы оптимизировать конструкцию ступени горения на небольших муниципальных предприятиях в Норвегии;
- при выдаче разрешений и пересмотре выданных разрешений в Дании; недавними примерами использования КГД в 2017 и 2016 годах являются мусоросжигательный завод Amager Resource Center в Копенгагене и мусоросжигательный завод Norfors в Хиллерёде;
- для некоторых новых и существующих муниципальных заводов в Бельгии;
- на французских заводах: Сент-Уэн (1989), Нанси (1995), Тулуза и Сен-Жермен.

Справочная литература

[15, Segers, 2002], [16, Wilts et al. 2017], [17, ONYX, 2000], [64, TWG 2003]

4.3.2 Конструкция для увеличения турбулентности в зоне вторичного сжигания

Описание

Конструкция вторичной камеры сжигания для повышения турбулентности дымовых газов.

Техническое описание

См. также соответствующие методы в Разделах 4.3.4 (оптимизация подачи и распределения первичного и вторичного воздуха) и 4.3.6 (замена части вторичного воздуха рециркулирующим дымовым газом).

Данная технология относится к особенностям проектирования, которые увеличивают турбулентность и, следовательно, смешивание газообразных продукты сжигания в области после зоны первичного сжигания, но до или в начале основных областей рекуперации тепла, когда температура газа обычно все еще будет превышать приблизительно 850°C. После рассматриваемой здесь зоны, поскольку газообразные продукты сжигания могут проходить дальше через основные зоны рекуперации тепла (теплообменники), требуются стабильная и равномерная скорость и расход

газа для предотвращения встречного противотока и циркуляции газа, которые могут привести к проблемам теплообмена и образованию загрязняющих веществ.

В некоторых случаях специальные конфигурации зоны вторичного сжигания могут использоваться для увеличения турбулентности во вторичной камере сжигания. Примеры конструкций включают в себя:

- камеры завихрения;
- включение перегородок (требуется охлаждение);
- несколько проходов и поворотов в камере;
- тангенциальный ввод вторичного воздуха;
- расположение и размещение систем впрыска вторичного воздуха (форсунок).

Использование дополнительных физических характеристик для оптимизации смешивания в настоящее время в основном используется для сжигания опасных отходов.

Экологические преимущества

Преимущества включают оптимизацию сжигания, что приводит к снижению концентрации неочищенного газа в параметрах, связанных со сжиганием.

Данная технология может уменьшить объем необходимого вторичного воздуха и, следовательно, уменьшить общие объемы дымовых газов и образование NO_x . Эффективная турбулентность также приведет к улучшению выгорания газов сжигания с пониженными уровнями ЛОС и СО.

Экологические показатели и эксплуатационные данные

Информация не предоставлена.

Воздействие на различные компоненты окружающей среды

Ни одно не идентифицировано.

Технические соображения, касающиеся применимости

Технология, в целом, применима.

Экономические аспекты

Информация не предоставлена.

Мотивы внедрения

Информация не предоставлена.

Примеры

Опасные отходы – Cleanaway UK.

Справочная литература

[40, EURITS, 2003] [64, TWG 2003]

4.3.3 Выбор и использование подходящих систем и параметров контроля горения

Описание

Использование передовой системы контроля горения.

Техническое описание

[2, InfoMil 2002]

Для сжигания отходов различного состава необходим процесс, способный справиться со значительными изменениями условий. При возникновении неблагоприятных условий процесса требуется вмешательство в операционный контроль.

Чтобы иметь возможность контролировать процесс сжигания, требуется подробная информация о процессе, должна быть разработана усовершенствованная система управления («философия»), и необходимо иметь возможность вмешиваться в процесс. Детали используемых систем различаются

от завода к заводу. Далее представлен обзор информации о процессе, системах философии управления и вмешательствах в процессы, которые можно использовать.

Информация о процессе может включать:

- температуры колосниковой решетки для различных позиций;
- толщина слоя отходов на решетке (визуальный контроль);
- падение давления над решеткой;
- температура топки и дымовых газов в различных положениях;
- определение распределения температуры по поверхности решетки с помощью оптических или инфракрасных измерительных систем;
- измерения CO , O_2 , CO_2 и/или H_2O (в различных участках);
- данные о производстве пара (например, температура, давление);
- отверстия в стенке сжигания для визуального наблюдения персоналом или видеонаблюдением;
- протяженность и локализация огня в печи;
- данные о выбросах веществ, связанных с горением (постоянные уровни).

[74. TWG 2004]

Постоянная адаптация распределения и количества воздуха сжигания в соответствии с точными требованиями к реакции горения в отдельных зонах печи может улучшить процесс сжигания. Инфракрасная камера является примером технологии, которая используется для создания ИК-изображения горящего слоя отходов. Также используются ультразвуковые и визуальные камеры. Распределение температуры на решетке появляется на экране в виде изотермического поля, градуированного в цветовых областях.

Для последующего контроля производительности печи можно определить характерные температуры отдельных зон решетки и передать их в участок контроля производительности печи в качестве входных параметров. На рисунке 4.2 и рисунке 4.3 показан, соответственно, пример компонентов системы управления печью и ее параметрами. Используя электронную систему, контролирующую параметры и режимы работы установки, можно определить некоторые переменные (например, температуру, содержание CO , O_2) и последовательность правил для поддержания процесса в этих настройках. Кроме того, можно контролировать рециркуляцию дымовых газов и добавление третичного воздуха.

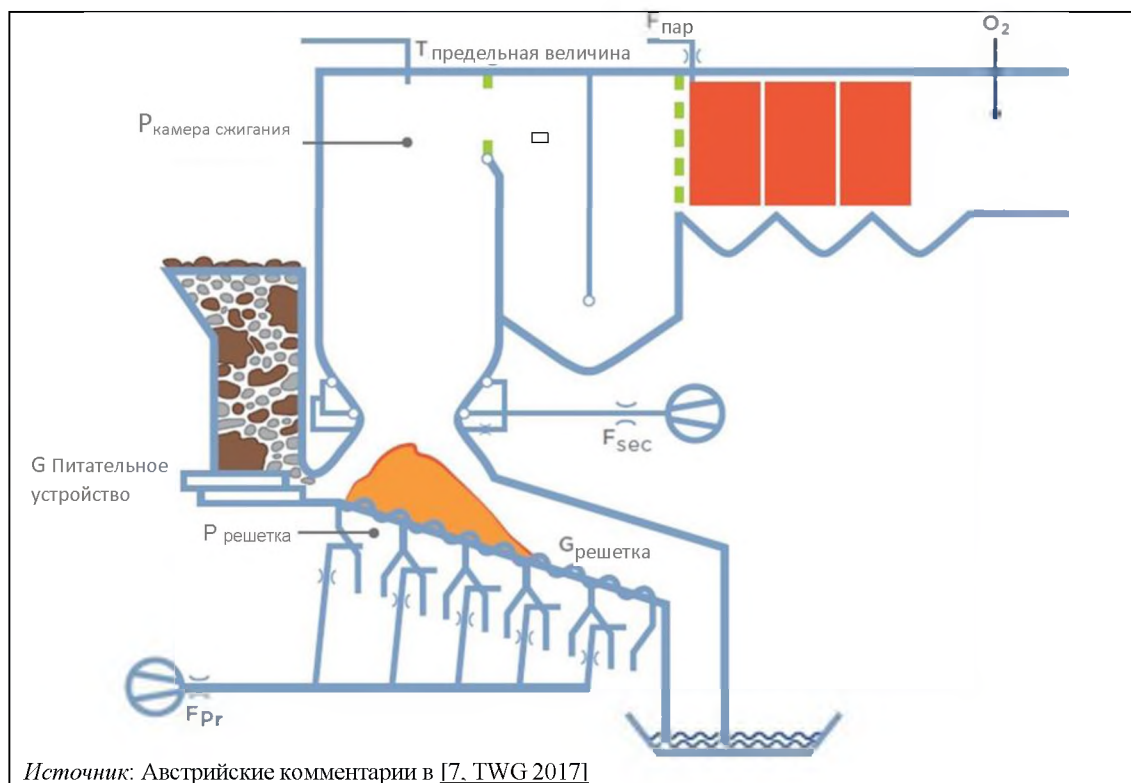


Рисунок 4.2: Пример компонентов системы управления печью

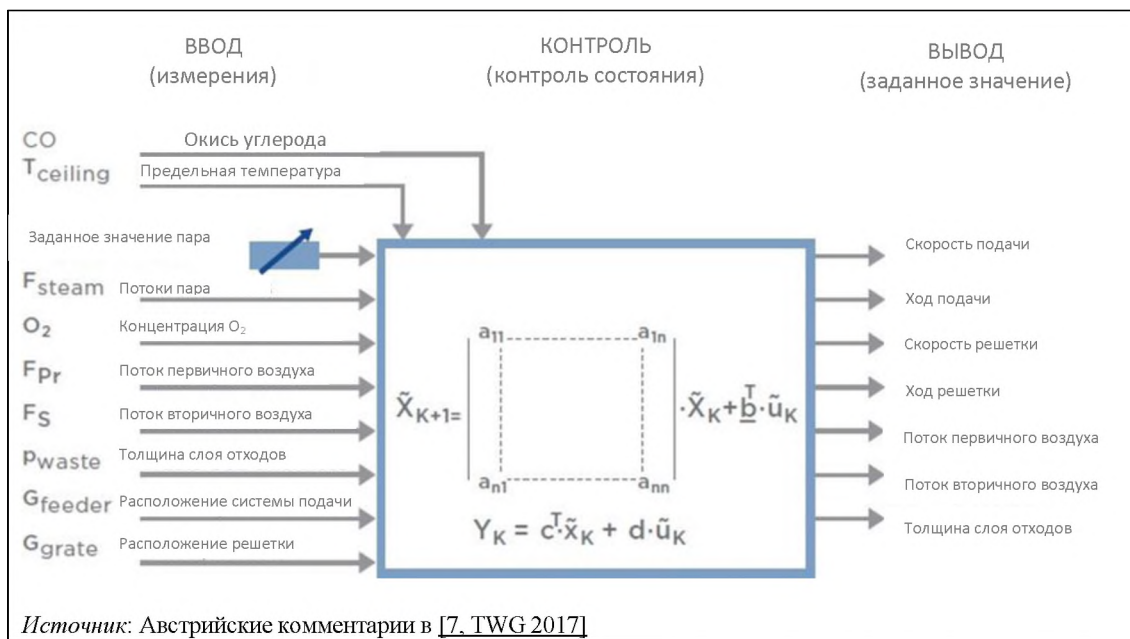


Рисунок 4.3: Пример параметров ввода, контроля и вывода системы управления печью

Посредством управляемой компьютером системы обработки изображений видеоизображения, предоставляемые ИК-камерой, могут быть преобразованы в сигналы, которые связаны в системе управления печью с такими параметрами, как содержание кислорода в дымовых газах и количество пара.

Загрузку камеры сжигания затем можно контролировать, регистрируя среднюю температуру слоя отходов на передней части решетки и оценивая значение O_2 на выходе из котла. С помощью контролируемой камерой записи температуры слоя сжигания в первых трех решеточных зонах можно добавлять первичный воздух в соответствии с потребностью (количество и распределение воздуха), что помогает выровнять процесс сжигания в основной зоне горения. В зоне воспламенения решетки потребность в воздухе регулируется как функционирование температуры поверхности слоя сжигания, таким образом может быть достигнут более постоянный температурный профиль. Адаптация количества воздуха в последующих зонах решетки и температуры поверхности сжигания приводит к устойчивому сжиганию и эффективному выгоранию зольного остатка.

Философия управления может представлять собой классическую систему управления, которая уже может быть включена в компьютеризированную систему управления процессом. Кроме того, применяются системы нечеткого регулирования.

Контрольные вмешательства включают корректировку:

- системы дозирования подачи отходов;
- частоты и скорости движений решетки в разных частях решетки;
- количества и распределения первичного воздуха;
- температуры первичного воздуха (при наличии средств предварительного нагрева);
- количества и распределения вторичного воздуха в печи (и, если возможно, рециркулирующего газа);
- соотношения первичного и вторичного воздуха.

[74. TWG 2004]

Экологические преимущества

Использование передовых систем управления может позволить оптимизировать процесс сжигания, в результате чего он будет меньше различаться по продолжительности (то есть более стабильным) и занимаемому пространству (то есть более однородным), что позволяет улучшить общие характеристики сжигания и уменьшить выбросы во все среды.

Усовершенствованное управление процессом имеет следующие конкретные преимущества:

- улучшенное качество зольного остатка (благодаря достаточному распределению первичного воздуха и лучшему расположению решеток в процессе сжигания);
- образуется меньше летучей золы (из-за меньших колебаний поступающего первичного воздуха сжигания);
- улучшенное качество летучей золы (меньше несгоревшего материала благодаря более стабильным условиям процесса в печи);
- образуется меньше СО и ЛОС (из-за более стабильных условий процесса в печи, то есть без «холодных» точек);
- образуется меньше NO_x (из-за более стабильных условий процесса в печи, то есть без «горячих» точек);
- снижается риск образования диоксинов (и продуктов предшествующей стадии реакции) из-за более стабильного процесса в печи;
- полное использование мощности (потеря теплоемкости из-за изменений уменьшается);
- улучшенная энергоэффективность (поскольку уменьшается среднее количество воздуха сжигания);
- улучшенная работа котла (поскольку температура более стабильна, меньше пиковых температур и, следовательно, меньше риск коррозии и засорения отложений летучей золы);
- улучшенная работа системы очистки дымовых газов (поскольку количество и состав дымовых газов более стабильны);
- более высокая возможность полного разрушения материалов в сочетании с более эффективным сжиганием отходов. [74, TWG 2004]

Указанные преимущества, таким образом, приводят к меньшей потребности в проведении технического обслуживания и, следовательно, лучшей доступности установки.

Экологические показатели и эксплуатационные данные

В рамках проекта были проведены испытания с кондиционированным кислородом первичного и вторичного воздуха и добавлением азота во вторичный воздух. Использование обогащенного кислородом воздуха для горения более подробно обсуждается в разделе 4.3.7. Было зафиксировано снижение концентрации пыли, СО и общих летучих органических соединений (ЛОС) в неочищенном дымовом газе, в частности, в кислородсодержащем первичном воздухе (содержание O₂ в подаваемом обогащенном воздухе составляет от 25 до 28% масс.). Кроме того, содержание NO_x в дымовых газах может быть уменьшено в результате добавления азота во вторичный воздух.

Результаты проведенного исследования привели к разработке системы, включающей следующие этапы процесса:

- полностью автоматический контроль сжигания через инфракрасную камеру и электронную систему, контролирующую параметры и режимы работы установки;
- рециркуляция дымовых газов в печь через систему вторичного воздуха; и
- насыщение кислородом воздуха первичного сжигания в основных зонах сжигания.

Меры, примененные на другом существующем заводе с решеткой подачи, включали:

- постепенное добавление воздуха сжигания;
- постоянное дозирование отходов путем контроля высоты слоя;
- мониторинг сжигания с помощью оптических датчиков (так называемых датчиков сжигания) в различных зонах решетки;
- рециркуляцию дымовых газов.

По сравнению с обычной работой завода, образование загрязняющих веществ, связанных с процессом горения, было сокращено.

Температура решетки может быть измерена с помощью термopара. Температуру дымовых газов измерить труднее из-за жестких условий – высокого уровня пыли, риска расплавления металла и т.д. Измерения на выходе из печи сложно осуществить (пыль, кислота и т.д.), в частности, СО и СО₂. В целях контроля требуются быстрые измерения. Очень трудно точно измерить Н₂О. [64, TWG 2003]

Результаты тестов с нормальной работой и с инфракрасной камерой показаны в таблице 4.7 ниже.

Таблица 4.7: Измерения неочищенного дымового газа при испытании в нормальном режиме с ИК-камерой и кондиционированием O₂.

Компонент дымовых газов (неочищенный дымовой газ)	Штатный режим работы	ИК-камера плюс электронная система, контролирующая параметры и режимы работы установки	Кондиционирование O ₂
Содержание кислорода (% масс.)	9.1–9.3	8.9–9.3	6.2–10.9
Оксид углерода (мг/м ³)	12–32	9–26	20–27
Пыль (г/м ³)	0.7–1.7	0.6–1.0	0.5–1.0
Общее содержание углерода (мг/м ³)	1.1–2.4	0.9–1.0	1.0–1.2
Диоксины/фураны (нг МТЭ/м ³)	1.5–2.7	1.0–1.3	2.0–3.5
Примечание: Сообщаемое увеличение содержания ПХД/Ф с дополнительным содержанием кислорода не является теоретически ожидаемым результатом. Источник: [1, UBA 2001]			

Эта технология особенно эффективна, когда отходы, подаваемые в печь, сильно отличаются по своему характеру, то есть имеют различный состав, или их качество трудно предсказать или гарантировать.

Для достижения стабильной работы установки также важно, чтобы оператор систем подачи отходов имел хороший обзор областей хранения и загрузки отходов. Это может быть достигнуто путем размещения диспетчерской комнаты с видом на зоны загрузки камеры сжигания и с помощью видеомониторов или других систем формирования изображения. [64, TWG 2003]

Воздействие на различные компоненты окружающей среды

Ни одно не идентифицировано.

Технические соображения, касающиеся применимости

Технология, в целом, применима.

Использование инфракрасных камер обычно применимо к мусоросжигательным установкам с колосниковой решеткой. Этот метод применим только тогда, когда конструкция печи (в частности, горловины) такова, что камера может видеть соответствующие области решетки. Кроме того, применение ограничено, в целом, печами более крупного масштаба с несколькими линиями решеток (например, > 10 т/ч). [74, TWG 2004]

Экономические аспекты

Указанные преимущества также приводят к меньшей потребности в техническом обслуживании и, следовательно, лучшей доступности установки.

Стоимость одной ИК-камеры (не монтированной и в качестве автономного блока, т.е. не встроенной в схему управления установки) в 2004 году, по сообщениям, составила порядка 50 000 евро. Однако также сообщается, что один поставщик указывает 300 000 евро за линию (хотя неясно, относится ли это ко всей системе ИК-камеры плюс контроль O₂ и т.д.) [74, TWG 2004].

Экономические аспекты обогащения воздуха кислородом для горения обсуждается в разделе 4.3.7.

Мотивы внедрения

Улучшенные характеристики сжигания приводят к общему улучшению экологических показателей.

Примеры

Передовые системы управления широко используются по всей Европе (например, Кобург (DE); Ингольштадт (DE); Фрибург (CH); Брешиа (IT); Арнольдштейн (AT)). Примеры использования обогащенного кислородом воздуха для горения приведены в разделе 4.3.7.

Справочная литература

[1, UBA 2001], [2, InfoMil 2002], [64, TWG 2003]

4.3.4 Оптимизация подачи и распределения первичного и вторичного воздуха

Описание

Потоки и распределение первичного и вторичного воздуха оптимизированы для подачи туда, где они необходимы для надлежащего сжигания отходов.

Техническое описание

Первичный воздух – это воздух, который подается в слой отходов или непосредственно над ним для поставки кислорода, необходимого для горения. Первичный воздух также помогает с сушкой и газификацией отходов, а также с охлаждением части оборудования сжигания.

Вторичный воздух – это то, что впрыскивается в потоки дымовых газов, чтобы завершить окисление горючих веществ.

Тип подачи первичного воздуха напрямую связан с технологией сжигания.

В решетчатых системах он подается через решетку в слой отходов в следующих целях:

- Подача необходимого воздуха в различные зоны решетки, где происходят реакции (сушка, газификация, испарение), и обеспечение однородного и достаточного распределения внутри слоя отходов, для лучшего выгорания донной золы.
- Охлаждение решетки для предотвращения образования шлака и коррозии. Охлаждение решеток с жидкостным охлаждением обычно достигается с помощью отдельного водяного контура, и поэтому влияние первичного воздуха на охлаждение не имеет значения.

[74, TWG 2004]

В решетках УСТКО поток первичного воздуха определяется в первую очередь потребностью в кислороде (функция определения занимаемого объема), а не требованиями к охлаждению решетки.

[74, TWG 2004]

Разделение подачи первичного воздуха (с использованием отдельных дутьевых камер и, если это целесообразно, вентиляторов с несколькими или распределенными источниками подачи) в разные зоны внутри установки с колосниковыми решетками позволяет осуществлять раздельный контроль подачи воздуха в каждую из зон. Это позволяет оптимизировать каждый процесс, который происходит на решетке (сушка, пиролиз, газификация, испарение, золоудаление), путем обеспечения собственной оптимизированной подачи воздуха.

Недостаточная подача первичного воздуха на заключительную ступень (золоудаление) может привести к плохому выгоранию золы, если время пребывания в камере недостаточно.

В ротационных печах первичный воздух обычно подается над слоем отходов.

В системах с кипящим слоем первичный воздух вводится непосредственно в материал для псевдоожижения, а также служит для псевдоожижения самого слоя. Первичный воздух продувается через форсунки из нижней части камеры сжигания в слой.

Если воздух для горения извлекается из зон хранения отходов, то это может снизить риск возникновения неприятного запаха при хранении отходов.

Расход вторичного воздуха, температура, количество и положение точек впрыска оптимизированы для контроля турбулентности дымовых газов, температуры и времени пребывания. Поскольку смешивание горячих газов требует достаточной энергии смешивания, вторичный воздух подается с относительно высокой скоростью.

Расположение, направления и количество точек впрыска оптимизируются с помощью компьютерного моделирования потока.

Температуры в головках форсунок может достигать 1 300–1 400°C, что в значительной степени может способствовать образованию NO_x. Использование специальных форсунок и рециркуляции

дымовых газов для замещения части азота может снизить температуру форсунок и подачу азота, что приводит к увеличению образования NO_x .

Баланс первичного и вторичного воздуха будет зависеть от характеристик отходов и от того, какая из технологий сжигания используется. Оптимизация этого баланса выгодна для оптимизации процесса и выбросов. В целом, отходы с более высокой теплотой сжигания позволяют снизить процент первичного воздуха.

Экологические преимущества

- Сокращение выбросов NO_x , пыли, общих летучих органических соединений (ОЛОС) и CO.
- Уменьшение образования летучей золы.
- Улучшенное выгорание зольного остатка.
- Сокращение спроса на безотходное топливо для поддержания процесса горения. [74, TWG 2004]

Экологические показатели и эксплуатационные данные

Количество вторичного воздуха зависит от НТС. [74, TWG 2004]

Для решетчатой технологии количество вторичного воздуха обычно составляет от 20% до 40% от общего количества воздуха сжигания, а остальное составляет первичный воздух.

Существует риск быстрой коррозии водяных стенок камеры дожигания и котла, если содержание вторичного воздуха слишком низкое, так как уровень CO/CO_2 может колебаться между окислительными и восстановительными условиями.

Воздействие на различные компоненты окружающей среды

Не сообщается.

Технические соображения, касающиеся применимости

Технология, в целом, применима.

Экономические аспекты

При условии, что первоначальный проект является правильным и предусматривает наличие систем и оборудования для контроля первичного и вторичного воздуха, дополнительное оборудование обычно не требуется и, следовательно, никаких дополнительных затрат не возникает. Там, где требуется модернизация уже существующей установки, могут потребоваться дополнительные воздухоподогреватели и воздуховоды для контроля и распределения подачи воздуха.

Снижение уровня производимого NO_x может также снизить эксплуатационные расходы и улучшить уровень снижения выбросов NO_x , связанный с последующими вторичными технологиями (СНКВ или СКВ). Оптимизация системы подачи вторичного воздуха может уменьшить объем дымовых газов и, следовательно, соответствующим образом уменьшить размер установки очистки дымовых газов. [64, TWG 2003]

Мотивы внедрения

Стабильные условия сжигания и улучшенное выгорание зольного остатка.

Примеры

Все мусоросжигательные заводы.

Примером установки, модернизированной для улучшения данного аспекта, является завод в г. Тулон (Франция), на линиях 1 и 2 (2 x 12 т/ч) которого были заменены воздухоподогреватели и форсунки.

Справочная литература

[2, InfoMil 2002], [64, TWG 2003]

4.3.5 Предварительный нагрев первичного и вторичного воздуха

Описание

Теплообменники используются для предварительного нагрева первичного и вторичного воздуха, в основном для сжигания отходов с низкой теплотой сжигания. Предварительный нагрев первичного воздуха используется для сушки отходов с низкой теплотой сжигания, в то время как

предварительный нагрев вторичного воздуха выгоден для обеспечения стабильных условий сжигания путем поддержания температуры зоны окисления печи на запроектированном уровне.

Техническое описание

Нагревание первичного воздуха может улучшить процесс сжигания благодаря высушиванию отходов. Это особенно важно при сжигании отходов с низкой теплотой сжигания/высокой влажностью, поскольку они могут потребовать дополнительной сушки. [2, InfoMil 2002], [64, TWG 2003]

Нагревание вторичного воздуха может повысить эффективность и улучшить процесс сжигания в случае сжигания отходов с низкой теплотой сжигания, обеспечивая надлежащие и равномерно распределенные температуры в зоне выгорания газа.

Предварительный нагрев воздуха в установках сжигания коммунальных отходов решетчатого типа обычно осуществляется с помощью пара низкого давления, а не путем теплообмена с дымовыми газами (из-за сложных воздухопроводов и проблем коррозии).

Предварительный нагрев воздуха в установках с пузырьковым кипящим слоем обычно осуществляется с помощью дымовых газов посредством теплообмена, но иногда также паром или вспомогательным топливом. [64, TWG 2003]

В ротационных печах предварительный нагрев воздуха для сжигания обычно не производится.

В некоторых установках тепло для нагрева воздуха берется из охлаждающего воздуха за огнеупорным материалом.

Тепло, поставляемое с подаваемым воздухом, не теряется, так как оно может быть позже рекуперировано в котле. [74, TWG 2004]

Экологические преимущества

Более стабильное сжигание приводит к снижению выбросов в воздух.

Возможна модернизация низкотратного пара/энергии до более качественного пара.

Экологические показатели и эксплуатационные данные

Нагрев первичного и, возможно, вторичного воздуха особенно эффективен при сжигании отходов с низкой теплотой сжигания. В случае первичного воздуха это происходит потому, что он поддерживает сушку и возгорание отходов; это связано с тем, что вторичный воздух помогает поддерживать температуру в зоне выгорания газа.

Первичный воздух нагревается до 150°C путем смешивания первичного воздуха с охлаждающим воздухом от огнеупорного материала в печи. [74, TWG 2004]

Воздействие на различные компоненты окружающей среды

В случаях рекуперации тепла из процесса сжигания, воздействие на различные компоненты окружающей среды будут минимальными. Если используются внешние источники топлива, то потребление этой внешней энергии и дополнительные выбросы (например, NO_x, твердые частицы) являются фактором воздействия на окружающую среду.

Технические соображения, касающиеся применимости

Установки, сжигающие отходы с высокой теплотой сжигания, нуждаются в охлаждающем эффекте подаваемого воздуха и поэтому не будут применять данную технологию.

Экономические аспекты

Проектирование системы в новых установках добавляет стоимость теплообменника, а также контура пар/конденсат. Степень дополнительных затрат зависит от масштаба завода.

Капитальные затраты на теплообменное оборудование могут быть компенсированы за счет экономии на вспомогательном топливе.

Мотивы внедрения

Улучшенные характеристики сжигания, особенно при низкой теплоте сжигания.

Примеры

Применяется на заводах по всей Европе.

Справочная литература

[2, InfoMil 2002], [64, TWG 2003]

4.3.6 Частичное замещение вторичного воздуха рециркулирующим дымовым газом

Описание

Дымовой газ рециркулирует для оптимизации турбулентности в камере сжигания при сохранении оптимального соотношения воздуха и отходов.

Техническое описание

Одной из целей добавления вторичного воздуха (кроме окисления горючих соединений дымовых газов) является улучшение смешивания и однородности дымовых газов. Однако использование большего объема вторичного воздуха, чем необходимо, приводит к увеличению количества дымовых газов. Это снижает энергоэффективность установки, что приводит к необходимости применения более крупных систем очистки дымовых газов и, следовательно, к более высоким затратам.

При замещении части вторичного воздуха рециркулирующими дымовыми газами объем дымовых газов уменьшается ниже по потоку от точки извлечения и в точке выброса. Сокращение подачи только что полученного азота (из воздуха) в печь может помочь сократить выбросы NO_x .

В целом, точка извлечения рециркуляции находится после очистки дымовых газов, чтобы уменьшить коррозию и другие эксплуатационные проблемы, вызванные неочищенным дымовым газом; это связано с некоторыми потерями энергии, и система очистки дымовых газов должна быть рассчитана на большой поток.

Однако, если дымовые газы рециркулируют из системы очистки дымовых газов выше по потоку, тогда размер системы очистки дымовых газов может быть уменьшен, [64, TWG 2003], хотя его необходимо установить для обработки большего количества дымовых газов с повышенными концентрациями загрязняющих веществ, и существует более высокий риск эрозии, коррозии и загрязнения. [74, TWG 2004]

См. также раздел 4.3.4 касательно оптимизации вторичного воздуха.

Экологические преимущества

- Повышение энергоэффективности (на ТЭЦ зарегистрировано увеличение примерно на 0,75%).
- Сокращение образования NO_x с 10% до 30% (если в неочищенном газе много NO_x).
- Снижение потребления реагентов для контроля NO_x .

Экологические показатели и эксплуатационные данные

При высоких уровнях избыточного воздуха примерно 50% необходимого количества вторичного воздуха можно заменить рециркулирующим дымовым газом. Если рециркулирующий газ является необработанным дымовым газом, это приводит к уменьшению общего количества воздуха сжигания и дымовых газов на 10–15%. Загрузка системы очистки дымовых газов может быть пропорционально уменьшена, если концентрированные загрязняющие вещества в уменьшенном количестве дымовых газов можно очистить таким же образом (что также приведет к снижению выбросов), а тепловая эффективность установки может возрасти примерно на 1–3%.

Сообщается о коррозии в воздуховодах рециркуляции. Также сообщается, что это может быть преодолено путем устранения стыков и использования эффективной изоляции воздуховодов для предотвращения холодных «точек», где может быстро возникнуть конденсация дымовых газов и коррозия. Коррозия также может возникнуть в котле из-за более низкого уровня кислорода в дымовых газах.

[21, FNADE, 2002] Риск коррозии уменьшается, если на горячие части котла наносится специальная облицовка. Однако, при применении такой защитной оболочки, концентрация избыточного O_2 на

выходе из котла может быть уменьшена даже без рециркуляции дымовых газов. Это, таким образом, уменьшает выгоду от рециркуляции дымовых газов.

Некоторые заводы по сжиганию ТКО в Германии, на которых установлены системы рециркуляции дымовых газов, сообщили об их закрытии или отключении по эксплуатационным причинам. Уменьшенный поток дымовых газов в большинстве случаев не учитывается при калибровке установки очистки дымовых газов; многие операторы выбирают размеры установки очистки дымовых газов с закрытой рециркуляцией дымовых газов, чтобы охватить все возможные условия эксплуатации.

[74, TWG 2004]

Воздействие на различные компоненты окружающей среды

В зависимости от точной конструкции печи, при высоких степенях замещения эффективное восстановление кислорода может привести к повышению уровня СО (и других продуктов неполного сжигания). Поэтому необходимо следить за тем, чтобы показатели замещения были оптимизированы.

В ротационной печи может возникать отрицательный охлаждающий эффект, и в некоторых случаях, особенно с отходами с более низкой теплотой сжигания, для поддержания температуры ротационной печи необходимо дополнительное топливо.

Технические соображения, касающиеся применимости

Данная технология была применена на новых мусоросжигательных заводах. Некоторые существующие заводы модернизировали эту технологию, для которой требуется пространство для воздуховода.

Технология имеет ограниченную применимость при сжигании опасных отходов. В случае сжигания опасных отходов в ротационной печи необходимость высокого содержания O_2 ограничивает применимость рециркуляции дымовых газов. [74, TWG 2004]

Экономические аспекты

Данная технология предполагает дополнительные инвестиции для новых заводов и значительные затраты на модернизацию существующих заводов. [74, TWG 2004]

Мотивы внедрения

Сокращение NO_x с использованием первичных технологий.

Примеры

Применяется на некоторых новых и существующих заводах по всей Европе.

Справочная литература

[2, InfoMil 2002], [21, FNADE, 2002], [64, TWG 2003]

4.3.7 Использование обогащенного кислородом воздуха

Описание

Использование обогащенного кислородом воздуха или технически чистого кислорода в качестве воздуха для горения.

Техническое описание

Завод по сжиганию ТКО в г. Арнольдштайн в Австрии реализует процесс, в котором используется обогащенный кислородом воздух для полного спекания золы в слое отходов мусоросжигательной установки с колосниковой решеткой. Обогащение кислородом приводит к более высоким температурам слоя, которые расплавляют или спекают 50–80% зольного остатка. Нерасплавленная фракция защищает решетку от засорения. Для мониторинга и контроля температуры в слое отходов используется инфракрасная камера, с помощью которой осуществляется регулировка нагрева первичного воздуха и обогащение кислородом. Решетки обратного действия используются в связи с тем, что они поддерживают покрытие из расплавленной золы, которое защищает решетку от воздействия более высоких температур. Не полностью спеченная фракция отделяется с помощью процесса просеивания и промывки, а затем возвращается в процесс сжигания. Кроме того, 75% летучей золы (котельной золы и золы на первой ступени удаления пыли – не остатки очистки

дымовых газов от очистки кислого газа) могут рециркулировать на стадию сжигания. Высокие температуры слоя и влажная механическая обработка выгруженной гранулированной золы обеспечивают то, что рециркуляция летучей золы не загрязняет гранулированный продукт. [91, Austria 2015]

Обогащенный кислородом воздух также используется для сжигания газов, образующихся на некоторых установках газификации и пиролиза. Это часто является частью систем, предназначенных для повышения температуры горения с целью расплавления топочной золы. В таких случаях реактор первоначального пиролиза или газификации часто представляет собой блок, конструктивно разделенный от последующей камеры сжигания. Обогащенный топливом синтез-газ проходит в зону сжигания, где обогащенный кислородом воздух добавляется с регулируемой скоростью для достижения желаемых условий сжигания. В зависимости от скорости введения кислорода и качества газа температура в камере сжигания обычно составляет от 850°C до 1500°C, хотя в некоторых особых случаях применяются температуры до 2000°C (или выше). При температуре выше примерно 1250°C увлекаемая потоком летучая зола расплавляется.

Обогащение кислородом также применяется на небольших заводах, которые обычно предназначены для обработки определенных (часто опасных) потоков отходов. На этих небольших установках (например, мобильных установках) этот процесс может применяться периодически в герметичном реакторе с повышенным давлением (8 бар) и температурой (например, в диапазоне от 2000 до 8000°C).

Экологические преимущества

На установке для сжигания коммунальных отходов в г. Арнольдштейн, Австрия, обогащенный кислородом воздух применяется для того, чтобы:

- получить полностью спеченный, хорошо выгоревший остаток с низким выщелачиванием;
- сократить общие выбросы диоксинов на заводах (< 5 мкг МТЭ/т отходов);
- уменьшить объем дымовых газов;
- уменьшить объем летучей золы.

Быстрое и эффективное сжигание может привести к очень низкому и контролируемому выбросу СО и других связанных с горением выбросов.

Экологические показатели и эксплуатационные данные

В то время как замещение азота в воздухе кислородом может снизить вероятность теплового образования NO_x, пока замещается достаточное количество азота, повышенное парциальное давление кислорода в зоне реакции вызывает повышение температуры пламени, что может привести к увеличению образования NO_x. Поэтому необходимо соблюдать осторожность, чтобы убедиться, что замещение азота не приведет к общему увеличению NO_x.

В сравнении с технологиями сжигания с подачей воздуха образуется более низкий объем отработанного газа. Однако при температурах выше 1500°C это преимущество может быть уменьшено из-за теплового расширения дымовых газов. Более высокие концентрации загрязняющих веществ, возникающие из-за меньшего объема дымовых газов, могут быть обработаны с использованием меньшего оборудования очистки дымовых газов. Однако такая адаптация потребует особых изменений системы очистки дымовых газов на существующих установках. Меньшее оборудование очистки дымовых газов может в некоторой степени снизить потребление сырья (например, NH₃, используемый в СКВ/ЧКВ для снижения NO_x). Однако для загрязняющих веществ, содержащихся в отходах, таких как Cl₂, количество образующегося загрязнителя и, следовательно, потребление сырья в системе очистки дымовых газов пропорционально скорости подачи отходов, и увеличение концентрации загрязняющих веществ в дымовых газах может не оказывать значимого эффекта на потребление. Сообщается, что при применении этой технологии также может быть уменьшен размер котла. [74, TWG 2004]

Сообщается, что использование температур, превышающих 1500–2000°C, дает лишь ограниченную дополнительную выгоду с точки зрения сокращения выбросов. [64, TWG 2003]

Установка сжигания коммунальных отходов в г. Арнольдштейн, Австрия, успешно работает с использованием обогащенного кислородом воздуха с 2004 года. Годовая производительность составляет около 94 000 т/г, среднее содержание кислорода составляет около 26%, а температура на решетке составляет около 1100–1200°C, тогда как температура в камере сжигания снижается за счет рециркуляции дымовых газов.

Как показано в таблице 4.8, установка в Арнольдштейне производит полностью спеченный, хорошо выгоревший остаток с низким выщелачиванием.

Таблица 4.8: Качество остатков с использованием обогащенного воздуха для горения (O₂ при 25–27%)

	Неочищенная зольный остаток от сжигания без обогащения O ₂	Неочищенная зольный остаток от сжигания с обогащением O ₂	Влажная механически обработанная зольный остаток от сжигания с обогащением O ₂
ППП (%)	2	1	0.1
Выщелачивание свинца (мг/л)	0.2	0.05	0.01
Содержание ПХД/Ф (нг ТЭ/кг)	15	8	0.3
Источник: [91, Austria 2015]			

При более высоких температурах (выше 1000°C) техническое обслуживание печей и огнеупоров, как правило, значительно возрастает. Более высокие температуры могут привести к основательному выбору материала и затруднениям при использовании. Интенсивное охлаждение газа требуется для снижения температуры дымовых газов до подходящего уровня для очистки дымовых газов. Расплавленная летучая зола требует создания систем для обеспечения ее удаления (например, вихревого потока газа), чтобы она не вступала в контакт с расположенными ниже по потоку теплообменниками и не вызывала засорение/эрозию.

Дополнительные риски безопасности возникают в результате производства, хранения и использования кислорода.

Воздействие на различные компоненты окружающей среды

- Увеличение потребления энергии для производства чистого кислорода или обогащенного кислородом воздуха.
- Пониженная стойкость огнеупорных материалов и повышенная коррозия котла.
- Для отделения металлов от спеченного зольного остатка требуется дополнительное дробление для их последующей переработки.

Технические соображения, касающиеся применимости

Данная технология может быть неприменима к существующим установкам из-за значительных изменений конструкции, необходимых для камеры сжигания, областей теплообмена и размеров систем очистки дымовых газов. При низких уровнях внесения кислорода изменения конструкции могут быть более ограниченными, но также возможны и потенциальные преимущества этой технологии.

Технология применима к существующим установкам, где:

- выбросы, связанные с горением, высоки или их трудно контролировать; а также
- объемы выдаваемого воздуха уже большие.

Она также применима к сжиганию материалов, которые обладают высокой устойчивостью к горению, например, ПХД из-за высокой эффективности сжигания.

Обогащение кислородом не применяется широко из-за дополнительных затрат и воздействий на различные компоненты окружающей среды, связанных с производством кислорода, а также из-за дополнительных эксплуатационных проблем, таких как обращение с расплавленной летучей золой.

Экономические аспекты

Производство чистого кислорода достаточно затратное. Обогащенный кислородом воздух менее дорогой, но все же вызывает дополнительные расходы по сравнению с обычным воздухом. Затраты могут быть уменьшены, если мусоросжигательный завод находится на промышленной площадке, где кислород уже имеется. Значительными являются и пассивные электрические нагрузки для производства кислорода. Эта потребность варьируется в зависимости от размера установки, температуры и требований к чистоте кислорода, но обычно составляет порядка 0,5–2 МВт.

На установке сжигания коммунальных отходов г. Арнольдштейн обогащение кислородом привело к увеличению капитальных затрат на 10%. Это увеличение капитальных затрат ставится в противовес увеличению количества обрабатываемых отходов на 25% (равно объему дымовых газов) и возможному снижению затрат на удаление остатков (в зависимости от правовой ситуации), при этом возможен доход от продажи гранулированного зольного остатка в качестве замены щебеночного заполнителя.

Уменьшение объема дымовых газов может привести к уменьшению размеров и стоимости необходимых устройств для очистки дымовых газов.

Мотивы внедрения

Сообщается, что данная технология используется для обработки некоторых видов опасных отходов, которые в противном случае являются дорогостоящими для удаления.

Сообщается, что эта технология была модернизирована на существующих установках, которые испытывали трудности с процессом горения.

Другими мотивами являются снижение затрат на утилизацию спеченных остатков из-за низкой выщелачиваемости и возможный доход от продажи спеченного гранулированного остатка в качестве совокупной замены щебеночного заполнителя.

Примеры

Установка сжигания коммунальных отходов AT06R в Арнольдштейне (АТ), успешно работает с обогащенным кислородом воздухом с 2004 года.

Обогащение кислородом применяется в процессах газификации и пиролиза коммунальных и промышленных отходов в Японии как часть систем, которые предназначены для расплавления золы на установках сжигания (например, Asahi Clean Center, Кавагути, Токио).

Первая полномасштабная установка для опасных отходов в настоящее время работает в SEABO (провинция Болонья (ИТ)). На данный момент она используется для обработки следующих материалов: отвердевшие краски, галогенированные растворители, чернила, шламы нефтепереработки, пластиковая упаковка, загрязненная ветошь, маслосодержащие ПХБ, пестициды и медикаменты, в том числе с истекшим сроком годности.

В Германии обогащение кислородом воздуха для горения используется на заводе DE19R – установке сжигания жидких и газообразных опасных отходов, эксплуатируемой на площадке химического производства на AGV Тростберг.

Справочная литература

[18, Italy, 2002], [2, InfoMil 2002], [64, TWG 2003], [91, Austria 2015]

4.3.8 Более высокая температура сжигания (шлакование)

Описание

Отходы сжигаются при температуре выше 1100°C для достижения высокой эффективности разрушения и получения остеклованного зольного остатка.

Техническое описание

Данная технология чаще всего применяется в Европе для ротационных печей, которые обрабатывают опасные отходы. Однако принцип работы при повышенных температурах может в некоторой степени применяться к другим типам печей. Например, более высокие температуры иногда используются ниже по потоку от псевдоожиженных слоев, в которые поступают неопасные отходы (см. раздел 2.3.4.4).

Температура сжигания повышается до 1100–1400°C в течение нескольких секунд, так как все отходы с высокой теплотой сжигания попадают через переднюю стенку печи. Это означает, что температура дымовых газов остается выше 1050°C до тех пор, пока они не выйдут из выходного отверстия вторичной камеры сжигания. Затем они поступают в котел-утилизатор и, наконец, проходят через систему очистки дымовых газов.

Железо, стекло, алюминий и другие неорганические твердые материалы образуют смесь расплавленного зольного остатка в ротационной печи. Эта сжиженная зола затем медленно течет к выходу из печи, где она падает в резервуар для закаливания зольного остатка, расположенный под вторичной камерой сжигания. Здесь зольный остаток быстро затвердевает в воде. Полученный в результате зольный остаток тонко гранулируется, остекловывается и имеет низкие характеристики выщелачивания. Из-за эффекта грануляции общий объем образующейся зольного остатка меньше, чем при обычном сжигании.

Экологические преимущества

- Органические материалы полностью сжигаются. Содержание органического вещества в зольном остатке после сжигания обычно составляет менее 1%.
- Снижение содержания углеводов и СО в дымовых газах.
- Более высокое разрушение ПХД.

Экологические показатели и эксплуатационные данные

Более высокие температуры требуют хорошего качества огнеупорной футеровки. Кроме того, во время операции необходим постоянный слой шлака. К тому же:

- может потребоваться предварительный нагрев воздуха для сжигания;
- мембранные стенки котла должны быть защищены от повышенной температуры огнеупором;
- проблемой может стать высокотемпературная коррозия;
- расплавленный шлак/летучая зола может вызвать проблемы в работе печи и в местах теплообмена.

Низкие остаточные углеводороды и СО зависят от комбинации перемешивания дымовых газов (турбулентность), времени пребывания и температуры. Важным фактором также считается подача однородных отходов. Следовательно, само по себе сжигание при более высокой температуре не является гарантией полного выгорания газа (то есть низкого содержания СО и ЛОС). Кроме того, при более высоких температурах скорость газа больше, поэтому время пребывания меньше. В связи с чем для достижения необходимого уровня производительности важна оптимизация всех ключевых параметров.

Воздействие на различные компоненты окружающей среды

- Увеличение образования NO_x из-за более высоких температур.
- Повышенный расход безотходного топлива, когда энергии, получаемой при сжигании самих отходов, недостаточно для обеспечения более высокой температуры сжигания.
- Увеличение содержания металлов в дымовых газах. [40, EURITS, 2003]

Технические соображения, касающиеся применимости

Эта технология в основном применима к ротационным печам, в которых сжигаются опасные отходы с более высокой теплотой сжигания (общее среднее значение обычно превышает 15 МДж/кг), например, те, которые включают различные растворители и отработанные масла.

Экономические аспекты

Дополнительные расходы возникают из-за:

- необходимости использования печи с водяным охлаждением, чтобы избежать высоких затрат на техническое обслуживание;
 - необходимости использования вспомогательного топлива для поддержания высоких температур;
 - необходимости реконструкции печи для сохранения тепла;
 - необходимости обрабатывать повышенное количество металлов в дымовых газах, потому что их давление пара увеличивается при более высоких температурах.
- [74, TWG 2004]

В некоторых случаях от использования более высоких температур отказываются из-за затрат, связанных с техническим обслуживанием огнеупорных материалов.

В зависимости от результатов испытаний на выщелачивание или других применяемых местных стандартов зольный остаток, полученный при высокотемпературном сжигании, может быть классифицирован как неопасный материал. Это может впоследствии снизить стоимость

утилизации, поскольку зольный остаток может быть затем транспортирован на полигон захоронения неопасных отходов (при определенных условиях) или даже продан для использования в дорожном строительстве. При использовании для строительства, может потребоваться определение общего содержания тяжелых металлов для сравнения с другими материалами, которые обычно используются в этих целях. [74, TWG 2004]

Мотивы внедрения

Технология была реализована там, где:

- требуется дополнительная гарантия очень высокой эффективности уничтожения;
- требуется остеклованный зольный остаток.

Примеры

Ekokem (FI) и Kommunikemi (DK).

Справочная литература

[20, ЕКОКЕМ, 2002], [64, TWG 2003]

4.3.9 Увеличение выгорания отходов

Описание

Выгорание отходов увеличивается с использованием следующих технологий:

- переворачивание и перемешивание отходов в печи;
- использование ротационных печей;
- использование кипящего слоя;
- достаточное время пребывания отходов в зоне выгорания печи;
- конструкция печи для отражения лучистого тепла;
- оптимизация распределения и подачи первичного воздуха;
- внесение других отходов/топлива для обеспечения эффективного сжигания;
- уменьшение размера крупных отходов.

Техническое описание

Отходы, подаваемые в печь, должны быть хорошо перемешаны, и должно быть обеспечено достаточное время для реакции и достижения эффективного выгорания, в результате чего остается остаток с низким содержанием органического углерода. Кроме того, этому процессу может способствовать подача надлежащего и хорошо распределенного первичного воздуха, который не приводит к чрезмерному охлаждению.

Более длительное нахождение отходов в условиях повышенных температур в камере сжигания, более высокие температуры в слое и физическое перемешивание отходов – все это в совокупности обеспечивает низкое содержание органических веществ в образующейся золе.

Использование этих технологий может привести к уровням содержания органического углерода в золе ниже 1%.

Уровень выгорания, достигаемый при использовании любой технологии, будет зависеть от характеристик сжигаемых отходов. Решающее влияние на практичность подачи отходов в различные конструкции камеры сжигания также будут иметь физические характеристики отходов, например, смешанные коммунальные отходы не могут быть обработаны в кипящем слое без предварительной обработки.

Поддержание процесса в пределах его теплопроизводительности также обеспечивает правильное сжигание отходов и хорошее качество получаемых остатков с возможностью их использования.

Как правило, лучшее выгорание достигается тогда, когда отходы тонко измельчены и гомогенизированы (например, путем перемешивания). Предварительная обработка высокогетерогенных отходов может улучшить выгорание.

Экологические преимущества

- Эффективное уничтожение отходов.
- Улучшенные характеристики твердого остатка для возможного использования.

- Возросшая рекуперация энергии.

Улучшение выгорания снизит содержание остаточного углерода и, следовательно, общего органического углерода (ООУ). ООУ также связан с подвижностью металлов в золе. Например, выщелачивание меди в форме органо-медных комплексов. Следовательно, улучшение выгорания также уменьшит выщелачивание меди.

Экологические показатели и эксплуатационные данные

Достигнутые уровни содержания ООУ в шлаках и зольном остатке находятся в диапазоне $< 1\text{--}3\%$ масс. На установках сжигания отходов, измеряющих потери при прокаливании, достигнутые уровни потери при прокаливании составляют $< 1\text{--}5\%$ масс.

Воздействие на различные компоненты окружающей среды

Чрезмерное физическое перемешивание отходов в печи может привести к тому, что большее количество несгоревшего материала попадет во вторичные камеры сжигания. Это может привести к дополнительной загрузке пыли и других загрязняющих веществ в последующие процессы очистки и сокращения выбросов. Кроме того, чрезмерное перемешивание может привести к большему количеству просева, то есть к образованию несгоревшего материала, проходящего через решетку. [74, TWG 2004]

Сообщается, что повышение температуры сжигания вместе с температурой топливного слоя вызывает повышенное образование CaO в зольном остатке, что повышает его pH. Значение pH только что полученной золы часто превышает 12 [38, Vehlow 2002].

Это увеличение pH может также увеличить растворимость амфотерных металлов, таких как свинец и цинк, которые присутствуют в больших количествах в зольном остатке. Увеличение pH может быть критическим; в частности, поскольку свинец является амфотерным, его можно растворить при pH 11–12 и затем выщелачивать. После фазы сжигания в результате «старения» зольного остатка его pH может уменьшиться.

Технические соображения, касающиеся применимости

Технология, в целом, применима.

Экономические аспекты

Новые проекты могут учитывать необходимость обеспечения эффективного выгорания без значительных дополнительных затрат.

Капитальная реконструкция камер сжигания на действующих заводах стоит дорого. Поэтому такие реконструкции возможны только тогда, когда планируется полная модернизация.

Мотивы внедрения

- Требования природоохранного законодательства.
- Улучшение уничтожения отходов.
- Улучшение возможности использования остатков.
- Извлечение полной энергетической ценности из отходов.

Примеры

Применяется по всей Европе.

Справочная литература

[4, IAWG 1997], [38, Vehlow 2002], [64, TWG 2003]

4.3.10 Уменьшение отсева на колосниковой решетке

Описание

Объемы отсева на колосниковой решетке уменьшаются путем конструирования решетки таким образом, чтобы максимально сократить пространство между решетками.

Техническое описание

В мусоросжигательных установках часть отходов может попасть в решетку и частично сгореть. Это называется «отсевом». Отдельное внимание к конструированию решетки, особенно к уменьшению

расстояния между решетками, может уменьшить этот эффект. Количество и качество этого отсева зависит от конструкции решетки, от поверхностей раздела между движущимися частями и стенками, а также от механизма их удержания. [74, TWG 2004]

Для сбора этого отсева используются автоматические конвейерные системы. Собранный материал обычно хранится для охлаждения перед тем, как его снова вводят в бункер (чтобы избежать риска возгорания) или направляют в устройство выброса зольного остатка.

Экологические преимущества

- Улучшенное выгорание отходов.
- Улучшенное качество золы.

Экологические показатели и эксплуатационные данные

Хранение отсева перед повторным введением в основную подачу отходов очень важно для предотвращения риска пожара. Для обеспечения тщательного охлаждения может быть добавлена вода.

Для того, чтобы избежать засорения в местах сбора отсева под решетками и во избежание рисков для безопасности операторов и персонала необходимо регулярное наблюдение [74, TWG 2004]

Отсев расплавленных горящих капель некоторых распространенных пластиков (содержащихся в ТКО), таких как ПЭ и ПЭТ, может внести существенный вклад в общее содержание углерода в золе, в увеличение ХПК в зольном остатке и значительное выщелачивание меди. Все эти параметры возможно улучшить при применении этой технологии. [64, TWG 2003]

Воздействие на различные компоненты окружающей среды

Опасность пожара при контакте отсева с отходами.

Технические соображения, касающиеся применимости

Технология, в целом, применима.

Экономические аспекты

Улучшение качества выгорания золы может снизить затраты на утилизацию, если текущее сжигание золы не соответствует требованиям повторного использования/утилизации без этой технологии. [74, TWG 2004]

Могут возникнуть значительные инвестиционные затраты на модернизацию существующих установок и дополнительные эксплуатационные расходы. [74, TWG 2004]

Мотивы внедрения

- Улучшенное и тщательное уничтожение отходов.
- Улучшенное качество зольного остатка.

Примеры

Indaver GF, Беверен (BE).

Справочная литература

[64, TWG 2003]

4.3.11 Использование низких скоростей газового потока в печи и включение пустых проходов перед конвективным участком котла

Описание

Рассматриваемые технологии:

- низкая скорость газового потока в печи;
- пустой проход между печью и теплообменными узлами.

Техническое описание

Печи мусоросжигательных заводов обычно проектируются достаточно большими, чтобы обеспечить низкие скорости газового потока и его длительное время пребывания. В соответствии с принципом «трех циклов сжигания» (достаточно высокое время, турбулентность и температура), газообразные продукты сжигания полностью сгорают, тем самым предотвращая загрязнение труб котла:

- снижение содержания летучей золы в дымовых газах;
- снижение температуры дымовых газов перед контактом с теплообменными узлами.

Загрязнение теплообменника также может быть уменьшено путем включения пустых проходов (например, водяных стенок без препятствий на пути прохождения газа) между основной областью печи и теплообменными блоками, что позволяет снизить температуру газового потока и, следовательно, липкость летучей золы. Температуры ниже 650°C перед конвективным перегревателем используются для уменьшения прилипания золы к трубам котла и, таким образом, предотвращения коррозии. [2, InfoMil 2002], [64, TWG 2003]

Экологические преимущества

Преимущества включают снижение выбросов органических веществ на стадии сжигания.

Улучшенный теплообмен в котлах благодаря уменьшению отложений в трубах котлов может привести к улучшению рекуперации энергии.

Экологические показатели и эксплуатационные данные

Уменьшение отложений в котельной трубе приводит к улучшению доступности процесса и лучшему теплообмену.

Воздействие на различные компоненты окружающей среды

Никаких конкретных воздействий не выявлено, но необходимо внимательно следить за тем, чтобы подача вторичного воздуха или другие механизмы, используемые для поддержания смешивания газа, подходили для более крупных печей.

Технические соображения, касающиеся применимости

Технология в основном применима к новым установкам, или при проведении существенной модернизации существующих печей и котлов.

Экономические аспекты

Большие печи требуют больших затрат на их конструкцию.

Мотивы внедрения

- Уменьшение эрозии печи.
- Уменьшение образования летучей золы.
- Сокращение технического обслуживания.
- Более длительный срок службы котла.

Примеры

Обычно применяется на установках сжигания ТКО в Европе.

Справочная литература

[2, InfoMil 2002], [64, TWG 2003]

4.3.12 Определение показателя теплоты сжигания отходов и его использование в качестве параметра контроля горения

Описание

НТС отходов определяется для онлайн-оптимизации процесса сжигания. Это может быть сделано, например, путем анализа параметров процесса, таких как коэффициент производства пара, посредством баланса массы, измеряющего концентрацию дымовых газов CO_2 , CO и H_2O .

Техническое описание

Колебания характеристик отходов более выражены для некоторых типов отходов (например, неочищенные ТКО, некоторые опасные отходы), что означает, что масса и объем являются менее надежными контрольными параметрами. Определение НТС в оперативном режиме может затем помочь оптимизировать условия процесса и улучшить процесс сжигания при несбалансированном поступлении отходов.

Технологии были разработаны на основе:

- ретроспективного анализ параметров производительности процесса (не метод прогнозирования);
- расчетов баланса массы на основе концентраций CO_2 , O_2 и H_2O в дымовых газах (т.е. не метод прогнозирования, основанный на измерениях ниже по потоку) и на входе отходов (усредненные значения, например, с использованием крановых весов) или на других меньших расчетных тепловых потоках;
- использования микроволнового оборудования для оценки содержания влаги в отходах в загрузочном желобе;
- цветов поступающих отходов и их размеров, связанных с выходными сигналами установки с помощью электронной системы, контролирующей параметры и режимы работы установки.

Экологические преимущества

Улучшенное управление процессом сжигания приводит к снижению выбросов на стадии горения.

Экологические показатели и эксплуатационные данные

Данная технология может использоваться в качестве диагностического инструмента или (с онлайн методами) для управления процессом. Знание теплоты сжигания отходов позволяет оптимизировать подачу воздуха и другие важные параметры, которые контролируют эффективность сжигания. В случае гетерогенных отходов в качестве дополнительных параметров контроля можно использовать массовую и объемную скорость подачи отходов.

Контроль за характеристиками поступающих отходов может быть частью договора поставки.

Воздействие на различные компоненты окружающей среды

Не сообщалось.

Технические соображения, касающиеся применимости

Технология, в целом, применима.

Экономические аспекты

Информация не предоставлена.

Мотивы внедрения

Технология применяется для улучшения показателей сжигания и регенерации энергии на установке.

Примеры

Онлайн системы мониторинга и поддержки используются на УСТКО в Нидерландах и Германии.

Справочная литература

[23, VanKessel, 2002], [64, TWG 2003], [124, Beckmann et al. 2017], [125, Pohl and Wen 2017]

4.4 Технологии увеличения объемов рекуперированной энергии

4.4.1 Оптимизация общей энергоэффективности и процесса рекуперации энергии

Описание

- Оптимизация энергоэффективности установки и процесса рекуперации энергии.
- Обеспечение долгосрочных контрактов на поставку тепла/пара с базовой нагрузкой с крупными потребителями тепла/пара, для обеспечения более регулярного спроса на рекуперированную энергию и, следовательно, возможно использование большей доли энергетической ценности сжигаемых отходов.
- Размещение новых установок таким образом, чтобы использование тепла и/или пара, генерируемого в котле, могло быть максимизировано посредством любой комбинации:
 - a. производство электроэнергии с использованием тепла или пара (т.е. комбинированной тепловой и электрической энергии);
 - b. поставка тепла или пара для использования в распределительных сетях централизованного отопления;
 - c. поставка технологического пара для различных, в основном промышленных, применений (см. примеры в разделе 4.3.18).

Техническое описание

Оптимизация эффективности установки заключается в снижении потерь и ограничении потребления процесса. Следовательно, увеличение выработки энергии не означает только эффективность преобразования энергии; также необходимо учитывать энергию, необходимую для самого процесса, и возможности для эксплуатации.

Оптимальная технология энергоэффективности зависит, в определенной степени, от конкретного местоположения и от эксплуатационных факторов. Примерами факторов, которые необходимо учитывать при определении оптимальной энергоэффективности, являются следующие:

- Местонахождение. Наличие пользовательской/распределительной сети для поставляемой энергии.
- Спрос на рекуперированную энергию. Особого внимания требует проблема поставки тепловой энергии, так как обычно с электричеством меньше проблем.
- Изменчивость спроса. Например, требования поставкам тепловой энергии летом и зимой будут разными. Заводы, которые экспортируют пар в качестве базисной нагрузки, могут достигать более высокого годового предложения и, следовательно, экспортировать больше рекуперированного тепла, чем установки с переменными параметрами вывода, которые должны будут охлаждать некоторое количество тепла в периоды низкого спроса.
- Климат. В целом, тепловая энергия будет иметь большую ценность в более холодном климате (хотя использование тепла для привода холодильных установок может обеспечить варианты, когда есть потребность в охлаждении/кондиционировании воздуха).
- Рыночная цена на тепловую и электроэнергию. Низкая цена на тепло приведет к переходу на производство электроэнергии и наоборот.
- Состав отходов. Более высокие концентрации коррозионных веществ (например, хлоридов) могут привести к повышенному риску коррозии, таким образом, ограничивая параметры пара (и, следовательно, возможности для выработки электроэнергии), если необходимо поддерживать доступность процесса. Состав также может меняться в зависимости от сезона, в том числе, например, отпускных сезонов, которые вызывают изменения в населенности некоторых районов.
- Изменчивость отходов. Резкие и сильные колебания состава отходов могут вызвать загрязнение и коррозию участков установки, что будет ограничивать давление пара и, следовательно, выработку электроэнергии. Изменение состава отходов в течение срока службы заводов способствует использованию конструкций, предназначенных скорее для широкого спектра отходов, чем узкоспециализированных.

[74, TWG 2004]

[28, FEAD, 2002] Оптимизация методов рекуперации энергии требует, чтобы установка сжигания была спроектирована таким образом, чтобы соответствовать требованиям потребителей энергии. Установки, которые могут производить только электроэнергию, будут проектироваться иначе, чем

установки, которые могут производить тепло или установки, которые могут производить комбинированную тепловую и электроэнергию.

Только тепловая энергия

Рекуперированная энергия может подаваться в виде горячей воды или пара (при различном давлении). Возможные потребители:

- сети централизованного отопления (ЦТС) и охлаждения (гораздо реже);
- отрасли, например, химические заводы, электростанции, опреснительные установки.

Большинству этих пользователей требуется пар, кроме ЦТС, которое может использовать либо пар, либо горячую воду. Если пользователь пара не подключен к сети ЦТС, горячая вода может использоваться в качестве энергетического конвейера.

Горячая вода часто перегревается, обычно при температуре 200°C, чтобы облегчить теплообмен в теплообменниках.

Когда ЦТС использует пар, параметры пара (давление и температура) на выходе из котла должны превышать самый высокий уровень, требуемый для ЦТС. В случае установок, поставляющих только тепло, давление пара обычно на 2 или 3 бара выше давления ЦТС, а пар перегревается на 2 бара или 30°C.

Только электрическая энергия

Два фактора способствуют увеличению количества выходной электроэнергии ТГ (турбогенератор):

- высокая энтальпия пара, то есть его высокое давление и высокая температура;
- низкая энтальпия на выходе турбины, обусловленная низкой температурой конденсации пара.

Последняя температура зависит от температуры холодного источника (воздуха или воды) и от разницы между этой температурой и температурой на выходе турбины.

В дополнение к электричеству, горячая вода может быть произведена с помощью теплообменника на выходе из турбины. [74, TWG 2004]

СНР (комбинированное производство тепловой и электрической энергии)

Производство СНР снижает потери энергии при низкой потребности в тепле, например, летом для ЦТС. Эффективное производство электроэнергии обеспечивается путем соответствующей локализации тепловыделения в тепловом цикле, то есть для подачи тепла используется пар низкого давления, в результате чего для производства электроэнергии используется более высокое давление. При СНР, когда потребность в тепле высока, давление на выходе части турбины низкого давления является постоянным. Давление зависит только от температуры холодной воды ЦТС (или другого возврата), а изменение потребности в тепле может быть сбалансировано с помощью аккумулятора или воздухоохладителя. [64, TWG 2003]

Когда потребность в тепле не высока, секция низкого давления турбины должна быть очень гибкой, потому что поток пара внутри будет варьироваться в зависимости от потребности в тепле. Например:

- от максимального значения: (100% выработки электроэнергии, нет потребности в тепле), когда 100% потока пара передается в секцию низкого давления турбины;
- до минимального значения: (максимальная потребность в тепле), когда для защиты турбины требуется только минимальный поток пара.

[74, TWG 2004]

В случае СНР отвод воздуха из турбины¹ расположен таким образом, что разница между температурой насыщения этого отвода и температурой в головной части ЦТС будет около 10°C. Этот слив жидкости, снабжающий ЦТС, обычно контролируется. Это означает, что давление поддерживается постоянным.

¹ В случае турбин с противодавлением (без секции низкого давления) давление и температура пара определяются показателями на выходе из турбины.

Экологические преимущества

Повышения извлечения и эффективного снабжения/использования энергетической ценности отходов заменяет потребность во внешней генерации этой энергии, что приводит как к экономии ресурсов, так и к предотвращению выбросов и потребления энергии от внешней электростанции.

Максимизация выгоды, получаемой от энергетической ценности отходов, наиболее часто достигается в ситуациях, когда используется СНР, поскольку это может позволить максимизацию *эксергии*. Это связано с тем, что она позволяет использовать пар более высокого давления для выработки электроэнергии, в то время как оставшаяся энергия пара (более низкое давление) все еще может подаваться и использоваться в качестве тепла. В отдельных случаях, когда поставка СНР невозможна, другие варианты могут дать оптимальное решение. [64, TWG 2003] –

Экологические показатели и эксплуатационные данные

[81, TWG 2016]

Как правило, от одной тонны ТКО на установке сжигания ТКО можно выработать от 0,4 МВтч до 0,8 МВтч электроэнергии, в зависимости от количества пара, которое в свою очередь зависит от НТС отходов, размера установки, параметров и эффективности использования пара.

При комбинированном производстве электричества и тепла можно производить дополнительно от 1,25 МВтч до 1,8 МВтч (часов при полной загрузке) тепла на тонну отходов, в зависимости от НТС отходов, но за счет уменьшения выработки электроэнергии. В таких случаях особую роль играют возможности поставки тепловой энергии, определяемые местом расположения завода. Это зависит от ряда факторов, в том числе:

- географическое положение;
- нормальные (районные) периоды использования тепла (например, в Германии 1 300-1 500 ч/год, в то время как в Дании, где большой размер сетей ЦТС обеспечивает круглогодичное снабжение всей выработкой тепла, этот показатель достигает 4000 – 8 760 ч/год; период использования тепла может быть увеличен путем подачи охлажденной воды или пара/тепла для промышленных целей).

Что касается тепла, при благоприятных условиях энергия, подаваемая после котла (в виде горячей воды или пара), может быть увеличена примерно до 90% от общей энергии, подводимой к котлу (не включая требования к внутреннему потреблению) для мусоросжигательной установки, работающей с базисной нагрузкой. При наличии высокой эффективности преобразования и потребности в базисной нагрузке (т.е. специальные меры, принятые для создания таких обстоятельств) со специально подготовленными отходами с высокой теплотворной способностью (свыше 20 МДж/кг) можно рекуперировать в общей сложности 4–5,5 МВтч тепла на тонну отходов [45, FEAD 2002]. Такие выходные уровни недостижимы с более низкими потерями теплотворной способности, например, при сжигании необработанных ТКО, которые обычно имеют НТС от 8 МДж/кг до 12 МДж/кг.

Воздействие на различные компоненты окружающей среды

Рекуперация энергии не должна препятствовать безопасному и эффективному уничтожению отходов. Например, условия высокого пара могут поставить под угрозу доступность установки. Более высокая энергоэффективность ведет к увеличению инвестиций и затрат на обслуживание, а также может привести к снижению доступности. [74, TWG 2004]

Особое внимание следует уделить конструкции котла в диапазоне температур 450–200°C, чтобы обеспечить минимальное превращение диоксида, например, предотвращение удержания пыли в таких зонах (см. раздел 4.4.14).

Определенный контроль загрязнения и общие технологии имеют высокую потребность в энергии. Некоторые примеры технологий значительного энергопотребления включают в себя:

- рукавный фильтр: снижает выбросы пыли и других веществ; несколько фильтров последовательно увеличивают потребности в потребляемой энергии;
- СКВ: сокращает выбросы NO_x и газообразных ПХДД/Ф, но, как конечный участок системы очистки дымовых газов, СКВ требуется энергия для нагрева дымовых газов;
- регенерация HCl или NaCl: внешнее испарение сточных вод;
- разогрев струи: уменьшает видимость струи;
- плавление золы: улучшение качества золы.

Потребность в энергии самого мусоросжигательного завода находится в диапазоне 2–5% теплопроизводительности (для колосниковых печей или ротационных печей) и 4–10% в случае псевдоожиженных слоев. [74, TWG 2004]

Технические соображения, касающиеся применимости

Диапазон эффективности, который может быть достигнут, в значительной степени зависит от химической и физической характеристики сжигаемых отходов (т.е. ТКО, опасные отходы, осадки сточных вод и т.д.), а также от их теплоты сжигания. В целом, более высокая электропроизводительность может быть достигнута, когда отходы содержат более низкие и/или менее переменные концентрации веществ, усиливающих коррозию в котлах. Поскольку высокотемпературная коррозия становится все более серьезной проблемой при более высоких параметрах пара, потребность в высокой доступности установки может стать ограничивающим фактором.

[29, Energy subgroup, 2002] Зачастую при использовании рекуперированной энергии в качестве тепла, часть поставляемого тепла фактически не используется. В некоторых случаях потери от системы, которая снабжается теплом, могут быть значительными, потому что спрос на полную нагрузку не постоянен. Обычно рекуперация тепла может быть максимизирована в ситуациях, когда:

- потребитель – это отрасль, имеющая спрос на всю рекуперированную энергию;
- отходы могут храниться, а затем сжигаться, когда потребуются производство тепла (это позволяет избежать потери энергии топлива);
- потребности сети централизованного отопления превышают энергию, поставляемую установкой сжигания отходов.

Последний случай чаще всего встречается в городах или других местах с обширными сетями централизованного отопления.

Если подходящая сеть распределения и использования тепла недоступна, это ограничивает возможности и обоснование достижения высоких уровней рекуперации тепла и, следовательно, ограничивает способность процесса экспортировать всю доступную энергию, тем самым затрудняя достижение самых высоких уровней эффективности.

Поэтому выбор места, где будет построен завод, и европейской (климатической) зоны, в которой он будет расположен (например, холодный климат выгоден для экспорта тепла), имеет решающее значение при определении доступных путей отвода производимой энергии и, следовательно, возможной эффективности.

Таким образом, возможности увеличения общего извлечения энергии из новых установок сжигания отходов являются наиболее значительными при выборе их местоположения. Решение разместить завод таким образом, чтобы это могло быть экономически связано с подходящей сетью распределения энергии, будет, как правило, оказывать гораздо большее влияние на общее извлечение энергии, чем технологический выбор, сделанный на действующей установке.

Снижение энергопотребления установки может повлечь за собой принятие решений относительно типа и объема используемой системы очистки дымовых газов. Уместен сбалансированный подход к таким решениям, т.е. учитывающий общее стремление снизить энергопотребление установки и степень снижения загрязнения.

Экономические аспекты

Стоимость поставляемой электроэнергии и тепла оказывает большое влияние на экономику инвестиций, направленных на увеличение этих объемов производства. В некоторых случаях выплачиваются субсидии, что обеспечивает приемлемые цены на производимую электроэнергию. В других случаях к выгодным ценам на тепло может привести высокий спрос в определенных районах. В таких случаях доход, получаемый из этих источников, может сделать капиталовложения для увеличения объема производства более благоприятными.

Для заводов, поставляющих только электроэнергию, повышение электропроизводительности приводит к увеличению доходов от дополнительной вырабатываемой/продаваемой электроэнергии, но также влечет за собой более высокие инвестиционные затраты и часто более высокие затраты на

техническое обслуживание. Поэтому цена (проданного) кВтч будет играть ключевую роль при принятии решения. [74, TWG 2004]

Для СНР, чем больше энергии экспортируется в виде тепла, тем меньше выгода от повышения эффективности выработки электроэнергии. [74, TWG 2004]

Мотивы внедрения

Основными мотивами повышения энергоэффективности являются благоприятные экономические условия. Это в свою очередь зависит от таких факторов, как:

- климат;
- место нахождения;
- цены на тепло и электроэнергию.

Более высокий доход от продажи энергии может, в частности, позволить следующее:

- Повышение эффективности экспорта электроэнергии до 20-30% (например, 0,6–0,9 МВтч/т для необработанных смешанных ТКО 2,9 МВтч/т). Более высокие уровни достигаются за счет использования систем предварительной обработки отходов (следует отметить, что этапы предварительной обработки часто энергозатратны и могут даже нивелировать повышенную эффективность на этапе сжигания с точки зрения общей системы), включая производство топлива из отходов сжигания в кипящем слое, и увеличенные параметры пара выше 40 бар и 400°C.
- Инвестиции в тепловые или паровые сети для повышения способности использовать имеющуюся энергию, чтобы повысить эффективность на уровне от 80% до 90% (например, > 2,3 МВтч/т для необработанных смешанных ТКО 2,9 МВтч/т), где есть круглогодичный спрос на тепло.
- Вложение средств в методы получения доступного тепла из низкотемпературных источников, которые в противном случае могли бы быть неэкономичными, например, конденсационные скрубберы и тепловые насосы (см. разделы 4.4.11 и 4.4.12).

С точки зрения оптимизации рекуперации энергии, снижения технического риска и снижения затрат, теплоснабжение выгодно там, где это возможно. Однако это все еще зависит от местных условий и в значительной степени от отпускных цен на электроэнергию и тепло. Если (существенная) часть тепла не может быть использована, то СНР вполне может быть правильным решением. Если никакое тепло не может быть впоследствии реализовано, то хорошей практикой, как правило, является использование доступной энергии для выработки электроэнергии.

Только тепло

Ключевой движущей силой является спрос на производимую тепловую энергию. Поэтому расположение завода имеет большое значение.

Важным фактором является срок действия контракта на поставку тепловой энергии. Часто промышленные клиенты не могут взять на себя обязательства более чем на один или два года. Это плохо сочетается с мусоросжигательными заводами, где на проект может потребоваться несколько лет, прежде чем завод начнет работать; финансирование и эксплуатация мусоросжигательных заводов, как правило, являются долгосрочными (15–25 лет).

Наиболее благоприятная ситуация – когда все рекуперированное тепло может быть продано для использования в качестве обогрева. Это может произойти с промышленными потребителями или с ЦТС либо в более холодном климате, либо при наличии очень обширных сетей ЦТС с базисной нагрузкой, превышающей производительность станций².

В тех случаях, когда не все производимое тепло может быть продано, основной целью является использование оставшейся тепловой энергии для выработки электроэнергии. Решение зависит от оставшегося количества тепловой энергии, а также от капитальных вложений и доходов, которые будут получены от продажи электроэнергии.

² Некоторые заводы, которые сообщают о 100-процентном экспорте тепла, фактически подают пар другой компании, которая затем превращает его в электричество, например, Брюссель, Бельгия; Мец, Франция; Ванкувер, Канада. Среди восьми немецких заводов, продающих только тепло, все заводы, которые продают большое количество тепла на тонну отходов, подают свое тепло непосредственно на электростанцию и, как правило, исключительно в качестве технологического пара.

Только электричество

Если для производимой тепловой энергии нет потребителя, то единственным вариантом является выработка электроэнергии. Увеличение электрической мощности может быть достигнуто с помощью увеличения параметров пара (см. раздел 4.4.5). Выбор параметров пара (высокий или низкий) чаще всего проводится на экономической основе

Технологический риск также является фактором, так как он увеличивается, когда используются более высокие параметры пара (например, выше 40 бар и 400°C для смешанных коммунальных отходов), и при ненадлежащем управлении и обслуживании установка может впоследствии потерять работоспособность.

CHP

Обычно CHP предлагает решение для увеличения общей выработки энергии, когда может быть продана только часть тепла. CHP особенно эффективна, если температура требуемого тепла низкая.

ПримерыУСТКО:

- Avfallskraftvärmeverket Renova, Гётеборг (SE06) и Umeå Energi AB, Умео (SE02) – высокий уровень внутренней энергетической интеграции с целью максимизации подачи тепла в локальные сети.
- Kymijärvi II, Лахти (FI03) и Рюдерсдорф (DE84) – высокие параметры пара и электрическая мощность.
- Indaver, Беверен (BE07) – подача технологического пара напрямую в прилегающую промышленность.
- UVE (unité de valorisation énergétique des déchets), Мец (FR57), получает деминерализованную воду из близлежащей промышленности, преобразует ее в пар и экспортирует ее обратно в промышленность для производства тепла или электроэнергии в зависимости от потребностей отрасли.

Примеры УСТКО, вырабатывающих горячую воду для централизованного отопления:

Rungis (FR64), La Rochelle (FR23), Laanila WtE Plant, Оулу (FI04), Vantaan Jätevoimala, Вантаа (FI05), Westenergy Oy Ab, Мустасаари (FI06), MVA Pfaffenau, Вена (AT03).

Примеры установок, обеспечивающих подачу пара для центрального отопления:

Biomasseheizkraftwerk Zolling GmbH, Цоллинг (DE04), Allington Incinerator, Мейдстон (UK07), Waste-to-Energy Plant HVC Дордрехт (NL03).

Примеры установок, подающих пар в промышленность:

Nantes-West (FR).

Примеры заводов, производящих только электричество:

Лондон (UK 09.1), MVA Zistersdorf, Цистерсдорф (AT07).

Примеры УСТКО, поставляющих пар для установок по производству электроэнергии:

Брюссель (BE); несколько заводов в Германии; Ванкувер (Канада).

Примеры заводов по сжиганию опасных отходов:

- BASF Ludwigshafen, Людвигсхафен (DE26), SAV Biebesheim, Бибесхайм-на-Рейне (DE29) и SEDIBEX, Сандувиль (FR111) – производство электроэнергии и теплоснабжение;
- Фо-Сюр-Мер (FR104) – произведенный пар полностью используется на химических объектах;
- Немецкая химическая промышленность (19 заводов, производительность > 500 000 т/г) с использованием пара на площадке для других процессов, электричества (4 завода) и дополнительного централизованного отопления;
- AGV, Тростберг (DE19) – рекуперация энергии путем нагрева термомасла для дальнейшего использования в химическом производстве;
- SAV, Гамбург (DE30) – пар, который не используется внутри, целиком экспортируется в соседнюю установку централизованного отопления.

Завод по сжиганию осадка сточных вод в Лодзи (PL07) использует все тепло, извлеченное из дымовых газов, для нагрева псевдоожижающего воздуха и для производства пара, используемого для сушки осадка перед сжиганием (без экспорта энергии).

Завод по сжиганию медицинских отходов ZAVIN C.V., Дордрехт (NL04) подает пар на близлежащую УСТКО HVC Dordrecht (NL03).

[74, TWG 2004], [81, TWG 2016]

Справочная литература

[29, Energy subgroup, 2002], [28, FEAD et al. 2002], [30, UBA, 2002], [5, RVF 2002], [64, TWG 2003]

4.4.2 Сокращение объема дымовых газов

Описание

Уменьшение потока дымовых газов.

Техническое описание

[28, FEAD et al. 2002]

Потери дымовых газов соответствуют теплу, выделяющемуся из установки (обычно учитывается на уровне котла) вместе с дымовыми газами. Фактическая потеря зависит от потока дымовых газов и его температуры (энтальпии).

Одной из возможностей снижения этих потерь является уменьшение потока дымовых газов; для достижения этой цели возможны несколько вариантов:

- уменьшение избытка воздуха, например, путем улучшения распределения первичного и/или вторичного воздуха;
- рециркуляция дымовых газов, то есть замена части вторичного воздуха дымовыми газами.

Экологические преимущества

Снижение потребляемой системой очистки дымовых газов энергии.

Экологические показатели и эксплуатационные данные

Для УСТКО потери энергии через дымовые газы обычно составляют 13–16% от энергии, поступающей из отходов, но могут быть снижены до 5–8%, если дымовые газы охлаждаются до точки росы, и дополнительное количество энергии до 20% от поступающей энергии может быть рекуперировано с помощью низкотемпературных экономайзеров и/или конденсаторов дымовых газов. Котлы с кипящим слоем имеют потери дымовых газов 8–9%.

Воздействие на различные компоненты окружающей среды

Уменьшение потока газа за счет уменьшения избытка воздуха и рециркуляции дымовых газов может увеличить риск коррозии. Если уровни снижаются в значительной степени, это может поставить под угрозу выгорание газа и оставить продукты неполного сжигания в дымовом газе.

Технические соображения, касающиеся применимости

Технология, в целом, применима. Степень, в которой поток дымовых газов может быть уменьшен, ограничена необходимостью достижения полного выгорания отходов и, например, при использовании рециркуляции дымовых газов, риском коррозии.

Экономические аспекты

Информация не предоставлена.

Мотивы внедрения

Снижение общего энергопотребления процесса и увеличение использования энергии. [74, TWG 2004]

Примеры

Множество заводов в Европе.

Справочная литература

[28, FEAD et al. 2002], [64, TWG 2003]

4.4.3 Сокращение общего энергопотребления процесса

Описание

- Использование комплексного подхода для общей оптимизации энергопотребления установки вместо оптимизации каждого отдельного технологического блока [74, TWG 2004].
- Установка высокотемпературного оборудования перед оборудованием с более низкой или высокой температурой.
- Использование теплообменников для снижения энергозатрат.
- Использование энергии, произведенной мусоросжигательным заводом, которая в противном случае не использовалась бы или не экспортировалась, для замещения импортируемой энергии из внешних источников.
- Использование частотно-регулируемого вращающегося оборудования.
- Использование рекуперативных тормозных систем.

Техническое описание

Сам процесс сжигания требует энергии для работы установки. Эта энергия может быть извлечена из отходов. Количество требуемой энергии зависит от типа сжигаемых отходов и конструкции установки.

Снижение энергопотребления установки должно быть сбалансировано с необходимостью обеспечения эффективного сжигания, обработки отходов и контроля выбросов (особенно в воздух).

Основные источники значительного потребления энергии в ходе процесса:

- предварительная обработка отходов (шредеры и т.д.);
- оборудование для перекачки/погрузки отходов (например, насосы/краны и грейферы/шнековые питатели);
- топливо для поддержания процесса горения и запуска/остановки установки (наиболее распространено для отходов с низкой теплотой сжигания);
- вытяжки принудительной и искусственной тяги для преодоления перепадов давления и для подачи воздуха для сжигания;
- конденсаторы с воздушным охлаждением;
- нагрев дымовых газов после мокрой обработки дымовых газов (которая охлаждает дымовые газы больше, чем полумокрые и сухие системы);
- подогрев дымовых газов перед определенными устройствами контроля загрязнения воздуха (например, РФ, системы СКВ);
- подогрев дымовых газов перед окончательным выбросом для уменьшения видимости струи;
- потребление электроэнергии другими устройствами.

Во многих случаях, особенно когда происходит постепенное изменение технологии очистки дымовых газов, чем ниже требования к выбросам, тем больше энергии потребляется системой очистки дымовых газов. Поэтому важно учитывать влияние увеличения потребления энергии на различные среды при попытке снизить уровень выбросов.

Следующие технологии снижают энергопотребление процесса:

- Использование комплексного подхода для общей оптимизации энергопотребления установки вместо оптимизации каждого отдельного технологического блока [74, TWG 2004].
- Установка высокотемпературного оборудования перед оборудованием с более низкой или высокой температурой падения.
- Использование теплообменников для снижения энергозатрат, например, для систем СКВ.
- Использование энергии, произведенной мусоросжигательным заводом, которая в противном случае не использовалась бы или не экспортировалась, для замещения импортируемой энергии из внешних источников.
- Использование частотно-регулируемого вращающегося оборудования для тех частей оборудования, которые работают с переменной скоростью, таких как воздуходувки и насосы, если они часто работают при пониженной нагрузке. Это существенно снизит их среднее энергопотребление, потому что колебания давления будут происходить с помощью различных скоростей, а не клапанов.
- Использование рекуперативных тормозных систем на кране подачи отходов.

Рекуперативная тормозная система подает энергию, генерируемую во время опускания и замедления, обратно в сеть питания. Эта энергия также может быть использована для питания других движений крана. Рекуперативная тормозная система устраняет необходимость в тормозных резисторах [92, Denmark, 2015].

Экологические преимущества

Снижение энергопотребления процесса снижает потребность в энергии из внешних источников и/или позволяет экспортировать большее количество энергии. Извлеченная дополнительная энергия может быть предоставлена для использования.

Экологические показатели и эксплуатационные данные

[28, FEAD et al. 2002]

Для УСТКО потребление электроэнергии обычно составляет от 60 кВтч/т отходов до 190 кВтч/т, в зависимости от НТС поступающих отходов.

Средняя величина собственного потребления электроэнергии в 75 кВтч/т отходов сообщается для сжигаемых отходов мусоросжигательной УСТКО с НТС 9 200 кДж/кг, которые вырабатывают только электрическую энергию (не тепло), используя полусухую систему очистки дымовых газов и систему СНКВ de-NO_x, и без разряжающего устройства. В установке сжигания ТКО, такой как эта, без предварительной обработки, подогрева дымовых газов или подогрева с уменьшением видимости струи основные уровни потребления электроэнергии примерно равны:

- вентилятор искусственной тяги: 30%;
- вентилятор принудительной тяги: 20%;
- питательные насосы и другие водяные насосы: 20%;
- конденсатор с воздушным охлаждением: 10%;
- другие: 20%.

[74, TWG 2004]

Установки с большей пропускной способностью могут достичь некоторой экономии за счет масштаба, что приведет к снижению энергопотребления на единицу обработанных отходов.

Для обращения с отходами и для обработки остатков может использоваться сетевая рекуперативная тормозная система. Система такого типа снижает энергопотребление до 30% и устраняет необходимость в обслуживании резисторов. Она стабилизирует подачу электроэнергии на кран против сетевых помех и фильтрует гармонические искажения от крана к питающей сети. Она обеспечивает более высокие скорости подъема, перемещения тележки и перемещения моста, когда напряжение питания меньше 500В. Например, если напряжение питания 380В, эта технология увеличивает скорость крана на 30% [92, Denmark, 2015].

Воздействие на различные компоненты окружающей среды

Снижение энергопотребления при проектировании и эксплуатации систем очистки дымовых газов может привести к увеличению выбросов в атмосферу.

Технические соображения, касающиеся применимости

Большая часть потребляемой дополнительной энергии возникает в результате применения дополнительных технологий очистки дымовых газов, которые сами потребляют энергию. Сокращение энергопотребления процесса за счет исключения этих компонентов нецелесообразно, если оно не уравновешивается использованием других технологий, обеспечивающих такие же или лучшие экологические показатели.

Варианты оптимизации являются наиболее эффективными на новых установках, где есть возможность провести анализ и выбрать из множества общих конструкций те решения, которые обеспечивают баланс между сокращением выбросов и потреблением энергии.

На существующих установках варианты могут быть более ограниченными из-за затрат (и дополнительного технического риска), связанных с полным перепроектированием. Установки, которые были модернизированы для достижения лучших экологических показателей, как правило, должны соответствовать оборудованию для очистки конечного газа на выходе из дымохода и, следовательно, будут иметь более высокие показатели энергопотребления.

Экономические аспекты

Экономия эксплуатационных затрат может быть достигнута за счет снижения потребности в энергии из внешних источников. Там, где сэкономленная энергия может быть экспортирована, это может привести к дополнительному доходу.

Капитальные затраты на значительную модернизацию на существующих заводах могут, в некоторых случаях, быть высокими в зависимости от выгод, которые могут быть достигнуты.

Стоимость установки сетевой рекуперативной тормозной системы зависит от размера крана [92, Дания, 2015].

Мотивы внедрения

Движущей силой является дополнительный доход от продажи энергии или снижение эксплуатационных расходов из-за сокращения потребления энергии.

Примеры

Информация не предоставлена.

Справочная литература

[28, FEAD et al. 2002], [31, Energy subgroup 2003], [64, TWG 2003], [92, Denmark, 2015].

4.4.4 Выбор турбины**Описание**

Рассматриваемые технологии:

- турбины с противодавлением;
- конденсационные турбины;
- конденсационные турбины с отбором пара;
- двухступенчатые конденсационные турбины.

Техническое описание

Турбины с противодавлением используются, когда значительное и, возможно, постоянное количество тепла может экспортироваться. Уровень противодавления зависит от необходимого уровня температуры подводимого тепла. Давление выхлопа турбины с противодавлением выше атмосферного (например, 4 бара абсолютного давления) [74, TWG 2004]

Конденсационные турбины используются в тех случаях, когда имеется мало возможностей или вообще нет возможности экспортировать производимое тепло, или, когда подаваемый пар имеет слишком высокое давление (для турбины с противодавлением) и рекуперированная энергия должна быть преобразована в электричество. На эффективность производства электроэнергии влияет система охлаждения (см. также раздел 4.4.6). Давление выхлопа конденсационной турбины находится под вакуумом (например, абсолютное давление 0,2 бар в зависимости от нагрузки турбины и температуры окружающей среды). [74, TWG 2004]

Конденсационные турбины с отбором пара представляют собой конденсационные турбины со значительным отбором пара при промежуточном давлении для определенной цели. Почти всегда есть некоторые извлечения для технологического использования из конденсационной турбины. Конденсационные турбины с отбором пара используются, когда значительное и различное количество тепла или пара может быть экспортировано. Необходимое количество пара (низкого давления) отбирается из турбины, а оставшийся пар конденсируется.

Двухступенчатые конденсационные турбины нагревают пар между двумя ступенями, используя часть входного пара для перегрева пара на второй ступени, чтобы достичь более высокой выработки энергии при низких температурах конденсации, не повреждая турбину. [74, TWG 2004]

Экологические преимущества

Выбранный тип влияет на производство и выработку электроэнергии.

Выпуск пара приводит к оптимизированному использованию энергии. Экономия на ископаемом топливе снижает выбросы загрязняющих веществ и парниковых газов за счет сокращения использования дополнительной энергии от внешних электростанций.

Экологические показатели и эксплуатационные данные

Турбины на установках сжигания ТКО обычно не очень большие, как правило 10 МВт (в диапазоне от 1 МВт до 74 МВт). Количество отводов обычно ограничено тремя или четырьмя (что отличается от электростанций, где турбина может иметь гораздо больше отводов).

Секция низкого давления турбины нуждается в минимальном потоке пара для охлаждения лопастей, предотвращения вибраций и конденсации.

Если в некоторых условиях работы оставшийся поток пара слишком мал, вместо одного турбогенератора с секцией высокого давления и секцией низкого давления также возможно наличие двух турбин (одной высокого давления и одной низкого давления). Выбор проводится в зависимости от местных условий и может меняться со временем. [74, TWG 2004]

Чтобы улучшить выработку электроэнергии с помощью конденсационных турбин, пар, необходимый для процесса сжигания (например, для деаэратора, воздухонагревателя, сажепродувателей), обычно отбирается из турбины после его расширения в части высокого давления турбины. Это делается с помощью отбора (также называемого «отводом» или «спуском»). Сообщается, что эти выпускные отверстия являются «неконтролируемыми», поскольку давление зависит от нагрузки турбины (давление может быть разделено на два при выпускном отверстии, когда расход пара уменьшается на 50%). Отводы расположены таким образом, что давление достаточно высоко для технологического процесса, независимо от нагрузки турбины.

Воздействие на различные компоненты окружающей среды

Низкие температуры конденсации на конце турбины могут вызвать поломку лопасти, вызванную коррозией, а также износ гидравлического удара из-за высокого содержания влаги в паре, которое, как правило, ограничено примерно менее чем 10%. [74, TWG 2004]

Технические соображения, касающиеся применимости

Выбор турбины должен быть сделан одновременно с установлением остальных характеристик парового цикла и зависит в большей степени от имеющейся инфраструктуры и/или от энергетического рынка, чем от процесса сжигания. [64, TWG 2003]

Экономические аспекты

Сообщается, что двухступенчатые конденсационные турбины требуют установки дополнительных соединений в паровой системе, которые, в случае относительно небольших турбин, типичных для установок сжигания отходов, являются относительно дорогими по сравнению с итоговым увеличением электрической мощности.

Мотивы внедрения

Информация не предоставлена.

Примеры

1. DE54

При отводе пара из конденсационной турбины можно найти различные варианты использования энергии, и общее использование энергии можно оптимизировать. Пар подается в турбину при температуре 400°C и давлении 40 бар. Отвод пара при температуре около 300°C и 16 бар для локального и удаленного использования пара и при температуре около 200°C и 4,8 бар исключительно для локального использования приводит к оптимальному использованию энергии.

Пар используется локально для подогрева воздуха и воды для локальных систем и строений, а также для очистки дымовых газов. Удаленный пар в основном используется для поддержки производственных процессов, а также в качестве удаленного источника для отопления. [64, TWG 2003]

2. Завод Rennes (FR) – модернизированный

Две линии по 5 т/ч отходов, производящих пар при абсолютной температуре 26 бар и 228°C (насыщенной) для ЦТС. В 1995 году была добавлена третья линия по 8 т/ч отходов, производящая пар при том же давлении и 380°C (перегрев 150°C).

Система ТГ 9,5 MVA получает смешанный пар из трех линий с промежуточным перегревом. Тем не менее, ТГ может работать с любой из трех отключенных линий. Это означает, что завод может работать с перегревом 150°C, когда две линии 5 т/ч остановлены, но также и с насыщенным паром, когда линия 8 т/ч отключена. Турбина использует только насыщенный пар.

3. Три завода в Париже (FR)

Эти установки сжигают в общей сложности 1 800 000 т/г и поставляют 4 000 000 т/г пара (2 900 000 МВтч/г) в сеть централизованного отопления Парижа, что соответствует 45% потребности. Они также вырабатывают 290 000 МВтч/г электроэнергии, из которых 160 000 МВтч/г поставляются в национальную сеть.

Пар подается при давлении, регулируемом клапаном между 12 бар и 21 бар в соответствии с требованиями ЦТС, и подается напрямую в сеть ЦТС без теплообменников. Переменная часть пара возвращается в виде конденсата. Заводы по деминерализации способны производить две трети скорости потока пара.

Большой размер потребности ЦТС по сравнению с генерируемым паром и тот факт, что три установки, снабжающие одну и ту же сеть ЦТС, принадлежат одному владельцу и эксплуатируются одной и той же компанией, приводят к определенному выбору оборудования.

[74, TWG 2004]

Справочная литература

[64, TWG 2003]

4.4.5 Увеличение параметров пара и применение специальных материалов для уменьшения коррозии в котлах

Описание

Рассматриваемые технологии:

- облицовка;
- двухслойные котельные трубы;
- керамический огнеупорный материал.

Техническое описание

Более высокие параметры пара повышают эффективность турбины и приводят к увеличению выработки электроэнергии на тонну сгоревших отходов. Однако из-за коррозионной природы газов, образующихся в процессе сжигания отходов, мусоросжигательные заводы не могут использовать те же температуры и давления, что и некоторые первичные генераторы энергии, например, 100–300 бар и 620°C. Например, для электростанций, работающих на угле, нормальная максимальная температура составляет 540°C.

Существует различие между:

- давлением пара, которое создает температуру (давление насыщенного пара) в экранах (которые могут быть защищены оболочкой) и в теплообменных пучках; а также
- температурой пара (перегретый пар), которая создает температуру в перегревателях. [64, TWG 2003]

В целом, если не приняты специальные меры, чтобы избежать воздействия коррозии (что приводит к снижению доступности установки и увеличению затрат), установки сжигания ТКО, как правило, ограничены параметрами в 40–45 бар и 380–400°C. Выше этих значений существует компромисс между:

- расходами на специальные меры, например, специальные материалы для уменьшения коррозии;
- затратами на потерянную доступность установки, при которой требуется повышенное обслуживание;
- стоимостью любой дополнительной произведенной электроэнергии.

Чтобы уменьшить влияние коррозии, можно использовать покрытие из сплава никеля/хрома (основные компоненты) или другие специальные материалы для защиты открытых поверхностей теплообмена от дымовых газов. Оболочка обычно начинается после огнеупора и покрывает первый проход и начало второго прохода котла, но также может быть расширена до третьего прохода и даже до конечных труб перегревателя в четвертом проходе, в зависимости от конкретных

потребностей завода в защите. Огнеупорная стенка также может охлаждаться воздухом (небольшое избыточное давление), чтобы уменьшить коррозию труб позади огнеупора. Для защиты котельных труб также используется кафель.

Высокотемпературная коррозия мембранных стенок и перегревателей может быть снижена путем снижения температуры дымовых газов до температуры ниже 650°C перед перегревателями и/или защиты теплообменных поверхностей кафелем или специальными сплавами.

Основным преимуществом специальных сплавов над керамическим покрытием на стенках печи является лучшая передача тепла в котел, что приводит к снижению температуры дымовых газов перед первыми конвекционными пучками.

Альтернативой облицовке является установка двухслойных котельных труб. Двухслойные трубы состоят из двух труб, внутренней и внешней, металлургически связанных друг с другом. Они бывают разных сплавов. Установка двухслойных котельных труб в котлах сжигания отходов осуществляется с 1970-х годов. [64, TWG 2003]

Экологические преимущества

- Большая доступность установки означает, что уменьшаются более высокие выбросы, связанные с пуском и остановкой.
- Высокая теплоемкость печи огнеупорной футеровки помогает уменьшить колебания температуры, которые могут возникнуть при сжигании отходов с переменной НТС, способствуя тем самым более стабильному сжиганию и снижению выбросов на стадии горения.
- Более высокая электрическая мощность на тонну сгоревших отходов может быть достигнута путем повышения давления пара и/или температуры. Эта более высокая эффективность уменьшает внешнее (например, на электростанциях) использование ископаемого топлива (экономика ресурсов) и связанные с этим выбросы CO₂ (ПГ). [74, TWG 2004]

Экологические показатели и эксплуатационные данные

Более высокие параметры пара связаны с повышенным технологическим риском и требуют высокого уровня квалификации для оценки и обслуживания.

Воздействие на различные компоненты окружающей среды

Повышенные параметры пара без применения специальных антикоррозийных мер увеличивают риск коррозии и связанные с этим расходы на техническое обслуживание и потерю работоспособности.

Технические соображения, касающиеся применимости

Использование увеличенных параметров пара применимо ко всем мусоросжигательным установкам, которые используют только электроэнергию или где тепловая доля СНР является низкой, для увеличения выработки электроэнергии.

Технология имеет ограниченную применимость к процессам, которые имеют надежные варианты подачи пара или тепла, поскольку в таких случаях нет необходимости увеличивать электрическую мощность и нести связанный с этим дополнительный технический риск и затраты.

Применение облицовки и других специальных материалов используется для уменьшения коррозии при повышенных параметрах пара и/или содержания высокоагрессивных отходов.

Существующие заводы, которые на практике столкнулись с повышением НТС в поставляемых отходах, могут извлечь выгоду из использования специальных материалов и облицовки, так как это может уменьшить затраты на обслуживание и позволить увеличить электрическую мощность.

Экономические аспекты

Стоимость облицовки может быть уценена в зависимости от снижения затрат на техническое обслуживание и доходов от продажи электроэнергии и повышения доступности оборудования.

Сообщается, что стоимость облицовки составляет около 3000 евро/м².

Диапазон увеличения дохода зависит от цены производимой энергии.

Мотивы внедрения

Более высокие цены на электроэнергию будут стимулировать применение этой технологии, поскольку это позволит быстрее окупить требуемые инвестиции.

Примеры

Высокие параметры пара:

- Оденсе (DK): 50 бар, 520°C, с облицовкой.
- AVI Амстердам, AVR Ботлек, AVR AVIRA и AVI Вийстер (все NL).
- AVE-RVL Ленцинг (AT): мусоросжигатель с циркулирующим кипящим слоем, принимающий различные фракции отходов, включая приблизительно 60% пластика, производит пар при 78 бар и 500°C.
- Riikinvoima (FI): мусоросжигатель с циркулирующим кипящим слоем, получающий механически предварительно обработанные ТКО, вырабатывает пар при 80 бар и 500°C.
- Ivry (FR): 75 бар, 475°C.
- Матапо (ES): 60 бар, 380°C.
- Lasse Sivert Est Anjou (FR): 60 бар, 400°C.

Модернизация:

- Ренн (FR): 26 бар, 228°C (состояние насыщения); была добавлена третья линия с котлом, рассчитанным на 26 бар, 380°C; объединенный пар из обеих линий направляется в турбогенератор.

Применение специальных материалов:

- Модернизация: Тулон, Тиверваль (FR), Матапо (ES), Сток-он-Трент (UK).
- Новый завод: Lasse Est Anjou (FR). [74, TWG 2004]

Справочная литература

[32, Denmark, 2003], [28, FEAD et al. 2002], [2, InfoMil 2002], [3, Austria 2002], [64, TWG 2003]

4.4.6 Снижение давления в конденсаторе (то есть улучшение вакуума)

Описание

Рассматриваемые технологии:

- воздушное охлаждение;
- испарение водяного охлаждения;
- водяное охлаждение конвекцией.

Техническое описание

После выхода из секции низкого давления паровой турбины пар конденсируется в конденсаторах, а затем тепло передается в охлаждающую жидкость. Конденсированная вода из пара рециркулируется и используется в качестве питательной воды котла. [74, TWG 2004]

Чем ниже температура источника охлаждения, тем выше падение энтальпии и, следовательно, тем выше выработка электрической энергии. По соображениям климатических условий легче достичь этого низкого давления в более холодных климатических условиях. Это одна из причин, почему заводы в северных странах могут достигать большей энергоэффективности, чем в южных странах [64, TWG 2003]. В любом случае, последние ступени турбины должны быть рассчитаны на соответствующие (низкие) условия вакуума, чтобы избежать износа из-за гидравлического удара. По этой причине максимальное содержание влаги в паре обычно ограничено примерно 10%.

Самые низкие температуры достигаются при конденсации пара с использованием воздуха или воды в качестве охлаждающей жидкости. Эти температуры соответствуют давлениям ниже атмосферного давления (то есть вакуума).

В тех случаях, когда большая сеть ЦТС использует производство УСТКО при полной нагрузке в течение всего года, как это происходит в Швеции или Дании, источником холода является охлажденная вода, возвращаемая ЦТС (см. также раздел 3.2.3.2 Справочного документа по

наилучшим доступным технологиям для крупных установок сжигания), температуры которой иногда могут быть очень низкими (например, 40°C или 60°C, см. таблицу 4.9 в разделе 4.4.11).

Как только пар пересекает линию насыщения на диаграмме Мольте, он начинает намокать, и процентное содержание влаги увеличивается с расширением пара в турбине. Во избежание повреждения конечных ступеней турбины (эрозии под действием капель воды) количество влаги должно быть ограничено (часто до 10%).

[74, TWG 2004]

Экологические преимущества

Увеличение выработки электроэнергии возможно за счет улучшения вакуума.

Экологические показатели и эксплуатационные данные

Выгода от электрической мощности больше при уменьшении давления в конденсаторе, и поэтому технологии являются более выгодными для конденсационных турбин. [64, TWG 2003]

Давление в конденсаторе/типы конденсаторов

С применением АСС (конденсатор с воздушным охлаждением) и температуры воздуха 10°C, обычно можно получить давление в конденсаторе от 100 мбар до 85 мбар в зависимости от поверхности конденсатора. Когда температура окружающей атмосферы составляет 20°C, давление в том же АСС будет соответственно от 200 мбар до 120 мбар. Конструкция представляет собой компромисс между нормальной поверхностью теплообмена и низким давлением конденсации. [74, TWG 2004]

С применением **гидроконденсатора** (прямоточный охлаждающий конденсатор, разомкнутый контур), в котором используется речная вода при 10°C, абсолютное давление в конденсаторе будет около 40–80 мбар, поскольку теплообмен с водой легче.

С применением **капельной градирни**³ температура воды связана с температурой воздуха и его гигрометрией (температурой влажной колбы). Если температура влажной колбы составляет 10°C, давление в конденсаторе будет около 60 мбар. Паровой шлейф над башней может быть уменьшен (но не предотвращен) конструкцией градирни, и будет небольшое повышение давления в конденсаторе. Этот тип охладителя может включать риск легионеллы из-за испарения воды и прямого контакта. Он в основном применяется для незначительных требований к охлаждению (таких как вспомогательное оборудование турбины). [74, TWG 2004]

Теоретически, выработка электрической энергии увеличивается с 24,1% до 25,8% (+ 7%), если вакуум улучшается со 100 мбар до 40 мбар. [64, TWG 2003]

Воздействие на различные компоненты окружающей среды

В разомкнутом контуре, то есть в прямоточном охлаждающем гидроконденсаторе, при условии повышения температуры воды на 10°C, необходимый расход воды будет составлять около 180 м³/МВтч.

В замкнутом контуре с градирней расход воды (испаренная вода) составляет примерно 2,5 м³/МВтч или 3 м³/МВтч.

Как для систем с разомкнутым, так и с закрытым контуром может потребоваться добавление химических веществ или других технологий, чтобы уменьшить загрязнение в системе теплообмена и, возможно, очистить техническую воду. Влияние сброса намного больше для открытых систем.

Низкое давление в конденсаторе увеличивает влажность пара, что может увеличить риск износа турбины [74, TWG 2004]

Воздушные конденсаторы создают шумовые выбросы. Поэтому важно детальное проектирование (например, экранирование, частотный преобразователь уровня шума).

³) Градирня или охлаждающая башня. Охлаждающей жидкостью конденсатора пара является вода. Эта вода находится в замкнутом контуре и сама охлаждается путем контакта с окружающей атмосферой в градирне. В этой башне часть воды испаряется. Это приводит к образованию водяного пара над башней.

Очистка поверхности конденсаторов очень важна для их эффективности и должна проводиться при низких температурах. [74, TWG 2004]

Технические соображения, касающиеся применимости

Там, где выработка электроэнергии имеет более низкий приоритет (например, когда возможна подача тепла), давление на выходе турбины может быть выше атмосферного. В этом случае говорят, что турбина работает с противодавлением, а (оставшийся) пар конденсируется в самом конденсаторе.

Конденсаторы с воздушным охлаждением часто являются единственно возможным типом применения, особенно в засушливых районах. [74, TWG 2004]

Гидроконденсаторы с разомкнутым контуром подходят только для мест, где имеется обильная подача воды, которая может выдержать нагревательный эффект последующего сброса.

Экономические аспекты

Использование технологий снижения более высокого давления будет наиболее экономичным, если электроэнергия имеет более высокую цену.

Для АСС более высокие перепады давления требуют оборудование с большей площадью поверхности, а также более эффективные двигатели вентиляторов, что увеличивает затраты.

Мотивы внедрения

Цены на электроэнергию являются ключевым фактором.

Еще одной движущей силой является упрощенная синхронизация установки турбогенератора (ТГ) при высокой температуре окружающей среды. [74, TWG 2004]

Примеры

На большинстве европейских заводов установлен АСС.

На заводах Issy и Ivry, недалеко от Парижа и Бельгарда (FR), а также на заводе в Саутгемптоне (UK) имеются гидроконденсаторы с разомкнутым контуром.

На заводах в Страсбурге и Руане (FR) имеются гидроконденсаторы с замкнутым контуром и градирнями.

Справочная литература

[28, FEAD et al. 2002] [64, TWG 2003]

4.4.7 Оптимизация конструкции котла

Описание

Оптимизация конструкции котла с целью:

- поддержания как можно более низкой температуры дымовых газов на выходе из котла;
- избежания загрязнения;
- обеспечения низких и однородных скоростей газового потока по всему котлу;
- достижения хорошего теплообмена.

Техническое описание

Рекуперированное тепло – это энергия, которая передается от дымовых газов к пару (или горячей воде). Оставшаяся энергия дымовых газов на выходе из котла чаще всего утрачивается (если только системы теплообмена не используются далее вниз потоку). Таким образом, чтобы максимизировать рекуперацию энергии, обычно выгодно снизить температуру дымовых газов на выходе из котла.

Загрязнение котла имеет два эффекта на процессы рекуперации энергии. Первый состоит в том, что оно уменьшает коэффициенты теплообмена и, следовательно, приводит к снижению рекуперации тепла. Второй и самый важный из них заключается в том, что оно приводит к блокированию теплообменных пучков и, следовательно, к остановке установки. Другим нежелательным эффектом загрязнения котла является то, что оно увеличивает риск коррозии под осажденным слоем. Как

правило, котел рассчитан на ручную очистку не чаще одного раза в год для ограничения загрязнения котла (см. раздел 4.4.14).

Качественный котел должен иметь достаточную теплообменную поверхность, а также хорошо спроектированную геометрию, чтобы ограничить загрязнение. Это может быть достигнуто либо в вертикальной, горизонтальной, либо в комбинированной вертикально-горизонтальной концепции котла (см. раздел 2.4.4.2). [74, TWG 2004] Примеры хороших методов проектирования приведены ниже:

- Скорости газового потока должны быть низкими (чтобы избежать эрозии) и однородными (чтобы избежать высокоскоростных участков и избежать застоя, который может вызвать загрязнение) по всему диаметру (пространству) котла.
- Для поддержания низких скоростей газового потока проходы должны иметь широкое поперечное сечение, а их геометрия должна быть аэродинамической.
- Первый проход(ы) котла не должен содержать теплообменников и должен иметь достаточные размеры (особенно высоту), чтобы температура дымовых газов была ниже 650–700°C. Однако их можно охлаждать водяными стенками (работая за счет конвекции). (Эти экраны фактически охватывают весь котел, кроме экономайзера. В паровых котлах они обычно являются частью испарителя.) При более высоких температурах в открытых проходах также могут быть размещены излучающие теплообменники.
- Первые пучки труб не должны устанавливаться в местах, где летучая зола остается липкой, то есть где температуры слишком высоки.
- Зазоры между трубками пучков должны быть достаточно широкими, чтобы избежать «скопления» между ними (путем обрастания).
- Паро-водяная циркуляция в мембранной стенке и конвективных теплообменниках должна быть оптимальной, чтобы предотвратить появление горячих точек, неэффективное охлаждение дымовых газов и т.д.
- Горизонтальные котлы должны быть спроектированы таким образом, чтобы избежать избирательного хода дымовых газов, приводящего к температурному перекоосу и неэффективному теплообмену.
- Должны быть предусмотрены подходящие устройства для очистки котла *in situ*.
- Оптимизация устройства конвективного теплообменника (противоток, прямоток и т.д.) для оптимизации поверхности в соответствии с температурой экрана и предотвращения коррозии. [28, FEAD et al. 2002], [74, TWG 2004]

Экологические преимущества

Улучшенная доступность установки и теплообмен позволяют увеличить общие возможности рекуперации энергии.

Конструкция котла для уменьшения загрязнения также снижает задержку пыли в температурных зонах, где может повышаться риск образования диоксинов.

Экологические показатели и эксплуатационные данные

Информация не предоставлена.

Воздействие на различные компоненты окружающей среды

Не сообщалось.

Технические соображения, касающиеся применимости

Данная технология применима на этапе проектирования ко всем мусоросжигательным установкам с котлами-утилизаторами, особенно к тем, которые стремятся улучшить срок службы и эффективность. [74, TWG 2004]

Экономические аспекты

Экономия средств благодаря сокращению затрат на техническое обслуживание и увеличению продаж энергии может привести к очень коротким периодам окупаемости, а затем может оправдать применение этих технологий на новых установках.

Существующие установки, которые собираются заменить котлы или в которых наблюдается более низкая эффективность котла (как правило, эффективность теплообмена менее 75% для муниципальных заводов), также могут учитывать эти факторы при проектировании новой системы.

Мотивы внедрения

Снижение затрат на техническое обслуживание, увеличение рекуперации энергии и возможный доход от продажи энергии – все это мотивы внедрения.

Примеры

Широко применяется по всей Европе.

Справочная литература

[28, FEAD et al. 2002], [2, InfoMil 2002], [64, TWG 2003]

4.4.8 Использование котла с полностью экранированной камерной топкой

Описание

Использование котла с полностью экранированной камерной топкой.

Техническое описание

Транспортировка очень горячих газов в каналах с футеровкой может быть сложной. Это может привести к образованию липких и иногда расплавленных осадков. Чтобы избежать этого, температуру газа иногда снижают путем увеличения объема избыточного воздуха, что может привести к потере эффективности.

В котле с полностью экранированной камерной топкой, котел непосредственно покрывает печь без промежуточных трубопроводов. Следовательно, котельные трубы могут охлаждать стороны печи. Трубы защищены огнеупором и охлаждают его (перекрестная выгода). Подходящая конструкция труб и огнеупоров позволяет точно контролировать охлаждение печи. Эффективное охлаждение печи необходимо, чтобы избежать засорения, особенно при более высокой НТС.

Экологические преимущества

Данная технология улучшает рекуперацию тепла за счет уменьшения потерь тепла от излучения на выходе из печи (в дополнение к эффекту внешнего засорения).

Экологические показатели и эксплуатационные данные

Данная технология позволяет избежать засорения в печи и, следовательно, необходимости остановки для ручной очистки.

Воздействие на различные компоненты окружающей среды

Не сообщалось.

Технические соображения, касающиеся применимости

Обычно применяется для колосниковых печей. Нет данных по ротационным и вибрационным печам.

Экономические аспекты

Котел с полностью экранированной топкой обычно дешевле, чем отдельный котел для установок, за исключением печей очень малой мощности (то есть 1 т/ч или 2 т/ч).

Мотивы внедрения

Данная технология является обычной практикой для проектировщиков сегодня.

Примеры

Большинство установок имеют котел с полностью экранированной топкой (кроме ротационных и вибрационных печей).

Справочная литература

[28, FEAD et al. 2002] [64, TWG 2003]

4.4.9 Использование ширмового пароперегревателя

Описание

Использование ширмового пароперегревателя.

Техническое описание

Ширмовые пароперегреватели представляют собой плоские панели из сложенных труб, установленных параллельно с широкими зазорами между и параллельно потоку газа. Вход защищен кожухами из нержавеющей стали, удерживаемыми на месте специальным цементом.

Теплообмен осуществляется излучением вместо конвекции; из-за этого эти пароперегреватели могут быть установлены в более горячих местах, чем пучки труб (в дымовых газах до 800°C при сжигании коммунальных отходов), с ограниченным загрязнением и уменьшенной эрозией и коррозией.

На этих ширмовых пароперегревателях загрязняющие отложения могут стабилизироваться, когда их толщина составляет около 2 см, не вызывая блокирования. Ручная очистка и связанные с этим остановки значительно сокращаются.

Из-за радиационного теплообмена температура пара может оставаться постоянной в течение одного года эксплуатации. Значительно замедляется возникновение эрозии и коррозии.

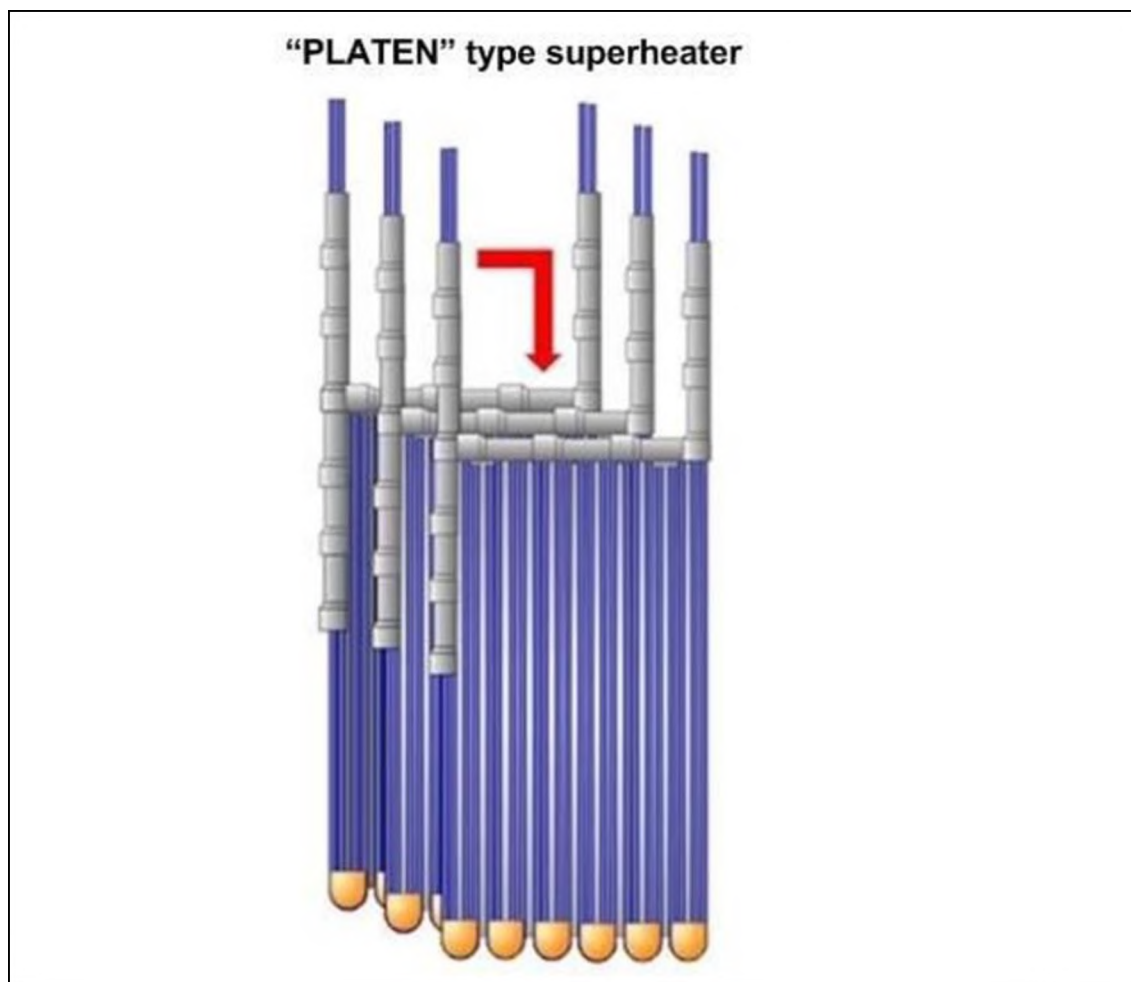


Рисунок 4.4: Схематическое изображение ширмового пароперегревателя

Экологические преимущества

Данная технология увеличивает рекуперацию энергии. Пароперегреватели обеспечивают высокую температуру перегретого пара при хорошей доступности и стабильности.

Экологические показатели и эксплуатационные данные

Информация не предоставлена.

Воздействие на различные компоненты окружающей среды

Не сообщалось.

Технические соображения, касающиеся применимости

Может устанавливаться в котлах с двумя или тремя открытыми проходами.

Экономические аспекты

Данная технология дешевле, чем пучки для пароперегревателей последней ступени (более горячих), когда они установлены в зонах с более высокими температурами дымовых газов (второй или третий проход).

Мотивы внедрения

Движущей силой является более длительный период работы с высокой температурой перегретого пара.

Примеры

- Toulon 3, Thiverval 3, Лон-ле-Сонье, Сент-Уан-Л'Омон, Rennes 3, Монтйон, Шомон, Nice 4, Бельфор, Вильфранш-сюр-Сон, Toulouse-Mirail 1 and 2, Лас (Сомюр) (FR).
- Тумаид (BE).
- London SELCHP, Сток-он-Трент, Дадли, Вулверхэмптон, Чайнхем, Марчвуд (UK).
- Матаро (ES).
- Майя, Лориш и Санта-Круз (Мадейра) (PT).
- Пьяченца (IT).
- Москва (Россия).

Справочная литература

[28, FEAD et al. 2002] [64, TWG 2003]

4.4.10 Низкотемпературные теплообменники дымовых газов**Описание**

Рассматриваемые технологии:

- использование теплообменников из антикоррозийных материалов;
- проектирование цикла, обеспечивающего отсутствие условий, ведущих к коррозии.

Техническое описание

[2, InfoMil 2002]

Дополнительная производительность по теплообмену в котле может улучшить возможности использования этого тепла в других местах и, следовательно, может способствовать повышению энергоэффективности. Степень снижения температуры дымовых газов на выходе из котла зависит от:

- того факта, что при уровнях температуры ниже 180°C возрастает риск коррозии последних пучков экономайзера и трубопровода перед очисткой кислого газа (так как точка росы различных кислот постепенно приближается);
- того, требуется ли тепло в дымовых газах для работы последующего оборудования для очистки дымовых газов;
- того, есть ли полезное использование для дополнительного тепла, извлекаемого при низкой температуре.

В случае дымовых газов ТКО (и других дымовых газов, содержащих эти вещества) риски коррозии возникают не только из-за HCl, но и из SO_x, которые часто первыми разъедают сталь. Точка росы зависит от концентрации кислых газов и содержания воды в дымовых газах. В чистом газе это может быть около 100°C, в неочищенном газе 130°C или более.

Основной температурой, которую следует учитывать с точки зрения риска коррозии, является не температура дымового газа, а (более низкая) температура поверхности (охлажденных) металлических труб теплообменника (которая обязательно ниже температуры дымового газа). [74, TWG 2004]

Теплообменники, изготовленные из специальных материалов (например, эмали), уменьшают риск коррозии при низких температурах. Пример можно найти в AVI Амстердам, где теплообменник расположен после системы распылительного абсорбера и соответствующего электростатического фильтра. Дополнительным преимуществом этого является связанное снижение температуры очистки, что повышает эффективность системы очистки.

Можно разработать цикл таким образом, чтобы избежать создания условий, вызывающих коррозию. В Швеции, например, довольно распространено устанавливать отдельный котел-утилизатор после основного котла или ЭСФ. Он часто охлаждается отдельным контуром горячей воды и теплообменником, подключенным к сети централизованного отопления. Температура дымовых газов на выходе обычно составляет около 130–140°C, а температура воды на входе не должна быть ниже 115–120°C, чтобы избежать коррозии.

При этих уровнях температуры можно использовать трубы из обыкновенной стали без риска коррозии. [64, TWG 2003]

Экологические преимущества

Рекуперированное тепло (например, уровень температуры 120°C) можно использовать для отопления и/или для подогрева питательной воды котла и т.д.

Экологические показатели и эксплуатационные данные

[28, FEAD и соавт. 2002]

Понижение температуры дымовых газов на выходе из котла ограничено кислотной точкой росы, которая является очень важным ограничением во многих системах ОДГ. Кроме того, для системы очистки дымовых газов может потребоваться определенная рабочая температура или разность температур, как в следующих примерах:

- При полумокрых процессах ОДГ минимальная температура на входе определяется тем фактом, что подача воды снижает температуру газов. Как правило, это будет 190°C или 200°C, и может быть выше.
- Сухой процесс ОДГ обычно может принимать 130–300°C. Для сухого бикарбоната натрия минимальная необходимая температура составляет 170°C, чтобы получить быстрое расширение площади поверхности бикарбоната натрия и, как следствие, более эффективный карбонат натрия (так называемый эффект попкорна или диатомита). Расход реагента меняется в зависимости от температуры.
- Мокрые системы ОДГ не имеют теоретической минимальной температуры на входе – чем ниже температура газа на входе в скруббер, тем ниже потребление воды в скруббере. Однако для достижения полного насыщения дымового газа обычно требуется работать при температуре на входе не ниже 90–100 °C.

[74, TWG 2004]

Воздействие на различные компоненты окружающей среды

Более низкие температуры дымовых газов на выходе из дымовой трубы могут привести к:

- хорошо видимым конденсированным шлейфам (меньше проблем при использовании конденсационных скрубберов, так как они уменьшают содержание воды в дымовых газах);
- уменьшенной плавучести шлейфа и, следовательно, рассеиванию;
- коррозии в выводных трубах (требуется подкладка из стекловолокна или аналогичного материала).

С применением систем ОДГ, которые требуют, чтобы дымовые газы были выше определенной рабочей температуры (например, РФ, СКВ), любое отведенное тепло необходимо будет повторно добавлять позднее в процессе. Такой нагрев может привести к дополнительному потреблению первичного топлива или внешнего источника энергии.

Технические соображения, касающиеся применимости

Новые установки имеют наилучшую возможность для включения (в конструкцию) технологий снижения потерь из-за дымовых газов. Заводы, имеющие выход для подачи тепла с относительно низкой температурой (чаще всего в холодном климате), лучше всего размещать таким образом, чтобы использовать дополнительное тепло, отводимое из дымовых газов. В тех случаях, когда это тепло не может поставляться внешним пользователям или использоваться на заводе, это низкопотенциальное тепло может быть лучше использовано в дымовых газах для содействия рассеиванию и т.д.

Оптимизация температуры на выходе из котла, как правило, применима, хотя степень, до которой эта температура может быть уменьшена, связана с температурными требованиями оборудования ОДГ, расположенного ниже по потоку, и в любом случае должна учитывать кислотную точку росы дымовых газов, чтобы избежать коррозии последних пучков экономайзера.

Изменения проектной температуры на выходе из котла должны учитывать требования последующих операций ОДГ. Отвод тепла, которое впоследствии необходимо повторно добавлять из другого источника, вероятно, будет неэффективным с точки зрения энергоэффективности вследствие дополнительных потерь в процессе теплообмена.

Снижение температуры дымовых газов после котла применимо только в том случае, если:

- извлеченное тепло может быть использовано для некоторых целей (поставляется снаружи или используется внутри);
- последующие системы очистки дымовых газов не пострадают; это особенно актуально при использовании РФ, СКВ или других систем, которые требуют определенных рабочих температур или условий.

Требования к пространству могут ограничивать реализацию на существующих заводах.

Экономические аспекты

Данная технология, скорее всего, будет экономически целесообразной, если стоимость/цена, заплаченная за дополнительное извлеченное тепло, высока.

Мотивы внедрения

Поставка дополнительного рекуперируемого тепла.

Примеры

- AVI Амстердам (NL).
- Брешиа (IT).
- Многие заводы в Швеции и Дании.
- Шеффилд (UK).
- Ренн, Ницца, Сент-Уэн (FR).
- Монако.

Справочная литература

[2, InfoMil 2002], [64, TWG 2003]

4.4.11 Использование скрубберов для конденсации дымовых газов

Описание

Использование скрубберов для конденсации дымовых газов

Техническое описание

Технология описана в разделе 2.4.4.5.

В скруббере для конденсации дымовых газов дымовой газ охлаждается прямым контактом с циркулирующей охлаждающей/технологической водой. Охлаждающая вода через промежуточный теплообменник также обычно контактирует с сетью централизованного отопления. При условии, что температура обратного потока централизованного отопления достаточно низкая, водяной пар в дымовом газе достигнет своей точки росы. В точке росы пары будут конденсироваться, и скрытая теплота будет передаваться в промежуточный контур охлаждения. Таким образом, вода для центрального отопления нагревается за счет энергии, извлекаемой из конденсата дымовых газов.

Тепловые насосы также могут быть использованы для дальнейшего увеличения рекуперации энергии.

Скруббер для конденсации дымовых газов также снижает концентрацию водорастворимых загрязнителей, таких как HCl и, если NaOH дозируется в очищающую воду, также SO₂ и HF.

Удаление воды из дымовых газов уменьшает объем газа. Если вентилятор дымовых газов находится ниже по потоку от конденсатора дымовых газов, то потребность в энергии для вентилятора также уменьшается.

Экологические преимущества

Использование конденсационных скрубберов позволяет извлекать дополнительную энергию из дымовых газов для возможного использования или подачи.

Количество получаемой дополнительной энергии зависит от температуры возвратной воды в системе централизованного отопления. В таблице 4.9 показаны соотношения между дополнительной энергоэффективностью и температурой возврата охлаждающей среды (централизованного отопления) при условиях, типичных для скандинавской установки сжигания отходов; следует отметить, что на это будет иметь большое влияние содержание воды в отходах (и, следовательно, в дымовых газах). Дополнительная энергоэффективность в таблице 4.9 выражается в процентах от энергосодержания (в виде НТС) сжигаемых отходов.

Таблица 4.9: Соотношение между дополнительной энергоэффективностью и температурой возврата охлаждающей среды (центрального отопления)

Температура возврата централизованного отопления (°C)	Дополнительная энергоэффективность
40	14 %
50	7 %
60	0 %
Источник: [5, RVF 2002]	

Влияние сушки на дымовые газы снижает видимость шлейфа. Там, где энергия используется для разогрева шлейфа, количество энергии, необходимое для достижения определенного снижения видимости шлейфа, будет ниже.

Выбросы аммиака в воздух (например, из СНКВ) могут быть уменьшены. Аммиак улавливается в воде скруббера. Используя отпарную аммиачную колонну на водоочистной станции, можно регенерировать аммиак для использования в качестве реагента для восстановления NO_x.

Конденсированная вода может использоваться для обеспечения большей части питательной воды скруббера, что снижает потребление воды.

Экологические показатели и эксплуатационные данные

Данная технология наиболее применима там, где:

- централизованное отопление дает надежную низкотемпературную отдачу (это важно и обычно доступно только в холодном климате);
- видимость шлейфа является проблемой;
- стоимость дополнительной рекуперированной энергии, оправдывает дополнительные капитальные вложения;
- требуется дополнительная очистка дымовых газов, особенно кислотных газов.

Поскольку технология применяется после стадий очистки дымовых газов, в принципе, технология может применяться к любому типу отходов.

Данная технология применяется в конце или ближе к концу системы ОДГ и поэтому может использоваться как на новых, так и на существующих установках.

На заводе Hogdalen, Стокгольм (SE), эта система используется с тремя обычными паровыми котлами с колосниковой решеткой и одним с циркулирующим кипящим слоем. Дымовые газы из

стандартных котлов с колосниковой решеткой охлаждают в отапливаемых котлах-утилизаторах до температуры около 140° С. Возврат воды из централизованного отопления используется в качестве охлаждающей среды.

ОДГ начинается с системы сухой очистки для каждого котла, в который вводится сухая гидратированная известь и смешивается с дымовыми газами в реакторе. Кислотные примеси реагируют с гидратированной известью, и образуются твердые соли, которые удаляются в тканевом фильтре вместе с летучей золой и избытком гидратной извести. Котел с псевдоожиженным слоем имеет немного другой реактор, так как рециркулирующая пыль из тканевого фильтра слегка увлажняется перед тем, как смешивается со свежей гидратированной известью и впрыскивается в дымовые газы.

Вторая стадия очистки включает мокрые скрубберы, которые насыщают дымовой газ и удаляют оставшиеся кислотные газы, в частности хлористый водород (HCl) и диоксид серы (SO₂). Насыщенный газ, выходящий из мокрых скрубберов, имеет температуру около 60°С.

Он всасывается в трубчатый конденсатор, который охлаждается возвратной водой из сети централизованного отопления при температуре 40–50°С. Одна мокрая система используется для всех трехконтурных котлов, хотя у котла с циркулирующим кипящим слоем есть свои системы. Если температура возвратной воды составляет 40°С (нормальный случай для этой установки, но очень низкий по сравнению с большинством европейских климатических условий), в конденсаторе восстанавливается 14% дополнительной энергии. С другой стороны, если температура возвратной воды составляет 50°С, восстанавливается только около 7% дополнительной энергии. В экстремальных случаях, когда температура возвратной воды достигает 60°С, дополнительное тепло не восстанавливается.

В случае Högdalen (Стокгольм) дымовой газ подогревается перед индуцированным вытяжным вентилятором и выводной трубой, что требует расхода небольшого количества пара низкого давления. Также возможно работать без этого подогрева, но с мокрым вентилятором и выводной трубой.

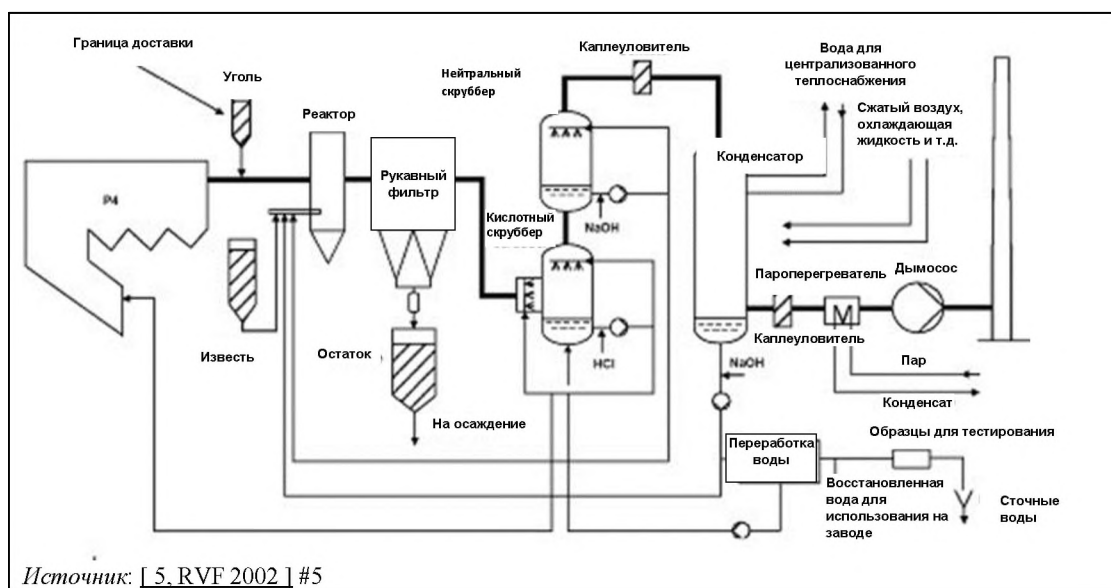


Рисунок 4.5: Контроль загрязнения и дополнительная рекуперация тепла путем конденсации водяного пара дымовых газов на заводе комбинированного производства тепловой и электроэнергии от сжигания отходов «Högdalen»

Воздействие на различные компоненты окружающей среды

Низкая температура дымовых газов может привести к конденсации и, следовательно, коррозии в дымоходе, если не используются системы с футеровкой или двухтрубные.

Конденсированная вода будет содержать загрязняющие вещества (удаляемые из дымовых газов), которые требуют предварительной очистки в водоочистном сооружении. Если применяется

вышеупомянутая система мокрой очистки, то стоки из конденсирующего скруббера могут быть обработаны на той же установке.

Низкая температура выбросов из дымовой трубы уменьшит тепловую плавучесть шлейфа и, следовательно, уменьшит дисперсию. Этого можно избежать, используя выводную трубу, которая выше и/или имеет меньший диаметр.

Технические соображения, касающиеся применимости

Технология неприменима, если:

- нет покупателя для дополнительной производимой энергии;
- источник охлаждения (возврат холодной воды ЦТС) менее надежен (т.е. теплый климат).

Размер завода: известно, что данная технология применялась на муниципальных заводах с пропускной способностью 37 000 т/г (DK), пропускной способностью 175 000 т/г (SE) и 400 000 т/г (SE).

Экономические аспекты

Общие дополнительные инвестиции в стадию конденсации оцениваются примерно в 3 млн. евро для четырех котлов, обслуживающих ТЭЦ УСТКО, мощностью 400 тыс. тонн в год.

Мотивы внедрения

- Дополнительные продажи тепла.
- Водосбережение в засушливых регионах.

[74, TWG 2004]

Примеры

В Швеции есть несколько примеров (см. примеры в разделе 2.4.4.5). Возможности меньше в более теплом климате из-за ограниченной доступности возврата холодной воды ЦТС.

Справочная литература

[5, RVF 2002], [64, TWG 2003]

4.4.12 Использование тепловых насосов для увеличения рекуперации тепла

Описание

Использование теплового насоса.

Техническое описание

Технология описана в разделе 2.4.4.6, где также описаны три основных типа тепловых насосов.

Таким образом, тепловые насосы обеспечивают возможность объединения различных относительно низкотемпературных источников тепла и охлаждения для повышения температуры потока. Это позволяет, например, использовать конденсационные скрубберы (см. раздел 4.4.11) и экспортировать дополнительное тепло.

Экологические преимущества

Данная технология позволяет получить дополнительную энергию за счет использования конденсационных скрубберов.

Было отмечено увеличение количества извлеченной энергии на 23% при использовании абсорбционных тепловых насосов в сочетании с конденсационными скрубберами. [35, Renova, 2002]

На примере завода в Умео на севере Швеции (175 тыс. тонн отходов в год) виден следующий расчетный энергетический баланс:

Баланс мощности, включая конденсационный и компрессорный тепловой насос:

Потребляемая тепловая мощность	65 МВтт (приблизительно)
Выходная мощность генератора	15,1 МВт
Внутреннее потребление электроэнергии	5,4 МВт
Выработка электроэнергии, нетто	9,7 МВт
Выработка горячей воды, в т.ч. конд. + тепловой насос	54 МВтч
Собственный расход на повторный нагрев	0,5 МВтч
Горячая вода для централизованного отопления	<u>53,5 МВтч</u>
Общая мощность и тепло для продажи	<u>63 МВт</u>

Без конденсации дымовых газов и теплового насоса баланс мощности оценивается как:

Тепловая мощность	65 МВт (приблизительно)
Выработка электроэнергии, нетто	13 МВт
Горячая вода до централизованного отопления, нетто	<u>39 МВт</u>
Общая мощность и тепло для продажи	<u>52 МВт</u>

Экологические показатели и эксплуатационные данные

См. подробную информацию, приведенную в разделе 2.4.4.6.

Технология наиболее применима там, где:

- централизованное отопление дает надежную низкотемпературную отдачу;
- центральное отопление использует большую часть доступного тепла;
- стоимость дополнительной производимой энергии оправдывает дополнительные капитальные вложения;
- используется мокрая очистка;
- видимость шлейфа затруднительна.

[74, TWG 2004]

Типы отходов: поскольку технология применяется после стадий очистки дымовых газов, в принципе технология может применяться к любому типу отходов.

Размер завода: известно, что эта технология применялся на муниципальных заводах с пропускной способностью 175 000 т/г и пропускной способностью 400 000 т/г.

Возможность совместимости со старым оборудованием: метод применяется в хвостовой части системы ОДГ или вблизи нее и поэтому может применяться как к новым, так и к существующим процессам.

Воздействие на различные компоненты окружающей среды

Сами тепловые насосы требуют энергии для работы.

Для тепловых насосов с приводом от компрессора соотношение между выходной теплотой и мощностью компрессора (отношение тепла к мощности) может составлять около пяти [5, RVF 2002].

Технические соображения, касающиеся применимости

Технология менее применима там, где нет пользователя для экспорта дополнительной производимой энергии.

Экономические аспекты

В качестве примера установки тепловых насосов на УСТКО в Швеции [35, Renova, 2002], инвестиционные затраты были указаны в размере 4,5 млн. евро в 1988 году, а также 5,5 млн. евро в 2002 году (мощность 12 МВт) для сравнения с дополнительным доходом в размере 24,5 млн. евро в период с 1998 по 2002 год.

Дополнительные инвестиции в завод Умео для стадии конденсации и теплового насоса компрессора с электроприводом и более крупной водоочистной станции были оценены в 4 млн. евро, что дает простой срок окупаемости от продажи тепла и электроэнергии около 2,4 лет (без учета возросшей стоимости обслуживания и расходных материалов).

Мотивы внедрения

Дополнительные продажи тепла и доходы являются движущей силой.

Примеры

Несколько примеров в Швеции – см. раздел 2.4.4.6.

Справочная литература

[5, RVF 2002] [64, TWG 2003]

4.4.13 Особые конфигурации водяного/парового цикла с внешними электростанциями

Описание

Использование установки внешнего сжигания для увеличения параметров пара.

Техническое описание

[2, InfoMil 2002] Из-за коррозионной природы дымовых газов, эффективность производства электроэнергии при сжигании коммунальных отходов ограничена максимально допустимой температурой материалов труб котлов и соответствующей максимальной температурой пара (см. раздел 4.4. 5).

Альтернатива, позволяющая избежать более высоких температур материалов труб котлов, – это перегрев пара с использованием очищенных дымовых газов, которые содержат намного меньше или совсем не содержат хлора. Это возможно, если установку сжигания отходов можно комбинировать с мусоросжигательным заводом достаточной мощности [94 Finland, 2016].

Экологические преимущества

Улучшенная энергоэффективность.

Экологические показатели и эксплуатационные данные

С этими типами конфигураций процесс сжигания не должен принимать высокие температуры пара и поэтому избегает проблем с коррозией и доступностью. Однако иногда давление может быть увеличено, чтобы получить дополнительную выгоду от интеграции. В таких случаях более высокая температура пара в испарителе может привести к дополнительным расходам на техническое обслуживание. Например, при 40 бар температура насыщения составляет 250°C, а при 100 бар 311°C, разница составляет 61°C. Следует отметить, что коррозия увеличивается экспоненциально с внешней температурой стенок труб котла при контакте с дымовыми газами.

Пример: завод по сжиганию коммунальных отходов, Laanila, Оулу (Финляндия)

Муниципальный мусоросжигательный завод Laanila в Оулу (Финляндия) является частью системы, образованной заводом по сжиганию отходов, с одним внешним перегревателем мощностью 6 МВт_т с использованием газа, поступающего с близлежащего химического завода, для повышения температуры пара с 420°C до 515°C и тремя другими котлами, сжигающими торф и масло. Эта система включает в себя два паротурбинных агрегата с общей электрической мощностью 25 МВт. Пар, генерируемый в системе, используется для привода турбин. Для этого поток пара подается с турбинами через паровой трубопровод с давлением 8,3 МПа и температурой 515°C. В результате этого процесса в местную сеть централизованного отопления подается 100 МВт_т.

Отработавшие газы из конечного перегревателя вводятся в зону топки котла для дальнейшего использования содержащейся в них тепловой энергии.

В таблице 4.10 приведено теоретическое сравнение достижимой эффективности до и после установки внешнего перегревателя.

Таблица 4.10: Сравнение достижимой энергоэффективности электрической энергии с внешним перегревателем на заводе Лаанила

	Единица измерения	Без внешнего перегревателя	С внешним перегревателем
Давление пара	МПа	6.2 (1)	8.4
Температура шва	°C	420	515
Тепловая мощность DE	МВт _т	48.0	48.0

	Единица измерения	Без внешнего перегревателя	С внешним перегревателем
Тепловая мощность ESH	МВт _т	0	4.7
Электрическая мощность	МВт _э	13.3	15.8
Диапазон эффективности	%	27.2	29.3
Диапазон электрической эффективности ESH	%	0.0	53.2
⁽¹⁾ Давление пара определяется влажностью пара на конечной ступени турбины; с температурой 420°C, давление пара 8,4 МПа не может быть достигнуто. Примечание: DE = прямой экспорт; ESH = внешний перегреватель. Источники: [94 Finland, 2016].			

Данная технология в основном применима в тех случаях, когда целью рекуперации энергии является экспорт производимого пара или тепла непосредственно пользователю.

Воздействие на различные компоненты окружающей среды

Внешний перегреватель увеличивает использование ископаемого топлива.

Технические соображения, касающиеся применимости

Технология, в целом, применима к новым заводам.

Экономические аспекты

Данная технология применима только в тех случаях, когда местоположение позволяет проводить синергетическую операцию и имеются соответствующие коммерческие соглашения.

Высокие цены на электроэнергию способствуют внедрению технологий, повышающих электрическую эффективность. В этом случае это влияет на увеличение относительного значения пара/тепла, подаваемого мусоросжигателем на соседнюю электростанцию.

Внешний перегреватель обычно применим для новых установок. На существующих заводах модернизация может быть экономически неустойчивой [94 Финляндия, 2016].

Мотивы внедрения

Интеграция энергоснабжения с внешним пользователем увеличивает возможности использования энергии, получаемой из отходов.

Примеры

ES08, FI04, NL06.

Справочная литература

[28, FEAD et al. 2002], [2, InfoMil 2002], [64, TWG 2003], [74, TWG 2004], [94 Finland, 2016].

4.4.14 Эффективная очистка конвекционных пучков

Описание

Технологии, которые следует рассмотреть, включают в себя технологии онлайн очистки, очистки в автономном режиме и предотвращения попадания газов с высокой температурой (выше 650°C) в конвективные теплообменные пучки.

Техническое описание

[2, InfoMil 2002]

Чистые котельные трубы и другие теплообменные поверхности улучшают теплообмен. Это также может снизить риск образования диоксинов в котле.

Очистка может проводиться в режиме онлайн (во время работы котла) и в автономном режиме (во время остановок котла и периодов обслуживания). Размеры конструкции котла и теплообменника (например, расстояние между трубами) влияют на режим очистки.

Технологии очистки в режиме онлайн включают в себя следующее:

- Механическое отстукивание.

- Выдувание сажи путем впрыска пара.
- Распыление воды под высоким или низким давлением (в основном на стену в пустых проходах котла).
- Ультразвуковая/инфразвуковая очистка.
- Дробеочистка или механическая чистка гранулами.
- Очистка взрывом. В этой технологии используются волны давления, возникающие при взрыве смеси кислорода/этана или взрывчатых веществ, таких как динамит, и позволяет рекуперировать значения теплообмена, близкие к номинальным значениям установки, после очистки [95, ESWET, 2015].
- Впрыск воздуха под высоким давлением (от 10 до 12 бар) с подвижными трубками. [74, TWG 2004]

Автономные технологии включают в себя:

- периодическую ручную очистку (как правило, раз в год на установке сжигания ТКО);
 - химическую очистку.
- [74, TWG 2004]

В дополнение к этим технологиям может быть также полезно предотвращать контакт газов с более высокой температурой (выше 650°C) (когда летучая зола более липкая и, следовательно, с большей вероятностью прилипает к поверхностям, с которыми она вступает в контакт) с конвективными теплообменными пучками путем:

- включения пустых проходов только с водяными стенами;
- использования больших размеров печи и, следовательно, более низких скоростей газа перед пучками.

Очистка взрывом используется при работе, когда температура дымовых газов на входе в пароперегреватель увеличивается, а также перед запланированным отключением для технического обслуживания. При значительном уменьшении отложений, которые необходимо извлечь перед выполнением работы, продолжительность остановки может быть уменьшена и, таким образом, увеличена годовая доступность всей установки [95, ESWET, 2015].

Экологические преимущества

Улучшенный теплообмен увеличивает рекуперацию энергии.

Риск превращения ПХДД/Ф может быть уменьшен путем эффективной очистки. Это связано с уменьшением количества времени, в течение которого пыль (и другие материалы, способствующие их образованию) присутствуют при температурах от 450°C до 250°C, где скорости реакции являются самыми высокими.

В результате продувки сажей с впрыском пара собственного производства большая часть энергии будет извлекаться самим котлом (80–90%). [74, TWG 2004]

Экологические показатели и эксплуатационные данные

Те технологии, которые позволяют проводить непрерывную чистку трубок (как правило, один раз в 8-часовую смену), обычно сокращают время простоя при проведении операций по очистке котла. [74, TWG 2004]

Обычно ручная очистка выполняется, когда загрязнение вызывает повышение температуры дымовых газов от 20 до 50°C, то есть снижение энергоэффективности на 1,5-3%.

Возможны механические повреждения конструкции/труб котла, особенно при очистке взрывом и механическом отстукивании. Хотя это зависит от исходного состояния, очистка взрывом, как правило, способна удалить более 80% накопленных отложений и вернуть установку в рабочие условия, близкие к номинальным значениям [95, ESWET, 2015].

Эрозия труб, вызванная засорением, может привести к снижению энергоэффективности, и в конечном итоге трубы потребуют замены.

Воздействие на различные компоненты окружающей среды

Расход воздухоудного агента, например, вода высокого давления, вода низкого давления, пар (только частично).

Шум может быть проблемой при использовании некоторых технологий, например, очистка взрывом, механической отстукивание.

Технические соображения, касающиеся применимости

Технология, в целом, применима.

Экономические аспекты

Информация не предоставлена.

Мотивы внедрения

Мотивами внедрения являются улучшенная доступность и рекуперация тепла, а также снижение коррозии, выбросов и потребления энергии. [74, TWG 2004]

Примеры

Все заводы по переработке отходов. [74, TWG 2004]

Специальные системы очистки существуют на нескольких заводах в Нидерландах и Дании, например, AVI ARN Beuningen (взрывная очистка газом), AVI Амстердам и AVI Wijster (взрывная очистка динамитом). [74, TWG 2004]

Справочная литература

[2, InfoMil 2002] p 51 – 52, [1, UBA 2001] p 119, [64, TWG 2003], [95, ESWET, 2015]

4.5 Технологии очистки дымовых газов и предотвращения выбросов в атмосферу

4.5.1 Факторы, которые следует учитывать при выборе систем очистки дымовых газов

4.5.1.1 Общие факторы

[54, decheffdebien, 2003]

Следующий (неисчерпывающий) список общих факторов требует рассмотрения при выборе систем очистки дымовых газов (ОДГ):

- тип отходов, их состав и разновидность;
- тип процесса сжигания и его размер;
- поток и температура дымовых газов;
- содержание дымовых газов, включая величину и скорость колебаний состава;
- целевые предельные значения выбросов;
- ограничения по сбросу водных стоков;
- требования к видимости шлейфа;
- наличие площадки и пространства;
- наличие и цены рынка сбыта для накопленных/восстановленных остатков;
- совместимость с любыми существующими компонентами процесса (действующими установками);
- наличие и стоимость воды и других реагентов;
- возможности подачи энергии (например, подача тепла от конденсационных скрубберов);
- наличие субсидий на экспортируемую энергию;
- допустимая плата за удаление поступающих отходов (существуют как рыночные, так и политические факторы);
- снижение выбросов первичными методами;
- шум;
- установка различных устройств очистки дымовых газов, если это возможно, при снижении температуры дымовых газов от котла к выводной трубе.

[74, TWG 2004]

4.5.1.2 Оптимизация энергопотребления

Некоторые технологии очистки дымовых газов могут значительно увеличить общие энергетические потребности процесса сжигания. Необходимо учитывать дополнительные требования к энергии, налагаемые применением более низких значений сверхнизких напряжений (СНН). Можно сделать следующие ключевые наблюдения:

- Снижение выбросов пыли, включая котельную золу (и металлы, отфильтрованные с пылью), как правило, требует дополнительной фильтрации и увеличивает потребление энергии.
- Сокращение выбросов NO_x до уровня ниже 100 мг/Нм^3 чаще всего достигается с помощью СКВ, которая из-за чувствительности катализатора к загрязнению и кислотным воздействиям обычно используется как система с низким уровнем запыленности при сжигании отходов, расположенная на выходе очищенного газа системы ОДГ. Поэтому обычно требуется дополнительная энергия для подогрева дымовых газов. Очень низкие уровни SO_x в неочищенном дымовом газе могут позволить использовать СКВ без подогрева (см. раздел 2.5.5.2.2). Энергия, необходимая для дополнительной очистки дымовых газов (для достижения очень низких уровней выбросов), приведет к уменьшению доступной для экспорта энергии, генерируемой мусоросжигательным заводом, или к эквивалентному потреблению энергии, поставляемой извне. Хотя СКВ с высоким содержанием пыли используется нечасто на некоторых мусоросжигательных заводах.
- Температура на выходе из котла имеет большое влияние на энергопотребление ОДГ – если она ниже кислотной точки росы, потребуются дополнительный подвод энергии для нагрева дымовых газов.
- Как правило, размещение компонентов ОДГ таким образом, чтобы те, которым требуются самые высокие рабочие температуры, предшествовали тем, которые работают при более низких

температурах, приводит к более низкому общему потреблению энергии системой ОДГ (но это не может быть достигнуто во всех случаях, например, для СКВ обычно требуется чистый газ, и поэтому он размещается после этапов очистки газа с более низкой температурой, так как реализация СКВ с высоким уровнем запыленности позволяет избежать использования энергии для подогрева дымовых газов, но является сложной задачей для реализации).

[64, TWG 2003] [74, TWG 2004]

4.5.1.3 Глобальная оптимизация и общесистемный подход

Помимо рассмотрения энергетических аспектов (см. разделы об энергии выше), полезно рассмотреть систему ОДГ как единое целое. Это особенно относится к удалению загрязняющих веществ, поскольку установки часто взаимодействуют, обеспечивая первичное удаление некоторых загрязнителей и оказывая дополнительное влияние на других. В зависимости от положения в последовательности очистки могут быть получены различные значения эффективности очистки. [74, TWG 2004] Многофункциональные устройства являются общими и включают в себя следующее:

- Если рукавный фильтр (РФ) используется после впрыска реагента, в дополнение к его эффекту удаления пыли, он действует как дополнительный реактор. Падение давления в тканевом материале распределяет дымовой газ по прилипшему кеку, который содержит некоторое количество осажденного реагента, в связи с чем из-за низкой скорости газов время пребывания является большим. Таким образом, РФ может способствовать обработке кислых газов, газообразных металлов, таких как ртуть и кадмий, и СОЗ (стойких органических загрязнителей), таких как ПАУ, ПХД, диоксины и фураны.
- В дополнение к обработке кислым газом мокрые скрубберы могут способствовать улавливанию пыли и, если pH достаточно низок и/или дополнительно используются реагенты скруббера, ртути.
- СКВ de-NO_x оказывает дополнительное разрушающее воздействие на диоксины, если оно спроектировано (спланировано) соответствующим образом.
- Адсорбция активированным углем и лигнитовым коксом влияет на диоксины, а также на ртуть и другие вещества.

[64, TWG 2003], [54, dechefdebien, 2003]

4.5.1.4 Выбор технологии для новых или существующих установок

Общая оптимизация и взаимодействие между компонентами системы ОДГ (а также остальными компонентами процесса сжигания) важны как для новых, так и для существующих установок. В существующих установках количество опций может быть более строго ограничено, чем в новых установках. Информация о межпроцессной совместимости может быть найдена в разделах, посвященных отдельным технологиям ОДГ.

4.5.2 Технологии снижения выбросов пыли

Применение системы для удаления пыли из дымовых газов, как правило, считается необходимым для всех мусоросжигательных заводов.

В этом разделе рассматривается расположение участка удаления пыли перед другими последующими этапами ОДГ (т.е. удалением пыли выше по потоку или предварительным удалением пыли) или после других систем ОДГ (то есть удаление пыли ниже по потоку). Удаление пыли выше по потоку используется в сочетании с мокрыми процессами для защиты скрубберов. Удаление пыли ниже по потоку, как правило, необходимо для сухих и полумокрых процессов, для обеспечения одновременного улавливания пыли солей, образующихся в результате реакции между кислотными газами и щелочными реагентами. В некоторых случаях применяется двойная очистка от пыли, и в этом случае расположенный ниже по течению пылеуловитель иногда называют шлифующим пылеуловителем. [7, TWG 2017]

4.5.2.1 Предварительная очистка от пыли перед другими этапами очистки дымовых газов

Описание

Этот раздел относится к стадии удаления пыли, установленной после предварительной очистки в котле [74, TWG 2004], но, как правило, перед другими последующими этапами ОДГ.

Техническое описание

Следующие системы предварительной очистки используются при сжигании отходов:

- циклоны и мультициклоны (как правило, в сочетании с другими компонентами ОДГ для эффективного улавливания более мелких фракций пыли);
- электростатические фильтры (ЭСФ);
- рукавные фильтры (РФ).

Отдельные технологии описаны в разделе 2.5.3.

Мокрые ЭСФ обычно не применяются для предварительной очистки из-за температуры дымовых газов в области предварительной очистки. [64, TWG 2003] Как правило, они используются для финишной очистки после очистки. [74, TWG 2004]

Экологические преимущества

Преимущества включают снижение выбросов в поток дымовых газов за счет снижения загрузки частиц в последующих процессах ОДГ.

Отделение летучей золы от остатков ОДГ позволяет добиться:

- снижения количества образующихся остатков ОДГ;
- отдельной обработки летучей золы для возможного повторного использования.

Предварительная очистка от пыли снижает пылевую нагрузку на последующие системы ОДГ, мощность которых в последствии может быть уменьшена, и они будут подвергаться меньшему риску засорения, и, следовательно, последующие устройства могут быть сконструированы меньшими по размеру и с некоторой степенью снижения затрат.

Раздельный сбор компонентов дымовых газов не принесет какой-либо пользы для окружающей среды, если впоследствии отделенные остатки будут повторно смешаны. Поэтому для оценки возможности получения реальных выгод необходимо рассмотреть следующие аспекты. [64, TWG 2003]

При применении только лишь ЭСФ и циклонов могут возникнуть проблемы с достижением требуемых уровней выбросов пыли. Тем не менее, они полезны в качестве предварительных пылеуловителей и способствуют достижению самых низких уровней выбросов при применении в сочетании с другими технологиями.

Экологические показатели и эксплуатационные данные

[2, InfoMil 2002] Эффективность улавливания (очистки) циклонов возрастает непосредственно в зависимости от нагрузки пыли, расхода дымовых газов, размера частиц и их плотности. Поскольку частицы летучей золы мелкие, плотность низкая, а содержание пыли и расход дымовых газов изменяется, эффективность удаления пыли у циклонов ограничена. Обычно значения концентрации пыли не ниже 200–300 мг/Нм³. Мультициклоны, основанные на том же принципе удаления, могут достигать несколько более низких значений, но достичь значений ниже 100–150 мг/Нм³ очень трудно.

[2, InfoMil 2002] ЭСФ может достигать существенно более низких значений концентрации пыли, чем (мульти-) циклоны. В зависимости от конструкции и расположения в системе обработки дымовых газов (до или после удаления пыли), а также от количества участков, обычно можно достичь значений концентрации выбросов пыли 15–25 мг/Нм³. Достижение значений ниже 5 мг/Нм³ возможно при большем количестве участков (два или три) и увеличенной поверхности ЭСФ (и, следовательно, увеличенных затрат и требований к пространству).

РФ обычно очень эффективны для удаления пыли. Там, где используются РФ, чаще всего вводят реагенты (хотя это не всегда так) для создания слоя предварительного покрытия поверх мешков, чтобы защитить от коррозии и повысить эффективность фильтрации (особенно для глубокой фильтрации). [74, TWG 2004] Используемые реагенты обычно представляют собой гидратированную известь и активированный уголь. Активированный уголь снижает нагрузки от диоксинов и ртути, которые переходят на последующие стадии очистки дымовых газов. Для мокрых систем это способствует уменьшению накопления диоксинов с эффектом памяти в материалах скруббера.

Необходимо проявлять осторожность по отношению к золе в бункере, а также к тлеющим углям (особенно, если РФ устанавливаются непосредственно после котла), чтобы предотвратить риск возгорания.

[2, InfoMil 2002] Циклоны представляют собой относительно простую конструкцию без движущихся частей (за исключением систем транспортировки, используемых для удаления летучей золы со дна котла) и, следовательно, могут иметь высокую доступность при относительно низких затратах. Однако падение давления потока дымовых газов относительно велико, что приводит к увеличению потребляемой мощности вентилятора дымовых газов и, следовательно, к дополнительному потреблению энергии.

[2, InfoMil 2002] Для правильного функционирования ЭСФ важно, чтобы поток дымовых газов равномерно распределялся по всей его поверхности. Спад давления дымовых газов в ЭСФ является достаточно мал, что снижает потребление энергии. Тем не менее, для функционирования некоторых устройств предварительной очистки (например, ЭСФ, фильтры) требуется электричество. [74, TWG 2004].

Таблица 4.11: Эксплуатационные данные, связанные с использованием систем предварительной очистки

Критерий	Описание факторов, влияющих на критерии	Оценка (высокая/средняя/низкая)	Комментарии
Сложность	- Требуются дополнительные технологические установки - Критические эксплуатационные аспекты	С	Дополнительные технологические блоки добавляют сложности, но могут упростить последующие операции
Гибкость	Способность технологии работать в диапазоне входных условий	В	Каждая из систем может быть применима к переменным потокам и составам дымовых газов
Требования к навыкам	Существенные дополнительные требования к обучению или требования к оператору	В/С	РФ требуют наибольшего внимания, а циклоны – наименьшего; ЭСФ находятся между
Другие требования	РФ могут потребовать добавления реагентов для защиты от коррозии и пожара.		

В таблице ниже приведено сравнение методов удаления пыли (используемых на этапах до и после удаления пыли):

Таблица 4.12: Сравнение систем удаления пыли

Технология удаления пыли	Типичные концентрации выбросов пыли	Преимущества	Недостатки
Циклон и мультициклон	Циклоны: 200–300 мг/м ³ Мультициклоны:	- Функциональная, относительно простая и надежная система	- Только для предварительной очистки - Относительно высокое

Технология удаления пыли	Типичные концентрации выбросов пыли	Преимущества	Недостатки
	100–150 мг/м ³	- Применяется при сжигании отходов	энергопотребление
Сухой ЭСФ	< 5–25 мг/м ³	- Относительно низкие требования к мощности - Может использовать температуру газа в диапазоне 150–350 °С - Широко применяется при сжигании отходов	- Риск образования ПХДД/Ф при использовании в диапазоне температур 450–200°С.
Мокрый ЭСФ	< 5–20 мг/м ³	- Может достигать низких концентраций выбросов - Иногда применяется при сжигании отходов	- Небольшой опыт применения при сжигании отходов - В основном применяется после пылеудаления - Образование технологических сточных вод - Увеличение видимости шлейфа
Рукавный фильтр	< 5 мг/м ³	- Широко применяется при сжигании отходов - Слой остатка действует как дополнительный фильтр и как адсорбционный реактор	- Относительно высокое энергопотребление (по сравнению с ЭСФ) - Чувствительна к конденсации воды и коррозии
Источник: [2, InfoMil 2002]			

Воздействие на различные компоненты окружающей среды

Потребности различных технологий предварительной очистки в энергии оцениваются в таблице ниже.

Таблица 4.13: Потребности в энергии, связанные с использованием различных предварительных пылеуловителей

Технология предварительной очистки	Единица измерения	Потребность в энергии	Комментарии
Циклон	кВтч/т отходов	Низкая	Более низкая эффективность для удаления частиц < 5 мкм
Мультициклон		Низкая	
Сухой ЭСФ		Повышенная (электростатическая нагрузка)	Общая технология
Рукавный фильтр		Максимально высокая при падении давления и струйной очистке под высоким давлением	Общая технология
Источник: [74, TWG 2004]			

Наиболее значимые воздействия на различные компоненты окружающей среды, связанные с этой технологией:

- потребление энергии из-за потери давления, которая выше у РФ, чем у других систем;
- потребление электроэнергии для работы ЭСФ;
- концентрации ПХДД/Ф в дымовых газах могут увеличиваться в течение времени их пребывания в ЭСФ, особенно при работе при температуре от 200 до 450°С.

Технические соображения, касающиеся применимости

Для предварительной очистки требуется место для дополнительной технологической установки, что может быть ограничивающим фактором для существующих установок.

Экономические аспекты

Основные аспекты данной технологии:

- увеличение капитальных и инвестиционных затрат – для дополнительных технологических установок;
- повышенные энергозатраты, особенно на рукавную фильтрацию;
- возможное снижение затрат на обращение там, где имеются рынки сбыта для летучей золы;
- возможная повышенная стоимость обработки дополнительных потоков остатков (либо для восстановления, либо для обращения).

Инвестиционные затраты на УСТКО с двумя линиями общей мощностью 200 000 т/г оцениваются как [12, Achternbosch, 2002]:

• ЭСФ (3 зоны)	2,2 миллиона евро
• ЭСФ (2 зоны)	1,6 миллиона евро
• рукавный фильтр	2,2 миллиона (неясно, включает ли это охладитель дымовых газов вверх по потоку).

Эксплуатационные затраты на установку рукавного фильтра для предварительной очистки могут быть выше из-за более высокого энергопотребления, связанного с падением давления и впрыском реагента. Однако большая емкость рукавного фильтра для удаления пыли и других загрязняющих веществ (особенно при использовании с впрыском реагента) может привести к снижению затрат на последующие компоненты системы ОДГ.

Мотивы внедрения

- Остатки ОДГ и летучая зола могут быть отделены и очищены/переработаны отдельно.
- Требуется меньшая производительная мощность оборудования ОДГ ниже по потоку (снижается содержание пыли).
- Улучшения в работе последующих систем ОДГ.
- Предпочтительнее удалять ПХДД/Ф перед мокрой очисткой, чтобы уменьшить эффект памяти.

Примеры

Широко применяется на многих мусоросжигательных заводах.

Справочная литература

[2, InfoMil 2002], [55, EIPPCB 2002], [64, TWG 2003]

4.5.2.2 Удаление пыли ниже по потоку**Описание**

Данная технология относится к одному из следующих случаев:

- удаление пыли, связанное с сухими и полумокрыми процессами, с целью одновременного улавливания солевой пыли, образующейся в результате реакции кислых газов с щелочными реагентами.
- применение дополнительной системы очистки дымовых газов для окончательного снижения выбросов пыли после других компонентов ОДГ перед окончательным выбросом дымовых газов в атмосферу.

Техническое описание

Основной системой, используемой после сухой или полумокрой системы ОДГ, является рукавный фильтр.

Основные системы, используемые для финишной очистки дымовых газов:

- РФ;
- мокрые ЭСФ;
- электродинамические скрубберы Вентури;

- аглофильтрующие модули;
- ионизирующие мокрые скрубберы.

[74, TWG 2004]

Отдельные технологии описаны в разделе 2.5.3.

Добавление окончательной мокрой системы очистки дымовых газов также может считаться финишной очисткой после других систем, которые работают с кислыми газами и т.д. Ее внедрение обычно применяется для контроля сильно варьирующих выбросов HCl и SO₂; ПХДД/Ф и ртуть также могут быть удалены с использованием пропитанного углеродом полимерного (пластикового) материала и соответственно с добавлением перекиси водорода. Эти дополнительные технологии описаны в разделах 4.5.5.7 и 4.5.6.5. [64, TWG 2003] [7, TWG 2017]

Также устройства финишной очистки используются для удаления капель (особенно мелких). Как правило, они реализованы для предотвращения загрязнения в последующих устройствах, таких как система СКВ. [74, TWG 2004]

Экологические преимущества

Помимо дальнейшего уменьшения выбросов пыли, выбросы в воздух следующих веществ также могут быть уменьшены:

- металлы – поскольку их концентрации выбросов обычно связаны с эффективностью удаления пыли;
- ртуть и ПХДД/Ф – где углерод (обычно с щелочным реагентом) добавляется в качестве абсорбента на рукавных фильтрах;
- кислые газы – там, где щелочные реагенты добавляются для защиты РФ.

Преимущества этих дополнительных сокращений выбросов могут быть небольшими в тех случаях, когда уже применяются технологии для снижения концентраций в дымовых газах выше по потоку до низкого уровня.

Кроме того, использование двух разных систем для удаления твердых частиц из дымовых газов позволяет отделить летучую золу от остатков ОДГ (соли от нейтрализации кислых газов). Это может затем позволить извлечь ту или иную фракцию, при наличии подходящих рынков сбыта.

Экологические показатели и эксплуатационные данные

Как правило, при удалении пыли выше и ниже по потоку могут быть достигнуты аналогичные уровни выбросов пыли.

В случае двойного пылеудаления дальнейшее сокращение выбросов в атмосферу сверх того, что уже достигнуто другими компонентами ОДГ, показано в таблице ниже.

Таблица 4.14: Уровни выбросов, связанные с использованием систем финишной очистки дымовых газов РФ

Вещество	Достиженные диапазоны выбросов			
	Среднее получасовое значение (мг/ Нм ³)	Среднесуточное (мг/ Нм ³)	Среднегодовое (мг/ Нм ³)	Удельный выброс (г/т отходов)
Пыль	< 15	< 1–5	< 0.4	< 2.5
Примечание: Точный конечный уровень выбросов будет зависеть от уровня на входе в конечную стадию удаления пыли (в зависимости от производительности применяемых более ранних стадий) и эффективности используемой конечной стадии удаления пыли. Цифры, приведенные здесь, обеспечивают руководство по уровням выбросов, которые обычно достигаются при внедрении стадии финишной очистки. Источник: [81, TWG 2016]				

Для обеспечения эффективной работы РФ и, следовательно, низкого уровня выбросов очень важно их тщательное обслуживание. Падение давления в фильтрах контролируется для того, чтобы на фильтре образовался кек. Он также может быть использован в качестве средства для обнаружения повреждения мешка (например, необратимого загрязнения). Выбросы пыли, как правило, можно контролировать до очень низкого уровня, просто наблюдая за перепадом давления более тщательно и применяя более строгие критерии (т.е. меньшую допустимый диапазон перед проведением

технического обслуживания) для замены мешка. Для оценки требуемой мощности дозы реагента и для оценки состояния и оставшегося срока службы фильтрующего слоя также может использоваться анализ фильтрующего материала.

Таблица 4.15: Эксплуатационные данные, связанные с использованием финишной очистки дымовых газов

Критерий	Описание факторов, влияющих на критерии	Оценка (высокая/средняя/низкая)	Комментарии
Сложность	- Требуются дополнительные технологические установки - Критические эксплуатационные аспекты	В	Дополнительные технологические установки усложняют процесс
Гибкость	Способность технологии работать в диапазоне входных условий	С	Как технология хвостовой части, процесс будет менее подвержен таким изменениям
Требования к навыкам	Существенные дополнительные требования к обучению или требования к оператору	В	РФ требуют тщательного обслуживания

Воздействие на различные компоненты окружающей среды

Воздействие на различные компоненты окружающей среды, связанное с двойным пылеулавливанием, указано в следующей таблице.

Таблица 4.16: Воздействие на различные компоненты окружающей среды, связанное с использованием дополнительной финишной очистки дымовых газов

Критерий	Комментарии
Потребность в энергии	Повышенная из-за спада давления в технологической установке
Расход реагента	Используется больше реагента
Расход воды	Мокрый ЭСФ приводит к сбросу воды, которая может быть переработана в процессе
Остаток - тип	Летучая зола и/или другие вещества, удаленные в фильтре тонкой очистки, обычно становятся дополнительным потоком твердых отходов
Остаток – количество	Зависит от входных нагрузок и применяемых технологий ОДГ выше по потоку, но обычно будет низким
Видимость шлейфа	Не сухие системы могут увеличить видимость шлейфа
Источник: [74, TWG 2004]	

Для этой технологии наиболее значительным воздействием на различные компоненты окружающей среды является потребление энергии из-за спада давления на рукавных фильтрах.

В частности, в случае использования двух рукавных фильтров последовательно (даже если они разделены), потенциальные преимущества с точки зрения улучшенного контроля загрязняющих веществ необходимо сопоставить со значительно более высокой мощностью вентилятора, необходимой для преодоления дополнительного падения давления, вызванного вторым РФ, и, следовательно, более высоким потреблением электроэнергии.

Технические соображения, касающиеся применимости

Финишная очистка дымовых газов (двойное улавливание пыли) требует пространства для дополнительной технологической установки, что может быть ограничивающим фактором для

существующих установок.

Экономические аспекты

Ключевыми аспектами затрат на двойное улавливание пыли являются:

- увеличенные капитальные затраты за счет дополнительной технологической единицы;
- увеличенные эксплуатационные расходы – в основном из-за требований к энергии для спада давления, обеспечения сжатого воздуха для обратной пульсации рукавного фильтра (если используется) и дополнительных затрат на обслуживание.

Мотивы внедрения

Удаление пыли ниже по потоку обычно необходимо при использовании сухих или полумокрых систем ОДГ. Для конкретного случая двойного пылеулавливания мотивы внедрения для применения такой системы могут включать:

- соблюдение законодательства/местных условий, предусмотренных в разрешении, которые требуют дополнительного снижения выбросов пыли, металлов, диоксинов и/или кислых газов;
- необходимость эффективного удаления пыли для последующего процесса СКВ;
- возможность обращения с солями, возникающими при удалении кислых газов;
- при использовании фильтрации с двойным рукавом рекуперация дополнительного тепла между двумя рукавными фильтрами позволяет эксплуатировать второй фильтр при более низкой, оптимальной температуре (около 140°C) для впрыска активированного угля.

Примеры

Удаление пыли ниже по потоку применяется на всех заводах, оборудованных сухими или полумокрыми системами ОДГ.

В Германии, Австрии, Франции и Нидерландах есть примеры установок, использующих двойное улавливание пыли.

Справочная литература

[3, Austria 2002], [2, InfoMil 2002], [64, TWG 2003]

4.5.3 Технологии снижения выбросов кислых газов

Следующие разделы посвящены:

- описанию и оценке эффективности, обычно достигаемой основными технологиями, применяемыми для восстановления кислых газов, включая рассмотрение применимости к различным ситуациям;
- описанию и оценке некоторых других технологических и производственных вариантов, относящихся к удалению кислых газов.

4.5.3.1 Системы мокрой очистки газа

Описание

Данная технология описана в разделе 2.5.4.

Техническое описание

Мокрые скрубберы, как правило, имеют по меньшей мере две эффективные стадии: первая при низком pH удаляет главным образом HCl и HF, а также металлы, вторая стадия дозируется с известковым молоком, суспензией известняка или гидроксидом натрия и работает при pH 6–8 в основном для удаления SO₂. Скрубберы иногда могут быть описаны как три или более стадии, причем дополнительные стадии, как правило, являются этапами первой стадии низкого pH для конкретных целей.

Экологические преимущества

Влажные системы ОДГ обеспечивают наивысшую эффективность удаления (для растворимых кислых газов) из всех систем ОДГ с наименьшим избыточным стехиометрическим фактором. [74,

TWG 2004]

К тому же, одноступенчатые системы ОДГ на основе фильтрации (например, полумокрая, сухая) объединяют и собирают остатки вместе, это обычно не относится к мокрым системам. Мокрые системы могут обрабатывать HCl, HF и SO₂ отдельно от пыли, которую обычно удаляют раньше. Тем не менее, мокрые системы обеспечивают некоторые дополнительные сокращения следующих веществ:

- Пыли – когда емкость скруббера достаточно велика, чтобы предотвратить засорение (чаще всего перед мокрым скруббером используется стадия предварительной очистки, чтобы уменьшить количества пыли и предотвратить эксплуатационные проблемы), до 50% от количества пыли. [74, TWG 2004]
- ПХДД/Ф – если используются пропитанные углеродом упаковочные материалы, типичное снижение на 70% достигается с помощью обычной системы очистки. Тем не менее, многоступенчатые системы очистки, заполненные достаточным объемом пропитанных углеродом материалов, способны гарантировать уровни выбросов значительно ниже 0,1 нг МТЭ/Нм³ в установках сжигания ТКО и установках сжигания опасных отходов. С аналогичной целью в скруббер могут быть добавлены активированный уголь или кокс, которые демонстрируют аналогичную эффективность удаления. При отсутствии углеродных добавок скорости удаления незначительны. [74, TWG 2004] [7, TWG 2017] – Швеция
- Hg²⁺ – если используется скруббер первой ступени с низким pH (~ 1), а концентрации HCl в отходах обеспечивают подкисление этой стадии, то ртуть удаляется в виде HgCl₂; элементарная ртуть, как правило, не затрагивается. [64, TWG 2003]
- Другие загрязнители – когда в неочищенном газе присутствуют водорастворимые загрязнители, такие как бром и йод, то они могут конденсироваться при низких температурах в скруббере и, таким образом, попадать в сточные воды скруббера.

Экологические показатели и эксплуатационные данные

Уровни выбросов в атмосферу, обычно демонстрируемые установками, оснащенными мокрыми скрубберами, показаны в таблице 4.17.

Таблица 4.17: Уровни выбросов, связанные с использованием мокрых скрубберов

Вещество	Достигнутые диапазоны выбросов				Комментарии
	Годовой максимум		Среднегодовое (мг/Нм³)	Удельный выброс (г/т отходов)	
	Среднее получасовое (мг/Нм³)	Среднесуточное (мг/Нм³)			
HCl	2–10	< 2–4	< 2	< 12	Очень стабильные концентрации на выходе
HF	< 1	< 1	< 0.5	< 3	Очень стабильные концентрации на выходе
SO ₂	10–50	5–30	< 10	< 60	Требуется стадия реакции и абсорбент (известковое молоко, суспензия известняка или гидроксид натрия)
Источник: [81, TWG 2016]					

Источник: [81, TWG 2016]

Таблица 4.18: Эксплуатационные данные, связанные с использованием мокрой ОДГ

Критерий	Описание факторов, влияющих на критерии	Оценка (высокая/средняя/низкая)	Комментарии
Сложность	• Требуются дополнительные технологические установки • Критические эксплуатационные аспекты	В	Количество технологических установок больше, чем в других системах

Критерий	Описание факторов, влияющих на критерии	Оценка (высокая/средняя/низкая)	Комментарии
Гибкость	Способность технологии работать в диапазоне входных условий	В	Очень надежная – высочайшая способность всех систем достичь снижения выбросов HCl/HF при колебаниях концентрации на входе
Требования к навыкам	Существенные дополнительные требования к обучению или требования к оператору	В	Соответствующая очистная установка требует высококвалифицированного персонала для обслуживания

Основные эксплуатационные вопросы заключаются в следующем.

Проблемой может быть накопление ПХДД/Ф в мокрых скрубберах, особенно в периоды технического обслуживания и запуска, что может потребовать принятия конкретных мер.

Очистка сточных вод требует высококвалифицированных операций для достижения низких уровней выбросов.

Для эффективной работы мокрых скрубберов требуются уже очищенные от пыли дымовые газы, например, с помощью ЭСФ или РФ. [64, TWG 2003]

Мокрая очистка обеспечивает гибкость в отношении изменения входных концентраций HCl, HF, а также SO₂ благодаря высокой буферной емкости. Иногда требуется дополнительная обработка ртути, например: впрыск сложного компонента в основной скруббер; впрыск активированного угля в кислотный скруббер; впрыск окислителя или удаление газовой фазы адсорбентом. [64, TWG 2003]

Воздействие на различные компоненты окружающей среды

Воздействие на различные компоненты окружающей среды указано в таблице 4.19 ниже.

Таблица 4.19: Воздействие на различные компоненты окружающей среды, связанные с использованием мокрого скруббера ОДГ

Критерий	Единица измерения	Диапазон значений	Комментарии
Потребность в энергии	кВтч/т поступающих отходов	19	Насосы увеличивают потребление электроэнергии. Дополнительная энергия необходима для испарения сточных вод там, где необходимо избежать сброса воды.
Расход реагента	кг/т поступающих отходов	В зависимости от используемого реагента: NaOH: 3–5 CaO: 2–4 Ca(OH) ₂ : 2–4 CaCO ₃ : 6–9	Самый низкий из всех систем
Стехиометрия реагента	Соотношение	1.0–1.2	Самая низкая из всех систем
Остаток – тип			Очистка сточных вод от шлама; в некоторых случаях HCl или гипс могут быть восстановлены

Критерий	Единица измерения	Диапазон значений	Комментарии
Остаток – количество	кг(влажный)/т поступающих отходов кг (сухой)/т поступающих отходов	10–15 3–5	Самое низкое из всех систем. Эта цифра не включает отдельно удаленную летучую золу: ок. 16 кг/т на входе.
Расход воды	л/т поступающих отходов	100–500	Самый высокий из всех систем, но может быть снижен путем обработки и рециркуляции/конденсации и при низких температурах перед впускным отверстием скруббера.
Образование сточных вод	л/т поступающих отходов	0–500	Переработка требуется перед сбросом или повторным использованием
Видимость шлейфа	+/-	+	Высокая влажность газа, но может быть уменьшена путем нагрева/конденсации
Примечание: данные в этой таблице предназначены для представления типичного рабочего диапазона. Точное количество образующихся остатков и стоков будет зависеть от многих факторов, включая концентрации неочищенного газа (связанные с отходами), скорости потока, концентрации реагентов и т.д. Источник: [1, UBA 2001], [2, InfoMil 2002], [12, Achternbosch, 2002], [81, TWG 2016]			

Для данной технологии наиболее значимыми воздействиями на различные компоненты окружающей среды по сравнению с другими вариантами являются:

- самые низкие показатели расхода реагентов;
- самые низкие показатели образования твердых остатков;
- более высокий расход воды;
- производство сточных вод, требующих управления;
- повышенная видимость шлейфа;
- накопление ПХДД/Ф (эффект памяти) на пластмассовых компонентах скруббера требует обращения;
- если температура на входе слишком высокая, материал, используемый в мокром скруббере, может быть разрушен.
[74, TWG 2004]

Технические соображения, касающиеся применимости

Технология обычно применима, если есть достаточное количество воды.

Из-за низкой температуры на выходе (приблизительно 70°C), дымовой газ может нуждаться в повторном нагреве для последующих систем ОДГ, например, для РФ и СКВ.

Экономические аспекты

Ориентировочные капитальные затраты на технологию приведены в таблице ниже.

Таблица 4.20: Расчетные инвестиционные затраты на отдельные компоненты мокрых систем ОДГ

Компонент ОДГ	Ориентировочная инвестиционная стоимость (млн. евро)	Комментарии
Двухступенчатый мокрый скруббер	5	Включая очистку сточных вод
Трехступенчатый мокрый скруббер	7	Включая очистку сточных вод
Внешняя установка испарения сточных вод скруббера	1.5–2	
Распылительный абсорбер для внутреннего испарения	1.5	

Компонент ОДГ	Ориентировочная инвестиционная стоимость (млн. евро)	Комментарии
сточных вод		
Примечание: Предполагаемые затраты относятся к УСТКО из двух линий общей мощностью 200 тыс. т/г. Источник: [12, Achtembosch, 2002], [74, TWG 2004]		

Ключевые стоимостные аспекты этой технологии по сравнению с альтернативами:

- более высокие капитальные затраты по сравнению с другими системами, в основном из-за очистных сооружений и большего количества требуемых технологических установок, что может быть ограничивающим фактором, в частности, на небольших площадках сжигания неопасных отходов;
- эксплуатационные расходы, связанные с удалением остатков, могут быть ниже из-за более низкого удельного производства остатков [74, TWG 2004];
- издержки на рабочую силу из-за повышенной сложности системы.

Мотивы внедрения

- Достижение особенно низких и стабильных уровней выбросов кислых газов.
- Снижение затрат на обращение с остатками очистки дымовых газов.
- Возможность восстановления HCl, соли, гипса.
- Особенно сложно прогнозировать/контролировать состав вводимых отходов.
- Вводимые отходы могут содержать высокие и переменные нагрузки предшественников кислых газов или металлов (например, ионной ртути) [74, TWG 2004].
- Сокращение выбросов аммиака.

Примеры

Мокрая очистка дымовых газов широко используется в Европе для всего спектра типов отходов.

Справочная литература

[1, UBA 2001], [2, InfoMil 2002], [12, Achtembosch, 2002], [64, TWG 2003]

4.5.3.2 Системы полумокрой очистки газа

Описание

Данная технология описана в разделе 2.5.4.

Техническое описание

На приведенной ниже схеме показана типичная полумокрая система ОДГ с реактором слева и расположенным ниже по потоку пылеуловителем справа.



Рисунок 4.6: Типичная конструкция полумокрой системы ОДГ

Экологические преимущества

Нет сброса сточных вод из полумокрых скрубберов, поскольку объемы используемой воды, как правило, ниже, чем у мокрых скрубберов, и она испаряется с дымовыми газами. Если их качество подходящее, другие сточные воды (например, дождевая вода) могут направляться в систему ОДГ. [74, TWG 2004]

Полумокрые системы ОДГ обеспечивают высокую эффективность удаления (для растворимых кислых газов). Уровни выбросов можно уменьшить, отрегулировав скорость дозирования реагента и расчетную точку системы, но, как правило, за счет увеличения потребления реагентов и скорости производства остатков.

Полумокрые системы используются с тканевыми фильтрами для удаления добавленных реагентов и продуктов их реакции. Реагенты, отличные от щелочных реагентов, также могут быть добавлены для адсорбции других компонентов дымовых газов (например, активированный уголь для ртути и ПХДД/Ф).

Они чаще всего используются в качестве одностадийного реактора/фильтра для комбинированного восстановления:

- кислые газы — удаляются щелочным реагентом;
- пыль — фильтруется тканевым фильтром;
- ПХДД/Ф — адсорбируется, если вводится активированный уголь, а также щелочной реагент;
- Hg — адсорбируется, если вводится активированный уголь, а также щелочной реагент.

Экологические показатели и эксплуатационные данные

Типичные уровни выбросов в атмосферу установками, оборудованными полумокрыми скрубберами, следующие.

Таблица 4.21: Уровни выбросов, связанные с использованием полумокрых скрубберов

Вещество	Достиженные диапазоны выбросов				Комментарии
	Годовой максимум		Среднегод овое (мг/Нм³)	Удельный выброс (г/т отходов)	
	Среднее получасово е значение (мг/Нм³)	Среднесут очное (мг/Нм³)			
HCl	12–25	2–8	< 6	< 33	Пиковые значения могут быть обработаны анализатором HCl выше по потоку. Полумокрый процесс может улавливать SO ₂ одновременно с HCl и HF в одном и том же скруббере.
HF	< 2	< 1	< 0.5	< 3	
SO ₂	30–70	< 40	< 25	< 140	
Источник: [81, TWG 2016]					

Источник: [81, TWG 2016]

Таблица 4.22: Эксплуатационные данные, связанные с использованием полумокрой ОДГ

Критерий	Описание факторов, влияющих на критерии	Оценка (высокая/средняя/низкая)	Комментарии
Сложность	- Требуются дополнительные технологические установки - Критические эксплуатационные аспекты	С	- Количество технологических установок меньше, чем у мокрых систем, но больше, чем у сухих - Температура на входе требует контроля - Предварительное удаление пыли может облегчить полусухую работу
Гибкость	Способность технологии работать в диапазоне входных условий	С	- Может достигать низких уровней выбросов при большинстве условий - Быстрые изменения нагрузки на входе могут быть проблематичными
Требования к навыкам	Существенные дополнительные требования к обучению или требования к оператору	С	- Нет требований к очистке сточных вод - Требуется осторожность для оптимизации дозирования реагента

Большинство систем состоят только из блока смешивания реагентов (реагент плюс вода) и скруббера с разбрызгивающим устройством, а затем рукавного фильтра – поэтому сложность ниже, чем у мокрых систем ОДГ.

Обработка и дозирование реагента требуют хорошего управления для обеспечения эффективной и оптимизированной работы, особенно там, где обрабатываются разнородные виды отходов, например, на коммерческих установках сжигания опасных отходов.

Мониторинг HCl выше по потоку (см. раздел 4.5.3.9) улучшает оптимизацию дозирования реагентов в этих системах и позволяет управлять пиковым содержанием HCl, HF и SO₂ без высоких скоростей дозирования реагентов.

Некоторые установки производят Ca(OH)₂ для системы ОДГ на месте путем гашения CaO. Эффективная подготовка извести может иметь решающее значение для хорошей работы, а также

может контролировать риск загрязнения в устройстве впрыска. Инжекторы должны быть расположены и сконструированы таким образом, чтобы их можно было легко обслуживать и/или заменять для очистки. [74, TWG 2004]

Для РФ требуется тщательный контроль для устранения повреждений мешков и последующих выбросов. Для индикации повреждения мешка и работы монитора в целом обычно используются мониторы перепада давления.

Решающее значение имеют требования к температуре. Необходимо соблюдать осторожность, чтобы избежать коррозии точки росы в рукавном фильтре – обычно используются температуры газа на входе выше 130–140°C. При температуре ниже 130°C могут возникнуть проблемы из-за гигроскопической природы образующегося CaCl_2 . Реагенты обычно требуют определенной температуры для оптимальных условий реакции.

Сообщается, что могут возникнуть эксплуатационные проблемы, когда полусухие системы ОДГ используются для очистки очень кислых неочищенных газов, поскольку это может привести к повышенному риску засорения фильтра.

Сложность эксплуатации реакторов и РФ, используемых в полусухих системах, сама по себе может быть дополнительно уменьшена путем использования предварительной очистки, например, путем применения одноступенчатого ЭСФ или использования материала фильтров с защитой от налипания (см. также раздел 2.5.3.5). Это позволяет избежать следующих проблем:

- прилипания некоторого количества цинка (и аналогичных солей с низкими температурами плавления); а также
- гигроскопичных солей, образующих липкие слои на поверхности реактора.

[64, TWG 2003]

Воздействие на различные компоненты окружающей среды

Воздействия на различные компоненты окружающей среды указаны в следующей таблице.

Таблица 4.23: Воздействие на различные компоненты окружающей среды, связанное с использованием полумокрой очистки кислого газа

Критерий	Единица измерения	Диапазон значений	Комментарии
Потребность в энергии	кВтч/т поступающих отходов	6–13	Спад давления на рукавном фильтре создает потребность в энергии
Расход реагента	кг/т поступающих отходов	7–10 (негашеная известь)	Средний диапазон примененных системных опций
Стехиометрия реагента	Соотношение	1.4–2.5	Самые низкие значения достигаются при рециркуляции/с низким уровнем загрязнения
Остаток – количество	кг/т поступающих отходов	25–50	Комбинированные ОДГ и летучая зола
Расход воды	л/т поступающих отходов	< 300	Самая низкая там, где температура на входе ОДГ низкая; в противном случае также необходима вода для охлаждения
Видимость шлейфа	+/-	0	Средний диапазон применяемых систем

Критерий	Единица измерения	Диапазон значений	Комментарии
Примечание: Данные в этой таблице предназначены для предоставления типичного рабочего диапазона. Точное количество образующихся остатков и стоков будет зависеть от многих факторов, включая концентрации неочищенного газа (связанные с отходами), скорости потока, концентрации реагентов и т.д. Источник: [3, Austria, 2002], [12, Achternbosch, 2002], [64, TWG 2003], [74, TWG 2004], [81, TWG 2016]			

Для данной технологии наиболее значительным воздействием на различные компоненты окружающей среды является более высокая производительность по сравнению с мокрыми системами.

Отдельный сбор летучей золы возможен, если этой системе предшествует ЭСФ. Это впоследствии увеличивает разделение летучей золы и остатков ОДГ, что может быть выгодно, если существуют отдельные варианты очистки/переработки этих остатков.

Полумокрая система ОДГ часто применяется в качестве одноступенчатого мультиреактора. Такие системы обычно имеют более низкие потребности в энергии, чем более сложные многоступенчатые системы ОДГ.

Технические соображения, касающиеся применимости

Технология, в целом, применима.

Из-за температуры на выходе (120–170°C) может потребоваться дополнительный нагрев дымового газа для некоторых последующих систем ОДГ, например, для СКВ.

Экономические аспекты

Информация о капитальных затратах для реализации технологии показана в таблице ниже.

Таблица 4.24: Ориентировочные инвестиционные затраты на отдельные компоненты типичных полумокрых систем ОДГ

Компонент(ы) ОДГ	Ориентировочная инвестиционная стоимость (млн. евро)
Тканевый фильтр	2
Сушка распылением	1–1.5
Примечание: Предполагаемые затраты относятся к УСТКО из двух линий общей мощностью 200 тыс. т/г. Источник: [12, Achternbosch, 2002]	

Ключевые эксплуатационные показатели данной технологии:

- инвестиционные затраты ниже, чем для мокрых систем ОДГ, особенно для относительно небольших мощностей [2, InfoMil 2002]; возможно более высокая стоимость очистки большего количества произведенных остатков (в сравнении с мокрыми системами);
- снижение издержек на рабочую силу (по сравнению с мокрыми системами) из-за меньшей сложности, в частности, потому что это позволяет избежать затрат на эксплуатацию очистных сооружений;
- повышенная стоимость щелочных реагентов из-за более высоких стехиометрических соотношений.

Мотивы внедрения

- Способность справляться с умеренными и умеренно-переменными нагрузками на входе дымовых газов.
- Не образуются сточные воды.
- Инвестиционные затраты меньше, чем для мокрого скруббера.
- Расход воды ниже, чем для мокрого скруббера.
- Более низкая видимость шлейфа, чем у мокрых систем. [64, TWG 2003]

Примеры

Широко используется в Европе, например, Великобритания, Германия, Франция и Дания.

Справочная литература

[1, UBA, 2001] [2, InfoMil 2002] [3, Austria, 2002] [12, Achternbosch, 2002] [26, RSP 1999], [54, dechefdebien, 2003] [64, TWG 2003]

4.5.3.3 Системы сухой ОДГ**Описание**

Данная технология описана в разделе 2.5.4.

Техническое описание

В качестве щелочных реагентов обычно используются известь (например, гидратированная известь, известь с высокой удельной площадью поверхности) и бикарбонат натрия. Добавление активированного угля обеспечивает снижение выбросов ртути и ПХДД/Ф за счет адсорбции.

Тонко измельченный бикарбонат натрия при впрыскивании в горячие газы ($>160^{\circ}\text{C}$) превращается в карбонат натрия с высокой пористостью и, следовательно, эффективен для поглощения кислых газов. [59, CEFIC 2002], [7, TWG 2017]- CEWER-ESWET

Экологические преимущества

С помощью данной технологии, как правило, невозможно достичь столь же низких уровней выбросов, как с другими системами ОДГ, без увеличения скорости дозирования реагента и последующего образования остатков. Рециркуляция реагентов может до некоторой степени уменьшить это воздействие на различные компоненты окружающей среды, но может привести к эксплуатационным трудностям, связанным с системами дозирования реагентов.

Экологические показатели и эксплуатационные данные

Технические разработки позволили значительно улучшить производительность сухих систем за последнее десятилетие.

Типичные уровни выбросов в атмосферу установок, оснащенных сухой ОДГ, следующие.

Таблица 4.25: Уровни выбросов, связанные с использованием гашеной извести в сухих процессах ОДГ

Вещество	Достижимые диапазоны выбросов			
	Годовой максимум		Среднегодовое (мг/Нм ³)	Удельный выброс (г/т отходов)
	Среднее получасовое значение (мг/Нм ³)	Среднесуточное (мг/Нм ³)		
HCl	10–30	5–8	< 6	< 33
HF	< 0.6	< 0.3	< 0.2	< 1.2
SO ₂	20–70	10–40	< 15	< 85

Источник: [81, TWG 2016]

Таблица 4.26: Уровни выбросов, связанные с использованием бикарбоната натрия в процессах сухой ОДГ

Вещество	Достижимые диапазоны выбросов			
	Годовой максимум		Среднегодовое (мг/Нм ³)	Удельный выброс (г/т отходов)
	Среднее получасовое значение (мг/Нм ³)	Среднесуточное (мг/Нм ³)		
HCl	6–30	< 2–8	< 6	< 33
HF	< 1.2	< 1	< 0.5	< 3
SO ₂	30–50	5–25	< 15	< 85

Источник: [81, TWG 2016]

Таблица 4.27: Эксплуатационные данные, связанные с использованием сухой ОДГ

Критерий	Описание факторов, влияющих на критерии	Оценка (высокая/средняя/низкая) или данные	Комментарии
Сложность	• Требуются дополнительные технологические установки • Критические эксплуатационные аспекты	Н	• Простой процесс из нескольких компонентов
Гибкость	• Способность технологии работать в диапазоне входных условий	С/Н	• Широкий диапазон рабочих температур
Требования к навыкам	• Существенные дополнительные требования к обучению или требования к оператору	С/Н	• Простая система • Рукавный фильтр требует эффективного управления

Источник: [59, CEFIC 2002]

С сухими реагентами необходимо обращаться таким образом, чтобы предотвратить выбросы пыли, например, выбросы от загрузки вентиляционных отверстий сапуна силосной башни.

Некоторые установки производят $\text{Ca}(\text{OH})_2$ для системы ОДГ на месте путем гашения CaO . Эффективная подготовка извести может иметь решающее значение для надлежащей работы, а также может контролировать риск загрязнения в устройстве впрыска. Инжекторы должны быть расположены и сконструированы таким образом, чтобы их можно было легко обслуживать и/или заменять для очистки. [74, TWG 2004], [7, TWG 2017]

Сообщается, что использование рабочих температур выше приблизительно 210°C может привести к ухудшению характеристик адсорбции ПХД/ДФ и ртути в инжектированных углеродных реагентах. [7, TWG 2017]-CEFIC

Воздействие на различные компоненты окружающей среды

Воздействия на различные компоненты окружающей среды указаны в следующей таблице.

Таблица 4.28: Воздействие на различные компоненты окружающей среды, связанное с использованием сухой ОДГ

Критерий	Единица измерения	Диапазон достигнутых значений	Комментарии
Потребность в энергии	кВтч/т поступающих отходов		В основном от спада давления на рукавном фильтре. Более высокая рабочая температура может привести к экономии на повторном нагреве ДГ.
Расход реагента	кг/т поступающих отходов	10–20 (CaO) 6–12 (NaHCO_3)	Средний диапазон примененных системных опций
Стехиометрия реагента	Соотношение	1.05–1.2 (NaHCO_3) 1.5–2.5 ($\text{Ca}(\text{OH})_2$)	Оптимизация технологии за последнее десятилетие позволила снизить избыток до 5–20% с помощью бикарбоната натрия. Более низкие значения для гашеной извести достигаются при рециркуляции.
Остаток	кг/т поступающих отходов	7–25	От 1 тонны ТКО (без учета котельной золы)

Критерий	Единица измерения	Диапазон достигнутых значений	Комментарии
Видимость шлейфа	+/-	—	Самая низкая из всех систем
Примечание: Эксплуатационные значения <i>in situ</i> будут варьироваться в зависимости от местных изменений в типе отходов и т.д. Источник: [64, TWG 2003]			

Наиболее существенным воздействием на различные компоненты окружающей среды данной технологии является образование твердых остатков, которое при прочих равных параметрах обычно больше, чем в мокрых системах. Избыток может быть несколько уменьшен за счет рециркуляции остатков.

С бикарбонатом натрия твердые остатки более растворимы, чем с гидратной известью, но значительно меньше по количеству. Остатки из бикарбонатных систем, если они отделены от летучей золы, могут быть очищены и переработаны в химической промышленности (установившаяся практика во Франции и Италии). [74, TWG 2004], [7, TWG 2017]-CEFIC

Технические соображения, касающиеся применимости

Технология, в целом, применима.

Экономические аспекты

Капитальные затраты и соображения проектирования системы:

- Более низкие капитальные затраты, чем для полумокрых систем.
- Более высокие рабочие температуры могут привести к экономии на повторном нагреве дымовых газов, например, для СКВ.
- Для сухих систем не требуется установка очистки и смешивания жидкого реагента.

Эксплуатационные расходы по сравнению с другими технологиями:

- повышенные показатели расхода реагентов по сравнению с влажной ОДГ;
- повышенные затраты на обращение с остатками по сравнению с другими системами ОДГ;
- экономия на очистке/обращении из-за отсутствия стоков.

Мотивы внедрения

Простота таких систем является основной причиной их использования.

Более низкое энергопотребление по сравнению с другими вариантами ОДГ и более низкие возможные температуры на выходе котла, допускаемые отсутствием падения температуры в сухой ОДГ, также делают эти системы выгодными с точки зрения рекуперации энергии.

Дополнительную выгоду использования систем сухой ОДГ обеспечивают ограничения на водоснабжение и водосбросы. Когда сброс воды запрещен, предпочтение отдается сухим (и полусухим) системам.

Сухие системы обеспечивают дополнительные преимущества, когда следует избегать видимого шлейфа.

Примеры

Технология широко используется во всей Европе. Более 240 заводов работают в более чем 10 европейских странах, а также в Японии и США.

Есть примеры коммерческих установок сжигания опасных отходов, использующих сухие системы во Франции и Германии.

Справочная литература

[59, CEFIC 2002], [2, InfoMil 2002], [64, TWG 2003]

4.5.3.4 Добавление мокрой очистки в качестве системы финишной очистки дымовых газов после других методов ОДГ

Описание

Можно считать, что добавление окончательной мокрой системы очистки дымовых газов или конденсации дымовых газов является финишной очисткой после других систем, работающих с кислыми газами и т.д. Это добавление обычно делается для контроля высоких или переменных выбросов HCl и SO₂. [74, TWG 2004]

Техническое описание

Финишная очистка дымовых газов обычно выполняется в мокрых скрубберах с уплотненным слоем. Типичная особенность мокрой очистки в положении финишной очистки состоит в том, что HCl, SO₂, HF и, возможно, ртуть могут быть удалены на одной общей стадии, а не на двух отдельных стадиях. Для улучшения удаления SO₂ и HF может быть добавлен NaOH. Технологическая вода может впрыскиваться в печь или в верхнюю систему сухой очистки дымовых газов для работы без образования сточных вод. Рекуперация энергии за счет конденсации может быть интегрировано в систему, а возникновения влажного шлейфа можно избежать путем подогрева дымовых газов с помощью установки парового нагревателя или газо-газового теплообменника, не нуждающегося в дополнительной подаче энергии.

Экологические преимущества

Повышение надежности при сокращении выбросов кислых газов (HCl, HF, SO₂) до уровня в нижнем конце диапазонов, возможных при мокрой очистке (см. раздел 4.5.3.1).

Расход сорбента и связанное с ним производство остатков в сухой системе выше по потоку может быть уменьшено из-за высокой эффективности и низкого стехиометрического коэффициента скруббера мокрой очистки.

Экологические показатели и эксплуатационные данные

См. раздел 4.5.3.1.

Воздействие на различные компоненты окружающей среды

См. раздел 4.5.3.1.

Технические соображения, касающиеся применимости

См. раздел 4.5.3.1.

Экономические аспекты

Типичные инвестиционные затраты, указанные для скруббера, рассчитанного на обработку потока газа 100 000 Нм³/ч, составляют 2 млн. евро, включая циркуляционные насосы. Дополнительные затраты в размере около 100 000 евро также могут потребоваться для подогревателя или стеклопластиковой трубы.

Эксплуатационные расходы составляли 10–15 евро в час на электроэнергию (дополнительный спад давления вентилятора обычно составляет 1 200 Па) и работу циркуляционного насоса. Стоимость NaOH зависит от конструкции.

См. также раздел 4.5.3.1.

Мотивы внедрения

В разделе 4.5.3.1 приведены мотивы внедрения для использования мокрой ОДГ в целом.

Если выбросы кислых газов являются высокими или переменными, добавление стадии финишной очистки может быть обусловлено законодательством, требующим улучшенной очистки дымовых газов, в связи с пиковыми концентрациями загрязняющих веществ. Таким образом, технология наиболее подходит для отходов, которые имеют высокие и переменные концентрации хлора или других кислотообразующих компонентов (например, опасные отходы или KO, включая промышленные отходы).

Добавление стадии финишной очистки также может быть обусловлено экономией затрат на реагенты в системе сухой очистки дымовых газов выше по потоку.

Примеры

Многие заводы в Скандинавии и завод WTE ACCAM Busto Arsizio (IT) (IT01); Усин-де-Фор-де-Франс (FR) (FR46); Аллюэн (FR) (FR92).

Справочная литература

[64, TWG 2003], [97, Denmark et al. 2015]

4.5.3.5 Рециркуляция остатков ОДГ в системе ОДГ**Описание**

Остатки, собранные в рукавных фильтрах, используемых для сухих, полумокрых и аналогичных (но не мокрых) систем ОДГ (см. также разделы 4.5.3.2, 4.5.3.3 и 4.5.3.8), обычно содержат значительную долю непрореагировавших реагентов для обработки дымовых газов, а также летучей золы и других загрязняющих веществ, удаляемых из газового потока. Часть накопленных остатков может быть повторно активирована и рециркулирована в системе ОДГ.

Техническое описание

Из-за рециркуляции размер ОДГ обычно увеличивается, чтобы вместить дополнительный объем рециркулирующего материала.

Данная технология особенно полезна в случае технологий, которые работают с более высоким стехиометрическим избытком и менее актуальна для более эффективной прямоточной системы, в которой остается небольшое количество непрореагировавшего реагента без рециркуляции. Анализы остатков ОДГ могут проводиться для определения пропорций прореагировавшего и непрореагировавшего реагента.

Реактивация непрореагировавших реагентов перед повторным использованием в процессе ОДГ может осуществляться путем:

- добавления воды и высокой степени рециркуляции остатков;
- добавления пара низкого давления и средней степени рециркуляции остатков;
- дозревания непрореагировавших реагентов и летучей золы перед рециркуляцией в процесс ОДГ.

Экологические преимущества

Рециркуляция реагентов в системе в сочетании с добавлением или дозреванием воды/пара низкого давления имеет следующие преимущества:

- снижение расхода реагентов (по сравнению с сухими и полумокрыми системами);
- уменьшение образования твердых остатков (содержит меньше непрореагировавшего реагента);
- улучшенный контроль пиков кислых газов (рециркуляция приводит к увеличению буфера реагента).

Сообщается, что эти технологии способны справиться с концентрациями на входе, связанными с большинством типов отходов, включая переменные концентрации на входе, которые могут возникнуть, например, при сжигании опасных отходов.

Экологические показатели и эксплуатационные данные

Таблица 4.29: Эксплуатационные данные, связанные с использованием рециркуляции остатков

Критерий	Описание факторов, влияющих на критерий	Оценка (высокая/средняя/низкая)	Комментарии
Сложность	• Требуются дополнительные технологические установки • Критические	С	• Требуется немного дополнительного оборудования • Требуется внимательность для обеспечения

Критерий	Описание факторов, влияющих на критерий	Оценка (высокая/средняя/низкая)	Комментарии
	эксплуатационные аспекты		эффективной циркуляция реагента и контроля влажности
Гибкость	Способность технологии работать в диапазоне входных условий	V/C	- Большой буферный объем циркулирующего реагента повышает гибкость - Не такая гибкая в отношении изменений на входе, как влажные системы, но значительно больше, чем в сухих системах без рециркуляции
Требования к навыкам	Существенные дополнительные требования к обучению или требования к оператору	C/H	Простые системы
Источник: [57, Alstom 2003], [64, TWG 2003]			

Скорости впрыска реагента и удаления остатков требуют оптимизации, чтобы предотвратить загрузку адсорбента и возможный выброс вещества (например, ртуть и ПХДД/Ф, адсорбированные на угледе).

Уровни влажности требуют мониторинга и контроля для поддержания эффективности адсорбции кислого газа. Мониторинг HCl и SO₂ выше по потоку используется для оптимизации мощности доз щелочного реагента/воды/пара низкого давления.

Некоторые части объема системы ОДГ должны быть больше, чтобы включать дополнительно рециркулируемый материал.

Снижение выбросов в атмосферу и уровни выбросов, достигаемые этими процессами в сочетании с РФ и добавлением реагента, заключаются в следующем.

Таблица 4.30: Уровни выбросов, связанные с использованием промежуточных систем

Вещество	Диапазон снижения эффективности (%)	Достигнутые диапазоны выбросов				Комментарии
		Годовой максимум		Среднегодовое (мг/Нм³)	Удельный выброс (г/т отходов)	
		Среднее получасовое значение (мг/Нм³)	Среднесуточное (мг/Нм³)			
HCl	> 99	< 10	< 6	2.9	10–30	Стабильный благодаря высокой скорости циркуляции
HF	> 99.5	< 2	< 1	< 0.5	1–5	Стабильный благодаря высокой скорости циркуляции
SO ₂	> 99	< 50	< 5	< 1	5–50	Стабильный благодаря высокой скорости циркуляции
Источник: [57, Alstom 2003], [64, TWG 2003] [74, TWG 2004]						

Воздействие на различные компоненты окружающей среды

Данная технология позволяет уменьшить количество образующихся твердых остатков, поскольку оно ниже, чем без рециркуляции.

Сообщаемая стехиометрия реагента находится в диапазоне 1,5-2,5 в зависимости от применяемой технологии. Лучшее стехиометрическое соотношение достигается с паром низкого давления, чем с добавлением или дозреванием воды.

Расход воды/пара низкого давления зависит от температуры дымовых газов на входе.

Видимость шлейфа очень низкая из-за минимального количества воды/пара низкого давления, используемого для кондиционирования.

В некоторых случаях сообщалось об увеличении выбросов ртути. Поэтому для контроля этого может потребоваться учет скоростей ввода ртути и обеспечение достаточного удаления ртути.

Технические соображения, касающиеся применимости

Данная технология обычно применима в сочетании с системами ОДГ, отличными от мокрых систем.

Для рециркуляции остатков ОДГ требуется большой рукавный фильтр и дополнительное пространство для размещения оборудования для рециркуляции/реактивации/созревания.

Экономические аспекты

Сообщается, что капитальные затраты несколько ниже, чем для мокрых и полумокрых систем, из-за уменьшенного количества компонентов процесса и, следовательно, меньшей занимаемой площади, но немного выше, чем для сухой ОДГ без рециркуляции.

Эксплуатационные расходы по сравнению с сухой ОДГ без рециркуляции снижаются за счет более низкого расхода реагента (улучшенное стехиометрическое соотношение по сравнению с сухими системами) и сниженных затрат на обращение с остатками.

Мотивы внедрения

- Сокращение потребления реагентов.
- Сокращение образования остатков.
- Ограниченные требования к пространству.
- Ограниченная сложность процесса.

Примеры

Установки сжигания ТКО, RDF-топлива и древесных отходов действуют во Франции, Великобритании, Италии, Швеции, Норвегии, Германии, Дании и Испании.

Справочная литература

[57, Alstom 2003], [64, TWG 2003], [7, TWG 2017]-CEWEP-ESWET

4.5.3.6 Прямое добавление щелочных реагентов к отходам (прямая десульфурация)

Описание

Эта технология описана в разделе 2.5.4.4. Обычно применяется только для печей с кипящим слоем.

Щелочной реагент реагирует в печи с кислыми газами, чтобы уменьшить кислотные нагрузки в неочищенном дымовом газе, проходящем к последующим стадиям очистки дымового газа.

Техническое описание

Адсорбция в печи при высоких температурах гораздо более эффективна для удаления SO_2 , чем для HCl ; поэтому основным применением является использование в процессах с относительно высоким содержанием SO_2 , например, сжигание осадка.

[74, TWG 2004]

Экологические преимущества

Преимущества включают некоторое снижение загрузки неочищенного газа и сокращение выбросов и расхода реагентов, связанных с последующей системой ОДГ.

Экологические показатели и эксплуатационные данные

Основным преимуществом этой технологии является то, что она может уменьшить риск коррозии в котле. Так как стехиометрическое отношение относительно высокое, оно не улучшает общие характеристики ОДГ. [64, TWG 2003]

Воздействие на различные компоненты окружающей среды

Для этой технологии наиболее значимыми воздействиями на различные компоненты окружающей среды являются:

- расход реагентов в печи (но снижается расход на выходе);
- влияние на качество зольного остатка, поскольку с ним смешиваются соли и избыток реагента;
- изменение состава дымовых газов (отношение SO_2 к HCl) может повлиять на производительность систем ОДГ, расположенных ниже по потоку, может изменить параметры ПХДД/Ф и вызвать коррозию в системе ОДГ.

Добавление гашеной извести будет влиять не только на качество зольного остатка, но также на состав и удельное сопротивление летучей золы (т.е. будет больше Ca и сернистых соединений, а также более высокое разбавление загрязняющих веществ с увеличением количества остатков ОДГ). [64, TWG 2003]

Технические соображения, касающиеся применимости

Эта технология обычно применима к системам с псевдоожиженным слоем.

Экономические аспекты

Снижение затрат на очистку дымовых газов необходимо сравнивать с затратами на внесение реагента на более ранней стадии.

Существуют дополнительные капитальные затраты на обеспечение подачи реагента в печь/отходы.

Мотивы внедрения

Технология применяется в рамках модернизации на существующих заводах, где имеется только ограниченная возможность оптимизации очистки кислых газов в системе ОДГ.

Примеры

SOGAMA, Серседа (ES) (ES07.1/ES07.2); Area Impianti Bergamo (IT) (IT07); SNB, Мурдейк (NL) (NL06).

Справочная литература

[1, UBA 2001], [64, TWG 2003]

4.5.3.7 Впрыск щелочных реагентов в котел (высокотемпературный впрыск)

Описание

Непосредственный впрыск реагентов в зону дожигания котла при высокой температуре для достижения частичного снижения выбросов кислотных газов. В качестве реагентов используются гидратированная и доломитовая известь.

Техническое описание

В этой технологии применяется ввод гидратированной извести, которая реагирует с кислыми газами непосредственно в печи при оптимальных температурах 800–1 200°C, чтобы снизить кислотные нагрузки неочищенного газа, проходящие к последующим стадиям очистки дымовых газов. Поскольку адсорбция при высоких температурах очень эффективна для удаления SO_x и HF , эта реакция потребляет значительно меньше реагента по сравнению с реакцией равной скорости при более низкой температуре на стадии рукавного фильтра. Эта технология также выравнивает пики загрязняющих веществ, что позволяет дополнительно сократить использование реагентов в последующей установке очистки дымовых газов.

Экологические преимущества

Преимуществами являются снижение загрузки неочищенного газа и снижение пиков кислотного газа, а также сокращение выбросов и расхода реагента в последующем участке системы очистки дымовых газов.

Экологические показатели и эксплуатационные данные

Сообщается о снижении содержания SO_2 , SO_3 и HF на 80–96% и HCl на 25–30% (на выходе из котла) при скорости впрыска гидратной извести 3–8 кг на тонну отходов.

Воздействие на различные компоненты окружающей среды

Поскольку сообщается об общем сокращении использования реагентов в комбинированных системах очистки дымовых газов внутри котла и ниже по потоку, не ожидается никакого воздействия на различные компоненты окружающей среды.

Технические соображения, касающиеся применимости

Технология обычно применима к установкам с колосниковой и ротационной печью.

Экономические аспекты

Сообщается, что инвестиционные затраты составляют от 100 000 до 300 000 евро.

Эксплуатационные расходы, включая затраты на обслуживание и энергопотребление системы транспортировки и затраты на реагенты для впрыска котла, составляют 0,4–2,2 евро за тонну отходов.

Расходы на эксплуатацию в случае последующего впрыска сорбента NaHCO_3 составляют 0,72–2,04 евро на тонну отходов.

Мотивы внедрения

- Учет повышенных нагрузок при поступлении отходов с кислотными загрязнителями.
- Сокращение времени простоя из-за технического обслуживания котла.
- Уменьшение возникновения пиков выбросов кислых газов.
- Повышение надежности системы ОДГ путем добавления дополнительной ступени.
- В качестве модернизации, технология может обеспечить простую модификацию существующего блока ОДГ для увеличения скорости удаления кислотных загрязнителей при сохранении умеренной дозировки реагентов.

Примеры

ACSM S.p.A., Комо (IT) (IT02); AMSA S.p.A. Milano (IT); REA Dalmine (IT) (IT10.1/IT10.2); Silea S.p.A., Вальмадпера (IT) (IT11); Tecnoborgo S.p.A., Пьяченца (IT) (IT12); Ambiente 2000 Trezzo Adda (IT); Brianza Energia Ambiente-Desio (IT) (IT03); AEM Gestioni Cremona (IT); ACCAM S.p.A., Бусто-Арсицио (IT) (IT01); Ecolombardia 4 Filago (IT); Schwandorf MWI (DE); Heringen RDF plant (DE) (DE50).

Справочная литература

[99, EuLA 2015]

4.5.3.8 Комбинация полумокрого абсорбера и системы сухого впрыска**Описание**

Сочетание полумокрого процесса (обычно распылительная абсорбционная сушилка, SDA) и впрыска сухого сорбента (BCC). Технология также известна как трехчетвертная сухая система.

Техническое описание

Технология заключается во впрыске сухого реагента (BCC) выше или ниже по потоку от полумокрого реактора.

Реагентом системы BCC может быть гидратированная известь, гидратированная известь с высокой поверхностью, гидратированная известь с высокой пористостью или смесь гидратной извести и углеродистых или минеральных материалов.

Основной принцип работы – поддержание постоянного впрыска известкового молока в реактор с оптимальной расчетной скоростью для улавливания большей части загрязняющих веществ, в то время как BCC используется для удаления остаточной нагрузки кислых газов, включая пики, посредством прямого регулирующего управления.

Экологические преимущества

- Снижение общей нагрузки загрязняющих веществ, выбрасываемых в воздух, по сравнению с обычным полумокрым процессом.
- Уменьшение количества образующихся остатков благодаря улучшенной стехиометрии по сравнению с достижением той же скорости удаления с помощью полумокрого процесса.

Экологические показатели и эксплуатационные данные

Сообщаемая эффективность удаления составляет $> 98\%$ для SO_2 и $> 99\%$ для HCl .

Отмеченные преимущества:

- постоянная работа по приготовлению известкового молока;
- быстрая и точная реакция ВСС на пиковые нагрузки загрязняющих веществ;
- меньше остановок оборудования для целей технического обслуживания;
- снижение общего расхода реагента (при одинаковой скорости удаления кислого газа) по сравнению с полумокрым процессом в чистом виде.

Воздействие на различные компоненты окружающей среды

Поскольку общее снижение использования реагентов по сравнению с использованием только SDA сообщается с той же скоростью удаления загрязняющих веществ, не ожидается никакого воздействия на различные компоненты окружающей среды.

Технические соображения, касающиеся применимости

Эта технология применима к новым и существующим заводам, использующим SDA в качестве процесса ОДГ.

Экономические аспекты

Для системы ВСС инвестиционные затраты составляют 100 000–200 000 евро.

Эксплуатационные расходы, включая затраты на обслуживание и энергию для системы транспортировки и затраты на реагенты (1 кг гидратированной извести на тонну отходов) для ВСС, составляют 0,17–0,29 евро за тонну отходов.

Предотвращенные эксплуатационные расходы за счет снижения потребления реагентов в установке SDA составляют 0,33–0,38 евро за тонну отходов, исходя из снижения потребления извести с 10 кг до 7,5 кг на тонну отходов.

Мотивы внедрения

- В качестве модернизации, чтобы установка, оснащенная SDA, могла еще больше снизить уровень выбросов.
- Учет повышенных входных нагрузок кислотных загрязнителей в отходах.
- Экономия на эксплуатационных расходах.

Примеры

Intradel Uvelia-Herstal (BE) (BE04); SNVE, Рян (FR); BSR, Берлин (DE); IPALLE, Thumaide (BE); Vattenfall IKW, Рюдесдорф (DE) (DE84); SWB MHKW, Бремен (DE) (DE39); SERTRID Usine de Bourgogne (FR); IBW, Виржиналь (BE); Amagerforbraending, Копенгаген (DK); Slagelse Forbrændings Anlæg, Слагельсе (DK) (DK03).

Справочная литература

[100, EuLA 2015]

4.5.3.9 Использование мониторинга кислого газа для оптимизации процесса ОДГ

Описание

Используя быстродействующий системы мониторинга HCl , SO_2 и, возможно, HF на входе и/или на выходе из сухих и полумокрых систем ОДГ, можно настроить работу системы ОДГ так, чтобы количество используемого щелочного реагента было оптимизировано для контрольной точки выбросов технологической операции.

Техническое описание

Эта технология обычно применяется в качестве дополнительного метода для контроля пиковых концентраций, при этом накопление слоя реагента на рукавных фильтрах также обеспечивает

важный буферный эффект для колебаний реагента.

Эта технология не подходит для мокрых скрубберов, так как чистящей средой является вода, а подача воды в мокрый скруббер контролируется скоростью испарения и выпуска, а не концентрацией неочищенной HCl. [64, TWG 2003]

Простого предотвращения выброса HCl не всегда достаточно обеспечения того, что во всех системах ОДГ достаточное количество реагента, чтобы также обеспечить контроль SO₂ и/или HF и, следовательно, снизить пиковые выбросы. [7, TWG 2017] –EuLA

Экологические преимущества

Преимущества технологии в том, что:

- предупреждаются пиковые нагрузки неочищенного газа, и поэтому они не приводят к повышенным выбросам в атмосферу;
- потребление нейтрализующего реагента может быть уменьшено путем сопоставления спроса;
- количество неиспользованного реагента в остатках уменьшается.

Эти экологические преимущества дают наибольший эффект при ограниченном контроле качества отходов на входе в печь, и наименьший, когда отходы гомогенизируются и подвергаются качественному контролю с помощью операций отбора, смешивания или предварительной обработки.

Наибольшую пользу данная технология может принести небольшим заводам, так как поступление неконтролируемых отходов оказывает большее влияние на системы с меньшей пропускной способностью.

Экологические показатели и эксплуатационные данные

Для обеспечения эффективного отклика скорость реакции монитора должна быть быстрой, чтобы своевременно передавать контрольный сигнал на оборудование дозирования реагентов.

Там, где мониторы расположены выше по потоку от системы ОДГ, их устойчивость к коррозии является существенной из-за крайне агрессивной среды. Их загрязнение также может быть проблемой.

Изменение абсорбционной способности в системе ОДГ может быть достигнуто путем:

- изменения расхода с помощью насосов с регулируемой скоростью или дозирующих винтов с регулируемой скоростью;
- изменения концентрации реагента в полумокрых системах – когда объем смесительного бака достаточно мал, чтобы обеспечить должную скорость изменения концентрации;
- регулирования соотношения реагентов в системах ОДГ, где используются несколько реагентов или несколько этапов ОДГ.

Воздействие на различные компоненты окружающей среды

Не сообщалось.

Технические соображения, касающиеся применимости

Технология, в целом, применима.

Экономические аспекты

Информация не предоставлена.

Мотивы внедрения

- Использование в рамках модернизации на существующих заводах, чтобы избежать превышения пределов краткосрочных выбросов.
- При проектировании новых установок оптимизация потребления реагентов, обеспечивающая при этом соответствие требованиям к краткосрочным выбросам.

Примеры

Применяется на мусоросжигательных заводах по всему ЕС, например, Витре (FR) (FR002); Сержи, Сент-Уан-Л'Омон (FR) (FR075); МНКВ Bremerhaven, Breme (DE) (DE39); MKVA Krefeld (DE) (DE55.2R); UTE-TEM, Матапо (ES) (ES04); Allington Incinerator (UK) (UK07); Линкольн (UK)

(UK12).

Справочная литература

[17, ONYX 2000], [64, TWG 2003]

4.5.4 Технологии снижения выбросов оксидов азота

Для снижения образования NO_x на стадии сжигания, большое значение, как правило, имеют первичные меры. Более общие из них описаны в разделах 4.1 и 4.3 и касаются главным образом обращения с отходами и их предварительной обработкой, в частности применяемых технологий термической обработки. В этом разделе Справочного документа по НДТ рассматриваются более специфичные для NO_x первичные технологии – разделы 4.5.4.1 и 4.5.4.2, и вторичные технологий (борьба с выбросами) – разделы 4.5.4.3, 4.5.4.4 и 4.5.4.5. Обычно применяются комбинации первичных и вторичных технологий.

4.5.4.1 Горелки с низким уровнем выбросов NO_x для жидких отходов

Описание

Технология основана на принципах снижения пиковых температур пламени. Эти горелки предназначены для задержки, но улучшения горения и увеличения теплопередачи (повышенная излучательная способность пламени). Смешивание воздуха и топлива снижает доступность кислорода и снижает пиковую температуру пламени, тем самым замедляя преобразование связанного с топливом азота в NO_x и образование теплового NO_x , сохраняя при этом высокую эффективность сжигания.

[110, COM 2016].

Техническое описание

Описания горелок с низким уровнем выбросов NO_x , используемых для обычных видов топлива, приведены в Справочном документе по крупным топливосжигающим установкам (примечание: для них могут потребоваться специальные модификации для использования в сжигании отходов).

Экологические преимущества

Снижение выбросов NO_x в воздух.

Экологические показатели и эксплуатационные данные

Существует относительно немного примеров успешного использования горелок с низким уровнем выбросов NO_x в сжигании отходов. Особое внимание требуется для обеспечения должной эффективности сжигания (в случае отходов). Технология применима только к конкретным потокам жидких отходов. Может подходить для некоторых жидких опасных отходов.

Воздействие на различные компоненты окружающей среды

Использование горелок с низким уровнем выбросов NO_x может увеличить риск выбросов продуктов неполного сжигания (СО и органических веществ).

Технические соображения, касающиеся применимости

Применимо только к сжиганию жидких отходов.

Экономические аспекты

Установка горелок с низким уровнем выбросов NO_x во время строительства завода помогает снизить образование NO_x , в то же время незначительно увеличивая капитальные затраты. Однако стоимость дополнительной установки таких горелок при модернизации существующих установок может быть выше. [64, TWG 2003]

Мотивы внедрения

Сокращение выбросов NO_x .

Примеры

Drehrohrofenanlage Schkopau (DE) (DE22); Reststoffverwertungsanlage, Штаде (DE) (DE23); Sonderabfallverbrennungsanlage, Брунсбюттель (DE) (DE28); Vantaan Jätevoimala, Вантаа (FI) (FI05); CIE, Крптей (FR) (FR087.3); Four d'incinération John Zink, Шалампе (FR) (FR106); WIP Sarpi Dabrowa Gornicza, Домброва Гурнич (Польша) (PL03); Veolia High Temperature Incineration Plant, Элсмир

Порт (Великобритания) (UK01).

Справочная литература
[110, COM 2016]

4.5.4.2 Замена вторичного воздуха рециркулирующим дымовым газом

См. раздел 4.3.6.

4.5.4.3 Селективное некаталитическое восстановление (СНКВ)

Описание

См. описание в разделе 2.5.5.2.1.

Техническое описание

[2, InfoMil 2002] В процессе СНКВ для уменьшения выбросов NO_x в печь впрыскиваются аммиак (NH_3) или мочевины ($\text{CO}(\text{NH}_2)_2$). NH_3 наиболее эффективно реагирует с NO_x при температуре от 850 до 950°C, а при использовании мочевины эффективны температуры до 1050°C. Если температура слишком высокая, параллельная реакция окисления производит нежелательный NO_x . Если температура слишком низкая или время пребывания реагентов реакции между NH_3 и NO_x недостаточно, эффективность восстановления NO_x снижается, и выброс остаточного аммиака может увеличиваться. Некоторый проскок аммиака всегда происходит из-за химических свойств реагентов. Дополнительный проскок аммиака может быть вызван избыточным или плохо оптимизированным впрыском реагента. [74, TWG 2004]

В усовершенствованных конструкциях СНКВ температура реакции оптимизируется системой впрыска, управляемой компьютером, с несколькими трубками, распределенными на разных уровнях в котле. Температурный профиль измеряется акустическим или ИК-пирометром и делится на секции, которые могут быть отнесены к отдельным трубкам или группам трубок в зависимости от измеренной температуры газа.

Это гарантирует, что реагент всегда впрыскивается в наиболее температурно-эффективном участке котла, даже при быстро меняющемся и асимметричном температурном профиле, что приводит к снижению уровня NO_x при оптимизированном расходе реагента и минимальному проскоку аммиака. [106, HWE 2015], [108, Sweden 2016].

Экологические преимущества

Преимущества включают сокращение выбросов NO_x при значительно более низких затратах, чем при использовании СКВ.

Экологические показатели и эксплуатационные данные

В таблице приведены выбросы в атмосферу установок, оснащенных СНКВ.

Таблица 4.31: Уровни выбросов, связанные с использованием СНКВ

Вещество	Достиженные диапазоны выбросов				Комментарии
	Годовой максимум		Средне годовое (мг/Нм³)	Удельный выброс (г/т отходов)	
	Среднее получасовое значение (мг/Нм³)	Средне суточное (мг/Нм³)			
NO _x	155–300	80–180	70–180	390–1 000	Зависит от скорости дозирования, типа отходов и камеры сжигания
NH ₃	5–60	3–15	1–6	6–33	Самые низкие, где используются мокрые скрубберы.
Источник: [1, UBA 2001], [2, InfoMil 2002], [12, Achternbosch 2002], [60, Reimann 2002], [81, TWG 2016]					

Основным источником выбросов N_2O в СНКВ является использование мочевины вместо аммиака (что приводит к увеличению выбросов N_2O в 2–2,5 раза). Поэтому для уменьшения образования N_2O важно оптимизировать выбор реагента (аммиак или мочевины) и контролировать условия процесса (особенно смешивание газа, температуру и проскок аммиака) [64, TWG 2003].

Таблица 4.32: Эксплуатационные данные, связанные с использованием СНКВ

Критерий	Описание факторов, влияющих на критерии	Оценка (высокая/средняя/низкая) или данные	Комментарии
Сложность	• Требуются дополнительные технологические установки • Критические эксплуатационные аспекты	С	• Требуется оборудование для ввода реагентов, но не отдельные реакторы (по сравнению с СКВ) • Очень важна оптимизация температуры и впрыска реагента
Гибкость	• Способность технологии работать в диапазоне входных условий	С	• Хорошее снижение NO_x в диапазоне концентраций на входе • Критическая температура
Требования к навыкам	• Существенные дополнительные требования к обучению или требования к оператору	С	• Требуется осторожность для контроля и оптимизации скорости впрыска
Источник: [64, TWG 2003]			

Основными факторами, влияющими на производительность, являются:

- смешивание реагентов с выхлопными газами;
- температура;
- время пребывания в соответствующем температурном интервале.

Увеличение дозы реагента обычно приводит к снижению выбросов NO_x . Однако это может увеличить проскок аммиака и выбросы N_2O (особенно при использовании мочевины). При использовании мочевины оптимизация процесса может создать дополнительные проблемы для обеспечения низкого проскока аммиака.

Проскок аммиака абсорбируется, если используются мокрые скрубберы. Он также может быть удален из потока сточных вод с помощью отпарной аммиачной колонны – хотя это усложняет работу и увеличивает капитальные и эксплуатационные расходы [74, TWG 2004]. Затем восстановленный аммиак можно использовать в качестве исходного сырья для процесса СНКВ (см. также комментарий в разделе «Воздействие на различные компоненты окружающей среды в отношении сброса сточных вод», если таковые имеются).

Как правило, концентрации N_2O увеличиваются с уменьшением концентрации NO_x . При неблагоприятных условиях могут быть достигнуты уровни более 50 мг/м^3 , тогда как при благоприятных условиях уровни концентрации выбросов ниже 10 мг/м^3 . Поэтому для уменьшения образования N_2O важно оптимизировать и контролировать условия процесса.

Количество впрыскиваемого NH_3 зависит от концентрации NO_x в неочищенном дымовом газе, а также от необходимого сокращения выбросов NO_x . NH_3 вводится в дымовой газ путем впрыскивания водного раствора. В некоторых конкретных случаях сжигание осадка сточных вод с высоким содержанием влаги, как сообщается, приводит к значительным концентрациям NH_3 в неочищенном дымовом газе, что исключает необходимость впрыскивать NH_3 . Наиболее часто используемыми растворами являются (концентрированный или разбавленный) крепкий водный раствор аммиака (NH_4OH) или мочевина ($\text{CO}(\text{NH}_2)_2$). Использование мочевины эффективно для относительно небольших установок, так как мочевина может храниться в виде твердого вещества (в мешках), в связи с чем эксплуатационные требования и требования безопасности, связанные с хранением аммиака, исключаются. Для более крупных установок обычно более эффективно использование аммиака.

Эффективное смешивание реагентов и NO_x в дымовых газах при оптимальной температуре имеет важное значение для достижения высокой эффективности удаления NO_x . Чтобы достичь оптимальной температуры и компенсировать колебания температуры, на разных уровнях в печи

можно установить несколько комплектов форсунок, обычно на первом проходе.

В целом, СНКВ может применяться там, где доступен температурный интервал в диапазоне 850–1050° С. На большинстве мусоросжигательных заводов этот интервал находится в верхних участках печи.

Системы СНКВ работают лучше всего при стабильных условиях эксплуатации (равное распределение аммиака и концентраций NO_x). Когда рабочие условия не являются стабильными, может произойти проскок аммиака (чрезмерное выделение аммиака), недостаточная очистка NO_x или образование N₂O.

Воздействие на различные компоненты окружающей среды

Уровни потребления, связанные с СНКВ, указаны в таблице ниже.

Таблица 4.33: Уровни потребления, связанные с использованием СНКВ

Критерий	Единица измерения	Диапазон достигнутых значений	Комментарии
Потребность в энергии	кВтч/т отходов	45–50 тепловых	Охлаждающий эффект впрыска в печь
Расход реагента	кг/т отходов	1–4	Аммиак, мочевины или аммиачная вода
Стехиометрия реагента	Соотношение	2–3	

Источник: [60, Reimann 2002]

Для данной технологии наиболее важными аспектами воздействия на различные компоненты окружающей среды являются:

- энергопотребление (ниже, чем при СКВ);
- возможное образование N₂O (высокий потенциал глобального потепления) и проскок аммиака, если процесс СНКВ плохо контролируется;
- расход реагента (выше, чем при СКВ);
- проскок аммиака может загрязнять остатки и сточные воды; возможно восстановление аммиака.

В полусухих, промежуточных и сухих системах ОДГ на основе гидратированной извести проскок NH₃ поглощается CaCl₂, образующимся при удалении HCl. Если этот остаток впоследствии подвергается воздействию воды, выделяется NH₃. Это может иметь последствия для последующей обработки остатков или стабилизации извести.

Для мокрых систем может потребоваться отпарная аммиачная колонна для соответствия местным стандартам сброса сточных вод или для обеспечения надлежащего осадкообразования, например, кадмия и никеля, из сточных вод процесса. Добавление такого процесса увеличивает операционную сложность и стоимость.

Технические соображения, касающиеся применимости

Технология, в целом, применима.

Могут использоваться более высокие дозы (следовательно, приводящие к более низким выбросам NO_x), в то же время поддерживая низкие уровни проскока аммиака при мокрой очистке газа ниже по потоку. В таких случаях может потребоваться отпарная аммиачная колонна для снижения уровня NH₃ в сточных водах и повторного использования извлеченного NH₃ в СНКВ.

Нормальная максимальная эффективность снижения выбросов технологии составляет примерно 75%. Следовательно, СНКВ редко используется в тех случаях, когда требуется более высокий процент снижения; как правило, это может соответствовать уровням выбросов NO_x ниже 100 мг/Нм³ (среднесуточное значение). Более высокие мощности дозы реагента, необходимые для достижения уровней снижения выше 75%, означают, что для достижения проскока аммиака < 10 мг/Нм³ может потребоваться использование дополнительных мер, таких как мокрая очистка в потоке, а затем могут также потребоваться технологии контроля уровня аммиака в сточных водах, например, отпаривание. [74, TWG 2004]

Экономические аспекты

Ключевые аспекты этой технологии:

- капитальные затраты значительно ниже, чем при СКВ;
- при добавлении отпарной аммиачной колонны капитальные затраты по-прежнему на 10–30% ниже, чем при СКВ;
- затраты на применяемые реагенты выше, чем при СКВ;
- эксплуатационные расходы ниже, чем при использовании СКВ, в основном из-за снижения энергопотребления при подогреве дымовых газов.

Инвестиционные затраты на СНКВ для УСТКО с двумя линиями 200 000 т/г оцениваются в 1 миллион евро, по сравнению с 4 миллионами евро для СКВ. [12, Achternbosch 2002]

Мотивы внедрения

- Соответствие законодательным требованиям по выбросам NO_x.
- Экономическое преимущество по сравнению с СКВ.
- Недостаток пространства для установки СКВ.

Если на предприятии разрешен сброс сточных вод, обогащенных аммиаком, использование этой технологии с мокрой системой ОДГ будет более экономичным, поскольку не будет необходимости в отпарной аммиачной колонне. Это не относится к другим системам ОДГ, которые не производят стоки.

Примеры

Широко применяется по всей Европе.

Laanila WtE Plant-Оулу (FI) (FI4-1), Westenergy Oy Ab-Мустасаари (FI) (FI6-1), и Gärstadverket-Линчёпинг (SE) (SE3) являются примерами установок, использующих усовершенствованную систему СНКВ с акустическими или инфракрасными системами измерения температурного профиля.

Справочная литература

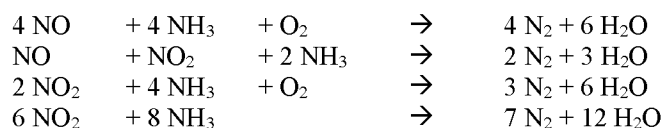
[1, UBA 2001], [2, InfoMil 2002], [3, Austria 2002], [12, Achternbosch 2002], [60, Reimann 2002], [64, TWG 2003]

4.5.4.4 Селективное каталитическое восстановление (СКВ)**Описание**

Данная технология описан в разделе 2.5.5.

Техническое описание

Наиболее распространенные каталитические реакции СКВ:



При сжигании отходов СКВ обычно применяется после удаления пыли и очистки кислого газа (примеры использования этой технологии с высоким содержанием пыли/грязного газа редки). В этом случае дымовые газы обычно требуют подогрева после более ранних стадий ОДГ (обычно температура на выходе ОДГ составляет 70°C для влажных систем и 120–180°C для большинства РФ), чтобы достичь рабочей температуры для системы СКВ (см. ниже). Установка системы СКВ непосредственно после системы горячего пылеулавливания не является распространенным явлением, но используется на некоторых заводах по всей Европе и может избежать недостатков подогрева дымовых газов по всей линии ОДГ. [74, TWG 2004]

Сообщается, что диапазоны рабочих температур для систем СКВ [64, TWG 2003] находятся в диапазоне от 150 до 320°C. Однако чаще всего системы работают в диапазоне от 180 до 240°C. Самые низкие рабочие температуры обычно требуют более чистых дымовых газов на входе СКВ. Концентрация SO₂ в дымовых газах может быть критической и может привести к отравлению

катализатора. Материал катализатора обычно состоит из носителя (TiO_2) с добавленными активными веществами (V_2O_5 и WO_3).

Экологические преимущества

Применение СКВ обычно приводит к снижению выбросов NO_x по сравнению с другими технологиями. Основными недостатками являются более высокие капитальные затраты и энергопотребление (обычно природного газа, легких фракций нефти или пара высокого давления), которые требуются для поддержания подогрева дымовых газов до температуры реакции катализатора. Выбор систем, которые эффективно работают в нижней части этого температурного диапазона, и использование теплообмена снижает потребность в дополнительной энергии.

Экологические показатели и эксплуатационные данные

Уровни выбросов в атмосферу установок, оснащенных системами СКВ, представлены в таблице.

Таблица 4.34: Уровни выбросов, связанные с использованием СКВ

Вещество	Достиженные диапазоны выбросов			
	Годовой максимум		Среднегодовое (мг/Нм^3)	Удельный выброс (г/т отходов)
	Среднее получасовое значение (мг/Нм^3)	Среднесуточное (мг/Нм^3)		
NO_x	50–200	40–150	40–120	220–660
NH_3	3–30	3–10	< 3	< 17

Источник: [81, TWG 2016]

Кроме того, при определенной проектировке (дополнительный слой катализатора, более высокая рабочая температура) СКВ также может каталитически разрушать ПХДД/Ф (см. раздел 4.5.5.3). Эффективность разрушения составляет 98–99,9%, что дает выбросы ПХДД/Ф в диапазоне 0,05–0,002 нг/Нм^3 ТЭ.

Таблица 4.35: Эксплуатационные данные, связанные с использованием СКВ

Критерий	Описание факторов, влияющих на критерии	Оценка (высокая/средняя/ низкая) или данные	Комментарии
Сложность	- Требуются дополнительные технологические установки - Критические эксплуатационные аспекты	В	
Гибкость	Способность технологии работать в диапазоне входных условий	В	Как правило, достигаются высокие темпы снижения. Чувствителен к концентрации SO_2 , SO_3 и Р на входе. Многофункциональное сокращение NO_x и ПХДД/Ф.
Требования к навыкам	Существенные дополнительные требования к обучению или требования к оператору	В/С	

Температура катализатора оказывает существенное влияние на относительную скорость реакций. Оптимальный интервал температур для каталитического восстановления зависит от типа используемого катализатора, но обычно составляет от 180 до 240 °C. [7, TWG 2017]

Как правило, более низкая рабочая температура катализатора приводит к более медленной скорости реакции (соответственно скорости восстановления NO замедляются больше из-за более низких температур, чем скорости NO_2) и возможному проскоку аммиака. Более высокая температура приводит к сокращению срока службы катализатора и может привести к окислению NH_3 и образованию дополнительного NO_x [2, InfoMil 2002].

Низкотемпературные системы СКВ обычно менее эффективны для разрушения ПХДД/Ф, и могут потребоваться дополнительные слои катализатора. Системы с более низкой температурой обычно требуют более чистых дымовых газов на входе – в частности, с низкими значениями SO_2 . [64, TWG 2003]

Низкая рабочая температура СКВ требует наличия автоматического устройства очистки (например, сажепродувателя).

Для удаления солей аммиака необходима постоянная регенерация. Частота регенерации в системах с более низкой температурой может быть достигнута показателя в каждые 1000 часов. На такой частоте это может стать критически важным для эксплуатации, поскольку может привести к пикам выбросов NH_3 и SO_2 , если дымовой газ не рециркулирует (см. раздел 4.3.6). Частота регенерации может быть значительно снижена путем поддержания низких уровней SO_x на входе в катализатор [74, TWG 2004], [7, TWG 2017]

Достигнутые экологические преимущества могут зависеть от расположения системы СКВ в общей системе ОДГ. Если СКВ находится перед скруббером, эффективность снижения NO_x может быть снижена, что приводит к значениям выбросов для NO_x выше значений, представленных в таблице 4.26. [74, TWG 2004]

Катализаторы:

[2, InfoMil 2002] Критериями для определения типа используемого катализатора являются:

- температура дымовых газов;
- требуемые уровни снижения NO_x ;
- допустимый проскок аммиака;
- допустимое окисление диоксида серы;
- концентрация загрязняющих веществ;
- срок службы катализатора;
- потребность в дополнительном уничтожении газообразных ПХДД/Ф;
- концентрация пыли в дымовых газах.

[74, TWG 2004]

Следующие типы деструкции ограничивают срок службы катализаторов:

- загрязнение: если активный участок катализатора блокируется прочно связанным соединением;
- осаждение: блокировку пустот мелкими частицами или конденсированными солями, такими как бисульфат аммония (NH_4HSO_4), можно уменьшить путем восстановления SO_x на входе и частичной обратимости реакции при повторном нагреве катализатора;
- спекание: если при чрезмерно высоких температурах микроструктура катализатора разрушается;
- эрозия: из-за физического повреждения, вызванного сухими остатками и частицами.

Типичные сроки службы катализатора составляют от 3 до 5 лет, хотя в некоторых случаях были показаны более длительные сроки службы, даже превышающие 10 лет.

Капли на выходе системы очистки, которые вызывают отложение соли, считаются критическим фактором, который увеличивает скорость разложения катализатора.

Примечание. *Срок службы катализатора* – это количество часов до тех пор, пока катализатор больше не сможет обеспечить необходимое снижение NO_x без превышения согласованного максимального проскока NH_3 .

Воздействие на различные компоненты окружающей среды

Для этой технологии наиболее значительным воздействием на различные компоненты окружающей среды является потребность в энергии для нагрева дымовых газов, что можно свести к минимуму при низкой рабочей температуре катализатора. Однако в таких случаях восстановление катализатора (обычно это происходит на месте) затем требует дополнительной энергии для регенерации катализатора путем сублимации осажденных солей. [74, TWG 2004]

Потребность в энергии (и стоимость) для повторного нагрева, как правило, значительно снижается за счет использования теплообменника, который использует тепло от выхлопа СКВ для нагрева впускного отверстия СКВ. Потери энергии и, следовательно, дополнительный спрос затем сводятся к теплообмену и потерям излучения. В тех случаях, когда существует потребность в воде среднего нагрева, можно добиться дополнительной экономии за счет установки дополнительного теплообменника для рекуперации энергии на выходе СКВ для подачи. Такая система была использована на заводе SYSAV, Мальмё, Швеция. [64. TWG 2003]

На двух схемах ниже показано применение СКВ ниже по потоку немокрых (то есть сухих или полусухих) систем ОДГ и системы мокрой ОДГ. Температурные профили приведены. Можно видеть, что вторая система (с мокрой ОДГ) в этом случае включает дополнительную ступень теплообмена. Такая установка снижает потребность в дополнительном подводе энергии, но приводит к более холодному окончательному выбросу дымовых газов. Более холодная окончательная разгрузка выводной трубы может потребовать специальных мер для предотвращения коррозии выводной трубы и может увеличить видимость шлейфа.

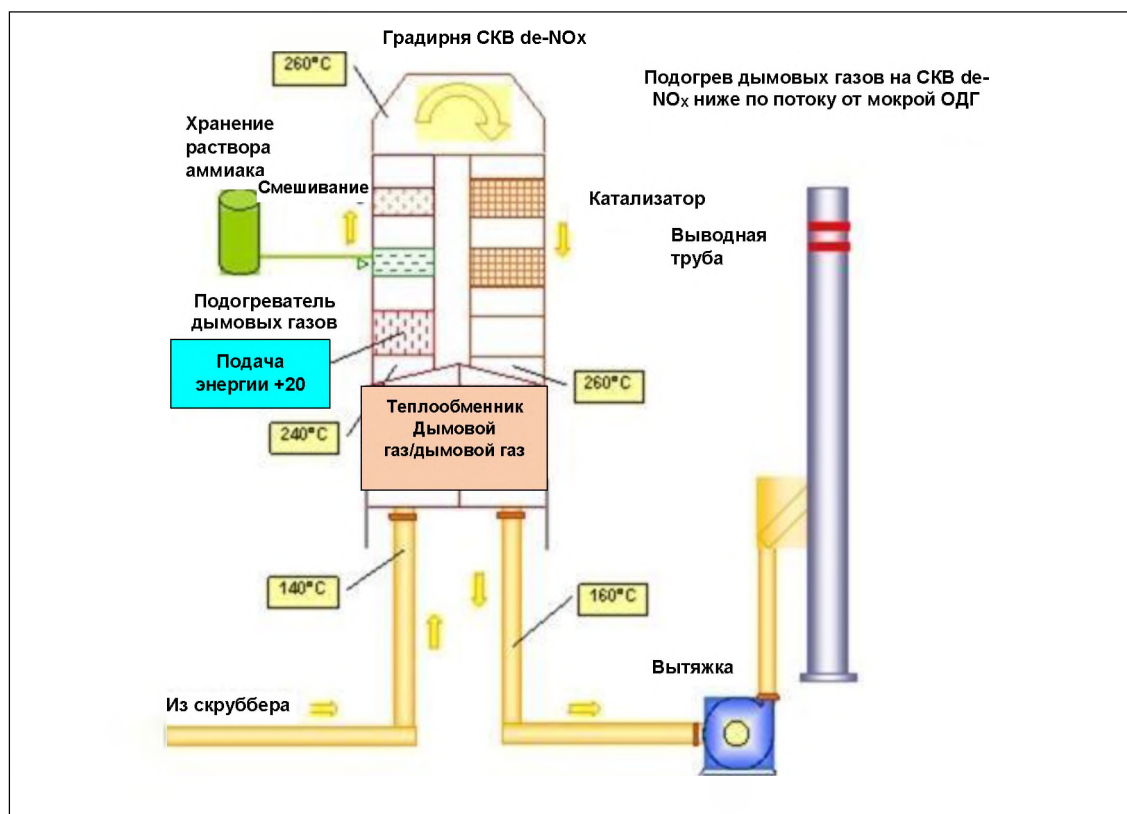


Рисунок 4.7: Схема системы СКВ ниже по потоку от системы ОДГ, которая не является мокрой, показывает типичные профили теплообмена и температуры

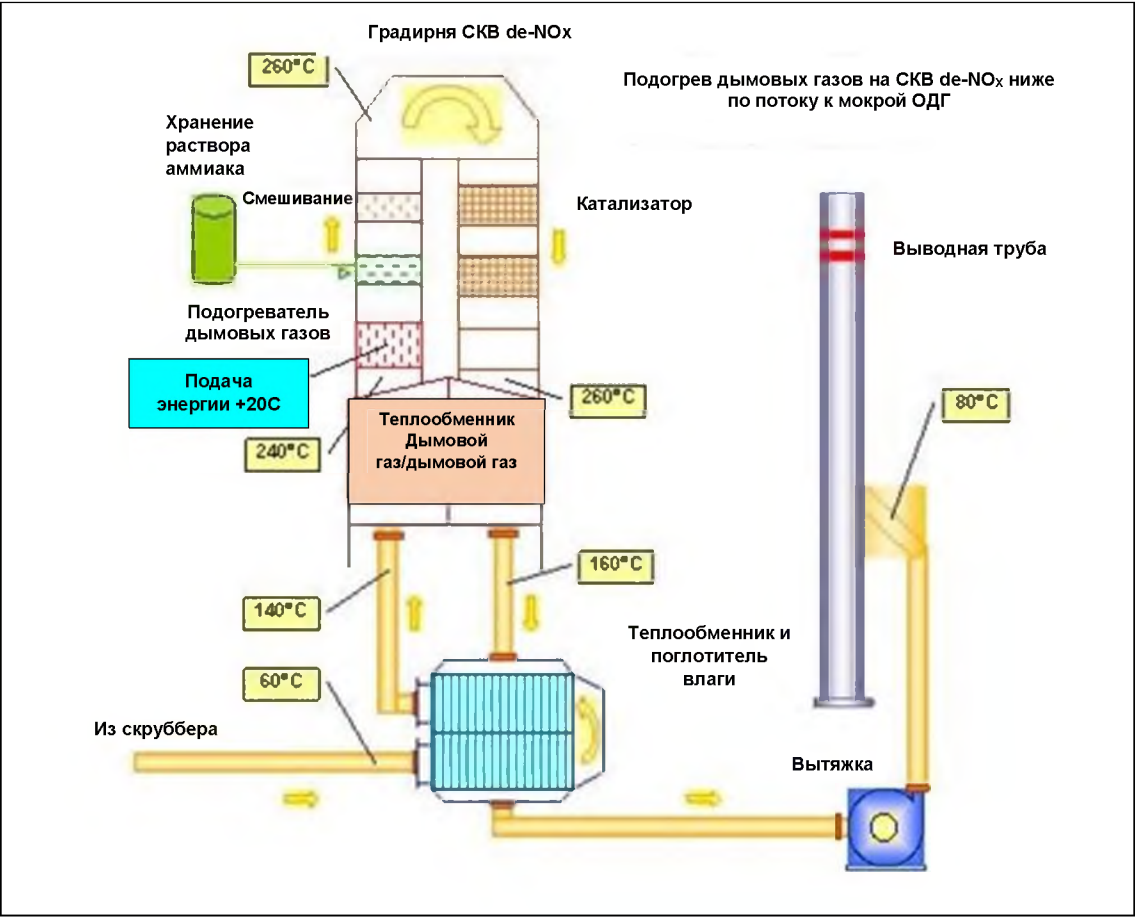


Рисунок 4.8: Схема системы СКВ после мокрой системы ОДГ, показывающая дополнительные профили теплообмена и температуры

При одинаковых уровнях снижения выбросов NO_x нормы расхода реагента (обычно раствора аммиака) ниже при СКВ, чем при СНКВ, из-за более низкого уровня непрореагировавшего аммиака (проскок аммиака).

Воздействия на различные компоненты окружающей среды указаны в таблице ниже.

Таблица 4.36: Воздействия на различные компоненты окружающей среды, связанные с использованием СКВ

Критерий	Единица измерения	Диапазон значений	Комментарии
Потребность в энергии	кВтч/т поступающих отходов	65–100 тепловой для высокотемпературного СКВ, до 3–5 для низкотемпературного СКВ 10–15 электрической	Тепловая относится к повторному нагреву, электрическая к дополнительному перепаду давления на катализаторе.
Расход реагента	кг/т поступающих отходов	1–3	25% раствор аммиака
Стехиометрия реагента	Соотношение	1–1.1	Число относится к входной концентрации загрязняющих веществ
Остаток – тип			Отработанный катализатор при смене
Остаток – количество	кг/т поступающих отходов	0.01	
Расход воды	л/т поступающих отходов		Незначительный

Критерий	Единица измерения	Диапазон значений	Комментарии
Видимость шлейфа	+/-	–	Уменьшена из-за повторного нагрева с применением СКВ
Примечание: данные в этой таблице предназначены для предоставления типичного рабочего диапазона. Точное количество образующихся остатков и стоков будет зависеть от многих факторов, включая концентрации неочищенного газа (связанные с отходами), скорости потока, концентрации реагентов и т.д. <i>Источник:</i> [1, UBA 2001], [2, InfoMil 2002], [13, JRC(IoE) 2001], [60, Reimann 2002], [74, TWG 2004], [81, TWG 2016]			

Технические соображения, касающиеся применимости

Технология обычно применима, если имеется достаточно площади для установки (что может быть сдерживающим фактором для существующих установок).

Система СКВ обычно устанавливается в конечных участках системы ОДГ, поскольку дымовой газ обычно необходимо предварительно очистить от пыли, а также может потребоваться удаление SO_2/SO_3 , а иногда и HCl . Таким образом, для достижения минимальной температуры на входе, необходимой для СКВ, может потребоваться повторный подогрев дымового газа.

Экономические аспекты

Инвестиционные затраты на СКВ для УСТКО с двумя линиями мощностью 200 000 т/г оцениваются в 4 млн. евро, что сопоставимо с примерно 1 миллионом евро для СНКВ. [12, Achternbosch 2002].

В другом исследовании о системах СКВ de- NO_x сообщалось о капитальных затратах на установку СКВ для установки мощностью 100 000 т/г в диапазоне от 7,5 млн. евро до 9,5 млн. евро. [74, TWG 2004]

Эксплуатационные расходы в целом для СНКВ ниже на 25–40%, чем для СКВ (в зависимости от реагента для СНКВ, температуры для СКВ, предварительного нагрева и т.д.). [13, JRC (IoE) 2001], [74, TWG 2004]

Крупные заводы с более высокими скоростями потока газа и экономией за счет масштаба в большей степени способны выдержать дополнительное бремя затрат на реализацию системы СКВ.

Для подогрева СКВ может быть использован пар высокого давления, что влечет за собой экономический эффект, пропорциональный цене, которая может взиматься за экспортируемую энергию (либо в виде тепла, либо преобразованная в электричество).

Мотивы внедрения

- Достижение уровня NO_x ниже 100 мг/Нм³.
- Налоги на NO_x установлены на уровне, который делает технологию экономически выгодной.
- Наличие пара высокого давления для подогрева дымовых газов (это снижает эксплуатационные расходы при получении низких доходов за произведенную энергию).

Примеры

СКВ широко используется в мусоросжигательной промышленности. Есть примеры в Германии, Австрии, Нидерландах, Бельгии, Франции, Японии и других странах.

Около 150 из примерно 350 мусоросжигательных линий, работающих на установках, которые участвовали в сборе данных 2016 года, используют СКВ. К ним относятся установки по сжиганию неопасных отходов, а также коммерческие и промышленные установки по сжиганию опасных отходов.

Справочная литература

[1, UBA 2001], [2, InfoMil 2002], [13, JRC(IoE) 2001], [60, Reimann 2002], [61, SYSAV 2002], [64, TWG 2003]

4.5.4.5 СКВ с применением каталитических рукавных фильтров

Описание

Эта технология описана в разделе 2.5.8.3. Каталитические фильтры De- NO_x представляют собой РФ, которые устанавливаются в РФ для уменьшения пыли, но также имеют слой катализатора, который выполняет функцию СКВ.

Техническое описание

Технология может быть реализована в качестве каталитического нейтрализатора в сочетании с СНКВ с дополнительным этапом впрыска NH_3 непосредственно перед РФ.

Экологические преимущества

Для установок по сжиганию отходов, оборудованных РФ, но без СКВ, замена фильтровальных мешков на каталитические мешки de- NO_x может снизить выбросы NO_x до характерных для СКВ уровней, при низких инвестиционных затратах и минимальных изменениях существующей конфигурации установки. Сообщается об уровнях выбросов NO_x в диапазоне 50–75 мг/Нм³.

Экологические показатели и эксплуатационные данные

На заводах, модернизированных по этой технологии, были зарегистрированы следующие уровни выбросов.

Таблица 4.37: Уровни выбросов, связанные с использованием СКВ в каталитических фильтрах

	До модернизации	С каталитическими фильтрами
NO_x (среднесуточное, 11 % O_2)	135–200 мг/Нм ³	50–120 мг/Нм ³
NH_3 (среднесуточное, 11 % O_2)	1–10 мг/Нм ³	1–5 мг/Нм ³

Рабочая температура составляет от 190°C до 210°C для РФ на основе ПТФЭ и может быть увеличена до 260°C для РФ на основе стекловолокна.

По сравнению с системой СНКВ эксплуатационные последствия, связанные с этой технологией, могут включать:

- некоторое увеличение потребления аммиачной воды или раствора мочевины для дальнейшего сокращения выбросов NO_x ;
- потенциальное увеличение потребления щелочных реагентов для обеспечения уровней SO_2 ниже 5 мг/Нм³, как того требует технология (аналогично другим хвостовым системам СКВ).

Воздействие на различные компоненты окружающей среды

О серьезных воздействиях на различные компоненты окружающей среды не сообщается.

Проскок NH_3 уменьшен по сравнению с технологией СНКВ.

Потребление энергии при падении давления на фильтре аналогично обычным рукавным фильтрам.

Технические соображения, касающиеся применимости

Технология применима к новым и существующим установкам, оснащенным РФ, с уже установленными системами СНКВ или без них.

Экономические аспекты

Общая стоимость инвестиций для установки технологии на существующей линии составила 273 000 евро за модернизацию установки и 416 000 евро за специальные РФ.

Мотивы внедрения

- Достижение выбросов NO_x ниже 100 мг/Нм³ при сохранении низкого уровня проскока NH_3 .
- Недостаток площади для реализации системы СКВ.
- Снижение инвестиционных затрат по сравнению с обычной установкой СКВ.

Примеры

Asegas в Падуе (IT) (IT18), с сентября 2011; CEDLM Limoges (FR) (FR052), с января 2014; Villefranche (FR), с сентября 2013.

Справочная литература

[102, CEFIC 2015]

4.5.5 Технологии сокращения органических соединений, включая выбросы ПХДД/Ф и ПХБ

4.5.5.1 Основные технологии предотвращения или восстановления органических соединений, включая ПХДД/Ф и ПХД

Хорошо контролируемый процесс сжигания, предотвращающий образование соединений-предшественников, является основным механизмом предотвращения образования ПХДД/Ф на мусоросжигательных установках. Технологии, применимые для улучшения связанных с сжиганием аспектов, которые приведут к общему улучшению характеристик сжигания, включая снижение риска производства ПХДД/Ф, рассматриваются в следующих разделах этого документа:

Общие практики, применяемые до стадии тепловой обработки

Технологии контроля и подготовки отходов перед их сжиганием приводят к улучшению характеристик сжигания и знаний об отходах, что обеспечивает лучший контроль сжигания и, следовательно, снижает риск образования ПХДД/Ф.

Тепловая обработка

Хорошо контролируемое сжигание способствует уничтожению ПХДД/Ф и его соединений-предшественников, которые могут уже находиться в отходах, и предотвращает образование предшественников.

Технологии повышения рекуперации энергии

Наиболее важной проблемой в зонах рекуперации энергии на мусоросжигательной установке с точки зрения ПХДД/Ф является предотвращение их реакций преобразования. Наличие веществ-предшественников и детальное проектирование в температурных зонах, которые могут увеличить риск образования ПХДД/Ф, имеют особое значение. Подробные описания технологий для увеличения рекуперации энергии включают рассмотрение аспектов ПХДД/Ф.

4.5.5.2 Предотвращение преобразования ПХДД/Ф в системе ОДГ

Описание

Сокращение времени пребывания запыленного газа в температурной зоне от 450 до 200°C снижает риск образования ПХДД/Ф и подобных соединений.

Техническое описание

Если в этом диапазоне температур используются стадии удаления пыли, время пребывания летучей золы в этом диапазоне увеличивается, что увеличивает риск образования ПХДД/Ф. Устройства для удаления пыли в зонах с высокой запыленностью (обычно электростатические фильтры и некоторые РФ), работающие при температуре выше 200°C, увеличивают риск образования ПХДД/Ф. Поэтому температуры на входе в стадию удаления пыли должны поддерживаться ниже 200°C. Это может быть достигнуто путем:

- дополнительного охлаждения в котле (конструкция котла в диапазоне 450–200°C сама по себе должна ограничивать пыль, чтобы избежать просто переноса проблемы вверх по течению);
- установки градирни для снижения температуры на выходе из котла до температуры ниже 200°C для последующих стадий очистки от пыли;
- полного охлаждения от температуры сжигания до приблизительно 70°C – это выполняется на установках, где нет охлаждения котла, и обычно только там, где существует повышенный риск диоксина из-за характера сжигаемых отходов (например, высокие поступления ПХД); охлаждение до 70°C распространено в установках сжигания опасных отходов, эксплуатируемых химической промышленностью;
- также может быть реализован газо-газовый теплообмен (газ из входного отверстия скруббера – газ из выходного отверстия скруббера).

[74, TWG 2004]

Экологические преимущества

Риск образования ПХДД/Ф в процессе и, следовательно, последующие выбросы снижаются.

Там, где твердые отходы и дымовые газы уже направляются на последующую обработку, которая эффективно уничтожает образующиеся диоксины (например, СКВ для газа плюс термическая

обработка для летучей золы), выгода, достижимая за счет применения этой технологии, уменьшается.

Экологические показатели и эксплуатационные данные

Сообщается, что системы быстрого охлаждения, используемые в некоторых установках сжигания опасных отходов, эффективно устраняют образование ПХДД/Ф. [46, Cleanaway 2002.]

Там, где используются котлы с рекуперацией тепла, но удаление пыли исключается в диапазоне 450–200°C, до удаления/уничтожения диоксинов концентрации неочищенного газа регистрируются в диапазоне 1–30 нг ТЭ/Нм³. В тех случаях, когда удаление пыли осуществляется в диапазоне 450–200°C, выходящий газ может содержать от 10 нг ТЭ/Нм³ до >100 нг ТЭ/Нм³ ПХДД/Ф.

Воздействие на различные компоненты окружающей среды

Существующие установки с высокотемпературными стадиями удаления пыли могут использовать такие системы для удержания тепла в дымовых газах, чтобы впоследствии его можно было использовать для какой-либо другой цели, например, передача посредством теплообмена в последующие системы очистки дымовых газов. Если газы охлаждаются до температуры ниже 200°C, это может привести к необходимости дополнительного подвода тепла к дымовым газам для поддержания необходимого температурного профиля последующих систем. Возможно, что потери могут быть уменьшены за счет использования тепла, отводимого до стадии удаления пыли, для повторного нагрева с использованием систем теплообмена.

Системы полного охлаждения обычно приводят к ограниченным возможностям рекуперации энергии (котлы обычно не обнаруживаются там, где используется полное охлаждение). Они также создают очень влажный шлейф, который увеличивает видимость и конденсацию, и требуют больших скоростей впрыска воды, чтобы обеспечить достаточное охлаждение горячих дымовых газов. Образующиеся сточные воды могут в некоторой степени рециркулироваться, но обычно требуется сброс и очистка воды. Рециркулируемая вода может потребовать охлаждения, чтобы предотвратить потери в выводной трубе и поддерживать работу ОДГ.

Технические соображения, касающиеся применимости

Технология, в целом, применима к новым заводам.

Модернизация существующих установок потребует детальной переоценки процесса очистки дымовых газов с уделением особого внимания распределению и использованию тепла.

Экономические аспекты

Нет никаких существенных затрат для новых процессов.

Для замены котлов и систем очистки дымовых газов в некоторых существующих процессах могут потребоваться значительные капитальные вложения. Для таких изменений могут потребоваться инвестиции порядка 10–20 миллионов евро.

Снижение эксплуатационных расходов может быть достигнуто путем:

- продажи дополнительной энергии (тепла), рекуперированной в котлах;
- снижения стоимости утилизации твердых остатков из-за их более низкого загрязнения ПХДД/Ф (при использовании адсорбции);
- пониженное содержание диоксинов может оказать положительное влияние на нижние системы ОДГ: более низкая скорость активированного угля и/или меньший объем катализатора.

[74, TWG 2004.]

Мотивы внедрения

- Опасения относительно возможного производства ПХДД/Ф в процессе.
- Опасения относительно концентраций ПХДД/Ф в абсорбентах ОДГ, требующих утилизации.
- Типы отходов с высоким риском образования ПХДД/Ф.

Примеры

Системы охлаждения широко используются в Европе, например, Бельгия, Германия, Франция, Нидерланды, Норвегия, Швеция и Великобритания.

Низкие температуры на выходе из котла и охлаждение газа после котла широко используются в Европе.

Справочная литература

[46, Cleanaway 2002], [64, TWG 2003], [74, TWG 2004]

4.5.5.3 Разрушение ПХДД/Ф с использованием СКВ**Описание**

Разрушение ПХДД/Ф каталитическим окислением на катализаторе СКВ.

Техническое описание

Хотя системы СКВ в основном используются для снижения выбросов NO_x (см. описание в разделах 2.5.5.2.2 и 4.5.4.1), достаточно большие системы также могут разрушать газовую фазу ПХДД/Ф посредством каталитического окисления. Обычно требуется два-три слоя катализатора СКВ, чтобы обеспечить совместное восстановление NO_x и ПХДД/Ф.

Важно отметить, что при сжигании отходов большая часть переносимых по воздуху ПХДД/Ф связана с пылью, а остальные ПХДД/Ф представляют собой газовую фазу. Технологии, которые удаляют пыль, следовательно, удаляют ПХДД/Ф, находящиеся в пыли, в то время как СКВ (и другие каталитические методы) разрушают только меньшую долю в газовой фазе. Сочетание удаления пыли и каталитического разрушения, как правило, дает самые низкие общие выбросы ПХДД/Ф в воздух.

Экологические преимущества

В тех случаях, когда эти остатки финишной очистки ДГ обычно отправляются за пределы площадки, это приводит к общему снижению выхода диоксинов во все среды из установки. Если остатки диоксида собираются отдельно (например, с использованием углерода) от других остатков ОДГ и рециркулируют, если это разрешено, в установку, тогда снижение выбросов, которые могут быть получены при использовании СКВ в качестве дополнительного метода разрушения, является менее значительным.

NO_x обрабатывается СКВ одновременно с ПХДД/Ф для обеспечения очень низких выбросов NO_x (см. раздел 4.5.4.1).

В тех немногих случаях, когда СКВ применяется перед другими компонентами ОДГ, следует отметить, что не газовой фазы ПХДД/Ф, т.е. связанный с пылью, может не обрабатываться в блоке СКВ и, следовательно, для его уменьшения могут потребоваться последующая очистка пыли.

Экологические показатели и эксплуатационные данные

Эксплуатационные данные приведены в разделе 4.5.4.1.

Эффективность разрушения для газовой фазы ПХДД/Ф составляет от 98% до 99,9%, что дает выбросы ПХДД/Ф (в сочетании с другими методами ОДГ) часто в диапазоне 0,005–0,05 нг/Нм³ ТЭ.

Как правило, СКВ применяется после первоначального удаления пыли. Пыль, которая удаляется на стадии предварительного удаления пыли, унесет с собой адсорбированный ПХДД/Ф (т.е. большую часть ПХДД/Ф). Следовательно, остатки на стадии предварительной очистки будут загрязнены ПХДД/Ф в той же степени, независимо от того, применяется СКВ или нет. Таким образом, СКВ уменьшает загрязнение ПХДД/Ф остатками ОДГ только в тех случаях, когда также применяется дальнейшая финишная очистка пыли.

Поскольку для большинства ПХДД/Ф является нормальным состояние «налипания» на пыль, для общего снижения ПХДД/Ф обычно важно применять технологии удаления пыли, а также СКВ. Это необходимо для того, чтобы обеспечить удаление из дымовых газов связанного с пылью ПХДД/Ф, который не был бы разрушен в блоке СКВ.

Хотя один слой катализатора может оказать существенное влияние на NO_x , для обеспечения эффективного разрушения ПХДД/Ф требуется больший размер. Чем больше количество слоев катализатора, тем больше будет влияние на снижение ПХДД/Ф.

Воздействие на различные компоненты окружающей среды

Воздействия на различные компоненты окружающей среды подробно описаны в разделе 4.5.4.1.

Наиболее значимые аспекты воздействия на различные компоненты окружающей среды:

- расход энергии на подогрев дымовых газов для достижения температуры реакции системы СКВ;
- в качестве метода уничтожения ПХДД/Ф не переносятся в твердые остатки (как при некоторых процессах адсорбции).

В целом, разрушение предпочтительнее переносить на другую среду. Однако величина выгоды, связанной с разрушением, а не адсорбцией ПХДД/Ф, будет зависеть от предотвращенного риска, связанного с последующим управлением остатками ПХДД/Ф ниже по потоку – “нагруженными” остатками.

Технические соображения, касающиеся применимости

Применимость этой технологии оценивается в разделе 4.5.4.1.

Экономические аспекты

Стоимость технологии указана в разделе 4.5.4.1.

Мотивы внедрения

Осуществление этой технологии является предпочтительным, когда требуется сочетание высокого снижения NO_x и дополнительного снижения ПХДД/Ф, обусловленного СКВ.

Примеры

СКВ широко используется в мусоросжигательной промышленности. Есть примеры в Австрии, Бельгии, Германии, Франции, Нидерландах, Японии и других странах.

СКВ также применяется к коммерческим установкам по сжиганию опасных отходов, особенно в Германии, на ES11 и PL03.

Справочная литература

[1, UBA 2001], [2, InfoMil 2002], [3, Austria 2002], [13, JRC(IoE) 2001], [27, Belgium 2002], [61, SYSAV 2002], [64, TWG 2003]

4.5.5.4 Уничтожение ПХДД/Ф с использованием каталитических рукавных фильтров

Описание

Эта технология описана в разделе 2.5.8.3.

Техническое описание

См. раздел 2.5.8.3.

Экологические преимущества

На установках сжигания ТКО сообщается об эффективности разрушения ПХДД/Ф, попадающих в каталитические РФ, свыше 99%. Концентрации выбросов ПХДД/Ф ниже $0,02 \text{ нг/Нм}^3$ ТЭ были получены при входных концентрациях $1,9 \text{ нг/Нм}^3$. [27, Belgium 2002]

Фильтры также удаляют пыль. В приведенном здесь примере УСТКО, на которой применяются ЭСФ для предварительного пылеудаления с дополнительными каталитическими фильтрами, уровни выбросов пыли были в диапазоне от 0,2 до $0,6 \text{ мг/Нм}^3$. При использовании этих фильтров также сообщается о снижении NO_x . [64, TWG 2003]

Также сообщается, что общее высвобождение диоксинов из установки (для всех сред) уменьшается путем разрушения, а не адсорбции (с активированным углем). Одновременно с уменьшением выбросов в атмосферу, как описано выше, образцы пыли в бункере рукавного фильтра показали средние концентрации, снизившиеся с $3\,659 \text{ нг МТЭ/кг}$ пыли (при использовании активированного угля) до 283 нг МТЭ/кг пыли (с использованием каталитических РФ).

Экологические показатели и эксплуатационные данные

Эксплуатационные проблемы такие же, как и у других РФ.

Температурный интервал, необходимый для протекания каталитической реакции, составляет от 180 до 260°C . [27, Belgium 2002], [74, TWG 2004]

Исследования концентраций ПХДД/Ф на входе и выходе на УСТКО (без удаления кислого газа выше по потоку, но с ЭСФ до удаления пыли), проведенные в течение 21 месяца, показали следующие результаты.

Таблица 4.38: Данные по эффективности разрушения для каталитических РФ за 21 месяц эксплуатации

Количество месяцев эксплуатации	0.25	1.5	3	4.8	8	13	18	21
ПХДД/Ф на входе (нг ТЭ/Нм ³)	3.4	7	11	10.5	11.9	11.8	8.1	5.9
ПХДД/Ф на выходе (нг ТЭ/Нм ³)	0.01	0.0035	0.005	0.004	0.01	0.011	0.002	0.023
Подсчитанная эффективность	99.7 %	99.9 %	99.9 %	99.9 %	99.9 %	99.9 %	99.9 %	99.6 %
Источник: [27, Belgium 2002]								

Каталитические среды не обрабатывают ртуть, поэтому требуется дополнительная технология, такая как впрыск активированного угля или аналога.

Воздействие на различные компоненты окружающей среды

Наиболее значительным воздействием на различные компоненты окружающей среды, связанным с каталитическими рукавными фильтрами, является потребление энергии при падении давления, но это аналогично любому рукавному фильтру.

Каталитические РФ обычно используются в качестве замены для других РФ. Они уже могут адсорбировать диоксины путем введения активированного угля. Если в заменяемой системе именно впрыск активированного угля обеспечивает основное поглощение металлической ртути, удаление активированного угля может затем привести к увеличению выбросов ртути в воздух, если не использовать альтернативные технологии.

Технические соображения, касающиеся применимости

Эта технология обычно применима к новым и существующим заводам, оснащенным РФ.

Экономические аспекты

Для УСТКО из двух линий производительностью 27 500 т/г каждая дополнительные расходы на использование каталитических фильтровальных мешков, по сообщениям, составляли от 2 до 3 евро за тонну обработанных отходов. [27, Belgium 2002]

Ключевые стоимостные аспекты этой техники:

- повышенная инвестиционная стоимость мешков по сравнению с некаталитическими мешками;
- более низкие инвестиционные затраты, чем у СКВ, но с аналогичной эффективностью уничтожения;
- необходимость принятия дополнительных мер по удалению ртути.

[74, TWG 2004]

Мотивы внедрения

- Сокращение выбросов ПХДД/Ф до уровня значительно ниже 0,1 нг/Нм³ ТЭ.
- Недостаток площади для СКВ.

Примеры

Несколько установок в Бельгии и Франции.

Справочная литература

[27, Belgium 2002], [64, TWG 2003]

4.5.5.5 Адсорбция ПХДД/Ф путем впрыскивания активированного угля или других адсорбентов

Описание

Эта технология описана в разделе 2.5.8.1.

Техническое описание

Активированный уголь впрыскивается в газовый поток, где он смешивается с дымовыми газами. Активированный уголь вводится самостоятельно или в сочетании с щелочным реагентом, таким как (обычно) гидратированная известь или бикарбонат натрия. Впрыснутый щелочной реагент, продукты его реакции и углеродный адсорбент затем собираются в пылеуловителе, обычно в рукавном фильтре. Адсорбция ПХДД/Ф происходит в потоке газа и на слое реагента, образующемся при использовании барьерных фильтров (например, РФ).

Адсорбированные ПХДД/Ф выгружаются вместе с другими твердыми отходами из рукавного фильтра, ЭСФ или другого устройства для сбора пыли, используемого ниже по потоку.

Сообщается, что минеральные адсорбенты (например, морденит, цеолит, смеси глинистых минералов, филлосиликат и доломит) также могут быть использованы для адсорбции ПХДД/Ф при температурах до 260°C без риска возгорания в рукаве. Также сообщается об использовании лигнитового кокса. [64, TWG 2003] [74, TWG 2004]

Сообщалось о влиянии каталитического разрушения ПХДД/Ф на поверхность активированного кокса [74, TWG 2004].

Экологические преимущества

Преимущество заключается в сокращении выбросов ПХДД/Ф. Также адсорбируется металлическая ртуть (см. раздел 4.5.6.2).

Экологические показатели и эксплуатационные данные

Уровни потребления углерода 0,5–3 кг/т отходов, как сообщается, типичны для УСТКО. Более высокие скорости впрыска могут обеспечить дополнительное снижение ПХДД/Ф. [64, TWG 2003]

Обычно мощность дозы активированного угля составляет от 0,5 кг/т до 2 кг/т для достижения уровня выбросов ниже 0,06 нг МТЭ/Нм³.

Различные виды углерода имеют разную эффективность адсорбции.

Воздействие на различные компоненты окружающей среды

Воздействия на различные компоненты окружающей среды от использования РФ или других систем удаления пыли, связанных с использованием этой технологии, описаны в разделе 4.5.2.

Образуется твердый остаток, содержащий адсорбированные загрязнители.

Технические соображения, касающиеся применимости

Технология обычно применима и чаще всего используется в сочетании с РФ.

Экономические аспекты

Сообщается, что лигнитовый кокс является более экономичным, чем активированный уголь. [64, TWG 2003] Также сообщается, что, как правило, потребление лигнитового кокса выше, чем у активированного угля (до удвоения соотношения). [74, TWG 2004]

Мотивы внедрения

Движущей силой является соблюдение законодательных требований к уровням выбросов ПХДД/Ф.

Примеры

Технология широко применяется во многих странах.

Справочная литература

[64, TWG 2003]

4.5.5.6 Адсорбция ПХДД/Ф в неподвижном слое**Описание**

Эта технология описана в разделе 2.5.8.6.

Техническое описание

Используются мокрые и сухие стационарные слои кокса/угля. Мокрые системы включают

противоточную промывку водой.

Экологические преимущества

Преимущества включают снижение выбросов в атмосферу ПХДД/Ф и ртути с высоким уровнем эффективности. Технология, при которой адсорбционная способность слоя достаточно высока, также способна эффективно предотвращать возникновение пиков эмиссии.

Экологические показатели и эксплуатационные данные

ПХДД/Ф адсорбируются, демонстрируя выбросы чистого газа ниже $0,03 \text{ нг МТЭ/Нм}^3$.

Температура на входе в сухой неподвижный слой кокса обычно составляет $80-150^\circ\text{C}$, а в случае мокрых неподвижных слоев – $60-70^\circ\text{C}$. Если следовать системе СКВ, то требуемый повторный нагрев был бы больше для мокрой системы.

Для сухих систем требуется особая осторожность, чтобы обеспечить равномерное распределение дымовых газов, так как это снижает риск возникновения пожара. Температура слоя требует тщательного мониторинга и контроля для снижения риска возгорания, например, несколько измерений СО по всему корпусу фильтра для измерения горячих точек. [74, TWG 2004] Может потребоваться использование инертных газов.

Мокрые неподвижные слои имеют значительно меньший риск возгорания. Ни пожаротушения, ни инертного покрытия не требуется. Добавление частично рециркулируемой подачи воды также обеспечивает средства для удаления скопившейся пыли, что может привести к засорению слоя.

Степень насыщенности слоя оценивается для определения требуемой скорости пополнения реагента. [74, TWG 2004]

Отсутствие движущихся частей обеспечивает высокую надежность.

Сводная оценка эксплуатационных последствий, связанных с использованием адсорбции с неподвижным слоем, представлена в таблице 4.39.

Таблица 4.39: Эксплуатационные данные, связанные с использованием адсорбционных статических коксовых фильтров с неподвижным слоем

Критерий	Описание факторов, влияющих на критерии	Оценка (высокая/средняя /низкая)	Комментарии
Сложность	• Требуются дополнительные технологические установки • Критические эксплуатационные аспекты	C	Риски пожара требуют тщательного контроля (сухие системы)
Гибкость	• Способность технологии работать в диапазоне входных условий	B	Очень высокая адсорбционная способность
Требования к навыкам	• Существенные дополнительные требования к обучению или требования к оператору	B/C	Надежный, но требующий осторожности в отношении риска возгорания (сухие системы) и в случае проведения дожигания

Воздействие на различные компоненты окружающей среды

Воздействия на различные компоненты окружающей среды указаны в таблице ниже.

Таблица 4.40: Воздействия на различные компоненты окружающей среды, связанные с использованием адсорбционных статических фильтров с неподвижным слоем

Критерий	Единица измерения	Величина	Комментарии
Потребность в энергии	кВтч/т вводимых отходов	30–35	Перепад давления на фильтре
Расход реагента	кг/т вводимых отходов	1	Кек
Остаток	кг/т вводимых отходов	0–1	Ноль, если кокс можно сжечь в мусоросжигателе
Видимость шлейфа	+/-0	+/-0	Влажная система усиливает видимость шлейфа
Источник: [12, Achternbosch 2002]			

Для этой технологии наиболее значительным воздействием на различные компоненты окружающей среды является энергия, необходимая для преодоления падения давления на фильтре.

Для одной линии установки сжигания опасных отходов с ротационной печью, обрабатывающей 50 000 т/г, вместе с установкой фильтра с неподвижным слоем, был установлен новый вентилятор мощностью 550 кВт для замены вентилятора 355 кВт (ΔP с неподвижным слоем между 25 мбар и 40 мбар) [64, TWG 2003].

Риск пожара может быть увеличен при использовании сухих неподвижных слоев в зависимости от конструкции всей линии ОДГ [74, TWG 2004].

При насыщении использованный активированный уголь часто захороняется как токсичный остаток. Если есть разрешение, он может быть повторно использован в мусоросжигательной установке для разрушения адсорбированного ПХДД/Ф. Поскольку адсорбер углерода будет адсорбировать ртуть так же, как и ПХДД/Ф, для повторного использования отработанного кокса циркуляция ртути требует тщательного рассмотрения. Практика повторного дожигания приведет к накоплению ртути в процессе, если нет дополнительных технологий, которые обеспечивают очистку от ртути, например, влажная кислотная очистка с низким pH. [74, TWG 2004]

Для использования мокрого неподвижного слоя кокса на установке сжигания опасных отходов, обрабатывающей около 11 000 тонн отходов в год, были представлены следующие данные о воздействии на различные компоненты окружающей среды [64, TWG 2003]:

- использование лигнитового кокса: 0,5 кг/т отходов;
- отработанный лигнит сгорает в установке – в этом случае накопление ртути предотвращается системой мокрой кислотной очистки с низким pH;
- вода используется для периодической промывки лигнитового слоя; в результате образуются кислые стоки, которые направляются на процесс физико-химической обработки на месте;
- мокрая система увеличивает влажность дымовых газов и видимость шлейфа.

Технические соображения, касающиеся применимости

Технология, в целом, применима к новым заводам.

Для модернизации существующих установок требуется наличие площади для дополнительного технологического блока.

Сдерживающим фактором, особенно на установках, уже оборудованных РФ, может быть накопленный перепад давления, вызванный системой очистки дымовых газов.

Экономические аспекты

Инвестиционная стоимость коксового фильтра с неподвижным слоем для ТКО 100 000 т/г оценивалась в 1,2 млн. евро в 2002 году [12, Achternbosch 2002].

Инвестиционные затраты на один мокрый фильтр с неподвижным слоем (пустой) (линия сжигания 50 000 т/г) составляют приблизительно 1 млн. евро (оборудование и строительные работы).

Стоимость лигнитового кокса в три-четыре раза ниже, чем активированного угля.

Расход лигнитового кокса достаточно низок, поэтому его заправка может выполняться во время плановых остановок.

Мотивы внедрения

Движущей силой для реализации является соблюдение законодательства в отношении предельных значений выбросов ПХДД/Ф и ртути, особенно в случае высокогетерогенных и опасных отходов, где концентрации ПХДД/Ф могут быть высокими из-за сложных условий сжигания.

Примеры

УСОО в Австрии, Бельгии, Германии и Нидерландах. УСТКО в Австрии и Германии.

Справочная литература

[1, UBA 2001], [3, Austria 2002], [12, Achternbosch 2002], [64, TWG 2003]

4.5.5.7 Использование углеродсодержащих материалов для адсорбции ПХДД/Ф в мокрых скрубберах

Описание

Добавка в скруббер башенной насадки градири, содержащей пластмассы, с углеродным сорбентом.

Техническое описание

Эта технология описана в разделе 2.5.8.5.

Экологические преимущества

ПХДД/Ф сильно адсорбируются на частицах углерода в материале. Поэтому выбросы уменьшаются и предотвращается выброс ПХДД/Ф с эффектом памяти. [74, TWG 2004] Выбросы при вводе в эксплуатацию могут быть сокращены. Преимущества могут быть обобщены как:

- предотвращение эффекта памяти в мокрых скрубберах и связанного с этим риск проскока и десорбционных выбросов;
- снижение нагрузки ПХДД/Ф при последующих операциях ОДГ (особенно во время запуска);
- если использованный реагент дожигается в печи, будет происходить общее уменьшение баланса массы диоксина из-за разрушения ПХДД/Ф в печи (чему способствует разделение стадии поглощения ртути), а не их перемещение в твердые остатки.

Экологические показатели и эксплуатационные данные

При концентрациях на входе 1–5 нг ТЭ/Нм³ эффективность удаления газовой фазы в диапазоне 99–99,8% сообщается в пределах мокрого скруббера. Дополнительные эксплуатационные аспекты приведены в таблице 4.41.

Таблица 4.41: Данные по эксплуатационным аспектам, связанные с использованием насыщенных углеродом материалов в мокрых скрубберах

Критерий	Описание факторов, влияющих на критерий	Оценка (высокая/средняя/низкая)	Комментарии
Сложность	• Требуются дополнительные технологические установки • Критические эксплуатационные аспекты	Н/С	• Приспособливание к существующей технике (мокрая очистка)
Гибкость	• Способность технологии работать в диапазоне входных условий	С	
Требования к навыкам	• Существенные дополнительные требования к обучению или требования к оператору	Н	• Никаких существенных дополнительных требований

При использовании в качестве основной технологии снижения ПХДД/Ф в сочетании с электростатическим фильтром, эта технология требует установки более протяженной башенной насадки. [74, TWG 2004]

Воздействие на различные компоненты окружающей среды

Использованная насадка в некоторых случаях захоранивается как токсический отход. В некоторых случаях она возвращается в мусоросжигательный завод (хотя местные нормативно-правовые акты иногда не допускают повторного сжигания). [74, TWG 2004]

Технические соображения, касающиеся применимости

Технология обычно применима к заводам, оборудованным мокрым скруббером. Реализация проста в скрубберах с насадочной башней.

Технология была также продемонстрирована в сухих и полумокрых (насыщенных газом) системах. [109, Sweden 2016]

Экономические аспекты

Приблизительные инвестиционные затраты на первоначальную установку насадки на две ступени мокрого скруббера составляют от 30 000 до 150 000 евро в общей сложности для мусоросжигательных установок мощностью от 5 до 20 т/ч.

Стоимость замены материала оценивается в 0,1–0,2 евро за тонну сожженных отходов. Никакого дополнительного потребления энергии не ожидается, за исключением дополнительного падения давления. [74, TWG 2004]

Мотивы внедрения

- Сокращение накопления диоксинов в мокром скруббере и выбросов ПХДД/Ф при запуске, особенно там, где нет последующей стадии ОДГ для контроля ПХДД/Ф, десорбированной из мокрого скруббера.
- В качестве пре-диоксинового фильтра перед последующей системой восстановления диоксинов, для снижения нагрузки ПХДД/Ф в основной системе восстановления диоксинов.

Примеры

Эта технология была внедрена на 120 заводах по сжиганию коммунальных и опасных отходов по всему миру, большинство которых расположено в Европе.

Справочная литература

[58, Andersson 2002], [64, TWG 2003]

4.5.5.8 Использование угольных суспензий в мокрых скрубберах

Описание

Использование суспензии активированного угля в мокром скруббере может как снизить уровень выбросов диоксинов в поток дымовых газов, так и предотвратить накопление диоксинов в материале скруббера («эффект памяти»).

Техническое описание

При рН, близком к нейтральному, в систему добавляют активированный уголь в концентрации от нескольких г/л до 50 г/л, используя декантер для удаления жидкости, сохраняя при этом углерод.

Поскольку активированный уголь имеет активные центры, молекулы ПХДД/Ф переносятся к распыляемой в скруббере жидкости, и диоксины впоследствии адсорбируются на углероде, где происходит каталитическая реакция.

Экологические преимущества

В дополнение к снижению содержания ПХДД/Ф активированный уголь также адсорбирует ртуть.

Активированный уголь, который продувается из системы, не загрязнен ПХДД/Ф.

Поскольку активированный уголь превращает SO_2 в серную кислоту, этот процесс также является этапом финишной очистки для удаления SO_2 .

Зарегистрированная концентрация ПХДД/Ф в откачиваемых сточных водах составляет менее 0,1 нг ТЭ/л. [74, TWG 2004]

Экологические показатели и эксплуатационные данные

Выбросы ПХДД/Ф в выводной трубе ниже 0,06 нг ТЭ/Нм³.

Выбросы ртути обычно значительно ниже 50 мкг/Нм³ при сжигании коммунальных отходов.

Для контроля рН в установке с использованием суспензии активированного угля должен использоваться NaOH.

Воздействие на различные компоненты окружающей среды

Использование углерода.

Технические соображения, касающиеся применимости

Применимо к мокрым скрубберам, работающим с гидроксидом натрия для контроля рН на уровне, близком к нейтральному.

Экономические аспекты

Затраты ограничены стоимостью реагентов, если они используются для финишной очистки или для обработки эффекта памяти. Для реализации технологии потребуются только незначительные изменения в системе очистки.

Для эффективного удаления ПХДД/Ф эта технология может потребовать специального скруббера с башенной насадкой, чтобы обеспечить эффективный контакт между дымовыми газами и промывочной водой. [74, TWG 2004]

Мотивы внедрения

Движущей силой для реализации является соблюдение законодательства в отношении пределов выбросов для ПХДД/Ф.

Примеры

Сообщается, что около 100 мусоросжигательных заводов оснащены этой технологией.

Справочная литература

[64, TWG 2003]

4.5.6 Технологии сокращения выбросов ртути

4.5.6.1 Мокрая очистка с низким рН и впрыскиванием добавок

Описание

Технология мокрой очистки описана в разделе 2.5.4.

Техническое описание

[63, Langenkamp 1999] Использование мокрых скрубберов для удаления кислых газов приводит к снижению рН скруббера. Большинство мокрых скрубберов имеют как минимум две ступени. Первая удаляет в основном HCl, HF и некоторое количество SO₂. Вторая ступень, поддерживаемая при рН 6–8, служит для удаления SO₂.

Способность удаления ртути может быть увеличена с использованием добавок в очищающем растворе, таких как соединения серы, активированный уголь и/или окислители, чтобы связать ртуть в стабильные и нерастворимые частицы HgS или адсорбировать ее на активированный уголь.

Впрыск добавок может автоматически контролироваться с помощью сигнала монитора выбросов ртути или с помощью специального монитора концентрации ртути в неочищенном дымовом газе, что обеспечивает эффективную возможность контроля пиковых значений. Использование монитора необработанных дымовых газов обеспечивает дополнительное преимущество обнаружения пиков с минимальной задержкой по времени, поскольку, как только ртуть попадет в выводную трубу, она исчерпает буферную емкость оборудования системы ОДГ, что может привести к загрязнению некоторых ее компонентов.

Экологические преимущества

Выгода для окружающей среды заключается в сокращении выбросов ртути в воздух путем ее перехода в водную фазу и последующего улавливания на стадии очистки сточных вод.

Экологические показатели и эксплуатационные данные

Если на первой ступени мокрого скруббера поддерживается pH ниже 1, эффективность удаления ионной ртути в виде HgCl_2 , которая обычно является основным соединением ртути после сжигания отходов, составляет более 95%. Однако скорости удаления металлической ртути составляют лишь порядка 0–10%, главным образом в результате конденсации при рабочей температуре скруббера около 60–70°C.

Адсорбция металлической ртути может быть улучшена до 20–30% с помощью следующих факторов:

- Добавление соединений серы в раствор скруббера.
- Добавление активированного угля в раствор скруббера.
- Добавление окислителей, например, перекиси водорода, в скрубберный раствор. Эта технология преобразует металлическую ртуть в ионную форму в виде HgCl_2 для облегчения ее осаждения и имеет наиболее значительный эффект. См. также раздел 4.5.6.5.

Общая эффективность удаления ртути (как металлической, так и ионной) составляет около 85%.

Сообщается, что эффективность удаления выше 90% также может быть достигнута путем добавления бромсодержащих отходов или путем введения бромсодержащих химических веществ в камеру сжигания. [74, TWG 2004]

Концентрация ртути в сжигаемых отходах и содержание хлорида имеют решающее значение при определении достигнутых конечных уровней выбросов.

В любом случае может потребоваться добавление дополнительного участка по очистке ртути в зависимости от концентрации на входе, например:

- впрыск углерода перед системой РФ;
- фильтр статического коксового слоя.

(См. разделы 4.5.6.2 и 4.5.6.7.) [74, TWG 2004]

Разброс концентраций ртути, поступающей с ТКО, может быть очень большим и, следовательно, может привести к значительным колебаниям уровней выбросов. Значения, измеренные на австрийской УСТКО, дали диапазон от 0,6 до 4 мг/кг. Это изменение может быть намного больше в других типах отходов, например, в некоторых опасных отходах.

Использование мокрых кислотных скрубберов для сокращения выбросов ртути может быть достаточным для достижения требуемых уровней выбросов, когда:

- тщательно контролируется, чтобы pH был ниже 1;
- концентрации хлоридов достаточно высоки, чтобы содержание ртути в неочищенном дымовом газе было почти полностью ионным (и, следовательно, удаляемым в виде хлорида).

При впрыскивании добавок в скруббер с низким pH, в случае обычно низких, но подверженных случайным пикам, концентраций поступающей ртути, например, при сжигании коммунальных отходов, используются малые дозы добавок (например, 0,5–2 л/ч) и увеличиваются в случае выброса ртути (например, до 10–20 л/ч). При использовании добавок сообщается о типичной эффективности сокращения выбросов ртути между 90% и более 99%, что позволяет получить концентрации ртути на выходе ниже 30 мкг/Нм³ в качестве краткосрочного среднего значения. [111, Germany 2016]

Воздействие на различные компоненты окружающей среды

Воздействие использования мокрой очистки на различные компоненты окружающей среды приведено в разделе 4.5.3.1.

Расход любых добавленных реагентов также должен быть принят во внимание.

Технические соображения, касающиеся применимости

Если установлен мокрый скруббер, данная технология обычно применима в качестве этапа предварительной обработки для контроля выбросов ртути в воздух в сочетании с другими технологиями или только в тех случаях, когда концентрации ртути в поступающих отходах достаточно низки (например, ниже 4 мг/кг). См. раздел 4.5.3.1 для информации о применении систем мокрой очистки.

Экономические аспекты

Информация не предоставлена.

Мотивы внедрения

Сокращение выбросов ртути.

Примеры

Некоторые заводы используют мокрую очистку с дополнительным внесением добавок, например, завод DE29 является примером установки с использованием сульфидов.

Справочная литература

[1, UBA 2001], [2, InfoMil 2002], [3, Austria 2002], [12, Achternbosch 2002], [55, EIPPCB 2002], [63, Langenkamp 1999], [64, TWG 2003], [111, Germany 2016]

4.5.6.2 Впрыск активированного угля для адсорбции ртути**Описание**

Эта технология включает впрыск активированного угля перед РФ (см. также раздел 4.5.5.5, РФ описаны в разделе 2.5.3.5) или другим устройством для удаления пыли. Ртуть адсорбируется в потоке и там, где используются барьерные фильтры, такие как РФ, а также на реагенте, который удерживается на поверхности мешка.

Техническое описание

Активированный уголь действует как адсорбент для улавливания ртути. При типичных температурах дымовых газов скорость адсорбции элементарной ртути на необработанном активированном угле намного ниже, чем окисленной ртути. Поэтому технологии окисления элементарной ртути используются для повышения эффективности общего удаления ртути. Бромированный активированный уголь окисляет элементарную ртуть до ее ионной формы, которая затем адсорбируется на активированном угле. Ионная ртуть удаляется путем химической адсорбции, которая усиливается за счет серы, содержащейся в дымовых газах или содержащейся в некоторых типах активированного угля, легированного серой. [74, TWG 2004], [7, TWG 2017]-CEFIC

Дальнейшее развитие этой технологии включает отдельный впрыск высокоэффективного активированного угля (например, углерода, пропитанного 25% серой), в случае возникновения пиков ртути, контролируемых непрерывным мониторингом ртути в неочищенном дымовом газе. Эта система, как сообщается, является очень эффективной, поскольку она сочетает эффективную борьбу с выбросами ртути с уменьшенными эксплуатационными расходами из-за малого использования сорбентов.

Экологические преимущества

Преимущества включают снижение выбросов ртути в воздух за счет адсорбции на активированном угле. Уголь также адсорбирует диоксины (см. раздел 4.5.5.5). РФ также обеспечивают возможность удаления пыли и металлов. РФ описаны в разделе 2.5.3.5. Обычно щелочные реагенты добавляются вместе с углеродом; это также позволяет восстанавливать кислые газы на той же стадии процесса, что и многофункциональное устройство. [74, TWG 2004]

Экологические показатели и эксплуатационные данные

Эксплуатационные аспекты аналогичны другим ситуациям, когда используются РФ (см. раздел 4.5.2.2).

Для достижения низких уровней выбросов особенно важно эффективное техническое обслуживание рукавного фильтра и системы впрыска реагента.

Ртуть адсорбируется (обычно с эффективностью удаления около 95%), что приводит к выбросам в атмосферу ниже 30 мкг/Нм³. [74, TWG 2004]

Сообщается о выбросах ртути в диапазоне от 3 мкг/м³ до 5 мкг/м³ (в среднем за год) при использовании отдельно впрыскиваемого пропитанного серой активированного угля, контролируемого непрерывным мониторингом ртути в неочищенном дымовом газе. [112, ЕЕВ 2015]

В некоторых системах, где удаление ртути проводится в мокрых кислотных скрубберах (рН <1) для снижения концентрации на входе, видны конечные уровни выбросов ниже 1 мкг/Нм³.

Различные виды активированного угля имеют разные адсорбционные способности. Другой возможностью улучшить удаление ртути является легирование адсорбента (например, серой или бромом). [74, TWG 2004]

В испытаниях, проводимых на установках сжигания опасных отходов, использовались различные виды активированного угля, и скорость потребления в час, необходимая для получения определенного уровня выбросов ртути, была следующей:

- кокс из скорлупы кокосовых орехов: 8–9 кг/час;
 - кокс из торфа: 5,5–6 кг/час;
 - бурый уголь: 8–8,5 кг/час;
 - торфяной уголь: 4–4,5 кг/час.
- [64, TWG 2003]

Уровень потребления углерода аналогичен указанному для ПХДД/Ф, поскольку адсорбент обычно используется для удаления как ртути, так и ПХДД/Ф. Нормы расхода углерода от 0,5 кг/т до 3 кг/т отходов типичны для УСТКО. Сообщалось об уровнях от 0,3 кг/т до 20 кг/т опасных отходов [41, EURITS 2002]. Адсорбционная емкость реагента, концентрации на входе ртути и требуемый уровень выбросов определяют требуемую скорость дозирования реагента.

При использовании активированного угля значительным является риск пожара. Адсорбент может быть смешан с другими реагентами для снижения риска возгорания; в некоторых случаях используется 90% гидратная известь и 10% углерода. Доля углерода, как правило, выше, когда существуют дополнительные стадии процесса, которые осуществляют удаление кислого газа (например, мокрые скрубберы).

Воздействие на различные компоненты окружающей среды

Воздействия на различные компоненты окружающей среды аналогичны тем, которые наблюдаются в других системах, использующих РФ (см. раздел 4.5.2.2). Потребление энергии РФ является важным аспектом.

Кроме того, для этой технологии наиболее значительным воздействием на различные компоненты окружающей среды является образование остатков, загрязненных удаленным загрязнителем (ртутью).

В тех случаях, когда твердый реагент перерабатывается (для уничтожения ПХДД/Ф) в мусоросжигательной установке, важно, чтобы:

- установка имела выходное отверстие для ртути, которое предотвращает накопление внутренних загрязняющих веществ (и возможный выброс);
- альтернативное выходное отверстие удаляло загрязнитель с достаточной скоростью;
- при использовании мокрых скрубберов ртуть могла проходить в выходящий поток, откуда она могла затем оседать в твердый остаток с использованием технологий обработки.

Технические соображения, касающиеся применимости

Применимость РФ оценивается в разделе 4.5.2.2.

Впрыск активированного угля обычно применим к новым и существующим установкам.

Экономические аспекты

Дополнительные капитальные затраты на технологию в процессах, где уже используются реагент для инъекции и РФ, минимальны. См. также раздел 4.5.5.5.

Дополнительные эксплуатационные расходы от:

- расхода реагента;
- обращения с остатками.

Стоимость операций (стоимость углерода) составляет приблизительно 125 000 евро в год для установки, которая перерабатывает 65 000 тонн опасных отходов в год.

Сообщается, что отдельный впрыск пропитанного серой углерода, контролируемый непрерывным мониторингом ртути в неочищенном дымовом газе, позволяет снизить эксплуатационные расходы за счет снижения общего потребления сорбента.

Мотивы внедрения

Экономически эффективное сокращение выбросов ртути в атмосферу.

Примеры

Широко используется по всей Европе.

Отдельный впрыск пропитанного серой углерода, контролируемый непрерывным мониторингом ртути, используется на нескольких заводах в Германии, включая установку сжигания коммунальных отходов Hahn с 2012 года и Rugenberger Damm (Гамбург) (DE46).

Справочная литература

[1, UBA 2001], [2, InfoMil 2002], [3, Austria 2002], [12, Achternbosch 2002], [55, EIPPCB 2002], [63, Langenkamp 1999], [41, EURITS 2002], [64, TWG 2003], [112, EEB 2015], [126, EIPPCB 2017]

4.5.6.3 Использование конденсатора дымовых газов для финишной очистки дымовых газов

Описание

Эта технология описана в разделах 2.4.4.5 и 4.4.11, главным образом с точки зрения рекуперации энергии.

Техническое описание

В дополнение к потенциальным преимуществам использования таких систем для регенерации энергии, эффект конденсации при использовании холодного скруббера может конденсировать некоторые загрязняющие вещества. Это может уменьшить выбросы загрязняющих веществ в воздух, но в значительной степени только тогда, когда скруббер работает при особенно низкой температуре, например, 40°C.

Экологические преимущества

Конденсация загрязняющих веществ из дымовых газов обеспечивает дополнительное снижение выбросов в атмосферу.

Если конденсация воды из дымового газа используется с последующим нагревом дымового газа, это может значительно уменьшить видимость шлейфа и уменьшить потребление воды в скруббере.

Экологические показатели и эксплуатационные данные

Использование только одной этой технологии для снижения выбросов ртути не может гарантировать уровни выбросов ниже 50 мкг/ Нм³. Поэтому она рассматривается только как дополнительный этап финишной очистки.

Температура стоков скруббера является критической для некоторых загрязняющих веществ, например, чтобы убедиться, что ртуть конденсируется и не проходит через скруббер для выброса в воздух. Следовательно, подача достаточно холодной охлаждающей среды является критической. Для эффективности удаления металлической ртути может потребоваться температура на выходе скруббера ниже 40°C (в некоторых случаях сообщается даже о более низких температурах – см. ниже).

Сообщалось, что охлаждение газа с использованием газового охладителя (то есть без впрыска жидкости) до температуры всего 5°C не дает достаточно хороших результатов для снижения выбросов ртути (DE17).

Низкая температура дымовых газов может привести к конденсации и, следовательно, коррозии в дымоходе, если он не облицован.

Воздействие на различные компоненты окружающей среды

Конденсированная вода будет содержать загрязняющие вещества, которые требуют очистки на водоочистном сооружении перед сбросом. Если применяется вышеупомянутая система мокрой

очистки, то стоки из конденсирующего скруббера могут быть обработаны на той же установке.

Эта технология обычно применяется только в тех случаях, когда имеется легкодоступный источник охлаждения, например, особенно холодный (40°C) возврат воды для центрального отопления, который обычно встречается только в более холодных климатических условиях. Применение этой технологии в других обстоятельствах (о которых не сообщается) приведет к высоким энергозатратам на необходимое охлаждение.

Низкая температура выброса из дымовой трубы снизит тепловую плавучесть шлейфа и, следовательно, уменьшит дисперсию. Это может быть преодолено с помощью использования более высокой выводной трубы или трубы с уменьшенным диаметром.

Технические соображения, касающиеся применимости

Технология применяется в основном как технология рекуперации энергии, и в нее уже включены дополнительные этапы удаления загрязняющих веществ (например, поглощение углерода, влажная очистка с низким pH).

Эта технология обычно не применяется сама по себе как средство контроля загрязнения, но может быть эффективна в качестве стадии финишной очистки в сочетании с другими системами.

В таблице ниже приведены конкретные аспекты, касающиеся использования конденсационных скрубберов.

Таблица 4.42: Оценка применимости конденсационных скрубберов для удаления ртути

Критерий	Оценка/комментарии
Тип отходов	Поскольку технология применяется после стадий очистки дымовых газов, в принципе, технология может применяться к любому типу отходов
Диапазон мощностей завода	Технология была применена на заводах по сжиганию ТКО мощностью от 175 000 т до 400 000 т в год
Новые/существующие	Эта технология применяется в конце или ближе к концу системы ОДГ и поэтому может применяться как к новым, так и к существующим процессам
Межпроцессная совместимость	Никаких особых проблем
Ключевые факторы местоположения	Вероятно, это применимо только в том случае, если для дополнительного охлаждения скруббера не требуется энергия, то есть в более холодном северном климате, где более холодная отдача от центрального отопления обеспечивает энергичную движущую силу

Экономические аспекты

Общие дополнительные инвестиции в конденсационный скруббер оцениваются примерно в 3 миллиона евро. [5, RVF 2002]

Мотивы внедрения

Дополнительные продажи тепла являются основной движущей силой для использования технологии. Удаление дополнительного загрязнителя является вторичным преимуществом.

Примеры

Несколько примеров установок сжигания коммунальных отходов в Швеции и установка сжигания осадка сточных вод Нидерландах (NL06).

Справочная литература

[5, RVF 2002], [64, TWG 2003]

4.5.6.4 Впрыск хлорита для контроля элементарной ртути

Описание

Добавление хлорита в качестве окислителя для преобразования элементарной ртути в водорастворимую окисленную ртуть на входе в мокрый скруббер.

Техническое описание

Впрыск сильного окислителя преобразует элементарную ртуть в окисленную ртуть и делает возможным ее очистку в мокром скруббере. Чтобы избежать использования этого агента при взаимодействии с другими соединениями (например, диоксидом серы), его вводят непосредственно перед распылительными насадками первого кислотного скруббера. pH скруббера поддерживается между 0,5 и 2.

Когда распыляемая жидкость вступает в контакт с кислыми парами, содержащими хлористый водород, хлорит превращается в диоксид хлора, который является действующим активным веществом. Следует отметить, что, в отличие от других окислителей, таких как гипохлорит (отбеливатель), хлорит или диоксид хлора не способны вводить атом хлора в ароматическое кольцо и, следовательно, не могут изменять диоксиновый баланс.

Экологические преимущества

Преимущества технологии включают снижение выбросов ртути.

Дополнительным преимуществом является то, что использование окислителей способствует удалению NO в скруббере путем его окисления до более растворимого NO₂. Это приводит к снижению выбросов NO_x в воздух.

Экологические показатели и эксплуатационные данные

Информация не предоставлена.

Воздействие на различные компоненты окружающей среды

Поскольку использование окислителей способствует окислению NO до более растворимых частиц (NO₂) в мокром скруббере, это может привести к проблемам, связанным с высоким содержанием азота в сточных водах. [74, TWG 2004]

Технические соображения, касающиеся применимости

Технология применима только тогда, когда концентрация хлористого водорода в неочищенном дымовом газе составляет не менее 400 мг/Нм³.

Технология совместима только с системами мокрой очистки.

Экономические аспекты

Стоимость реагента является ограничивающим фактором.

Мотивы внедрения

Информация не предоставлена.

Пример растения

Мусоросжигательные заводы Bottrop и Ludwigshafen (DE)

Справочная литература

[64, TWG 2003]

4.5.6.5 Добавление перекиси водорода в мокрые скрубберы**Описание**

Основное назначение системы мокрой очистки – очистка дымовых газов от Hg, HCl и SO₂. В процессе добавления перекиси водорода в качестве окислителя, SO₂ окисляется до H₂SO₄ и поглощается скруббером, а большая часть элементарной ртути окисляется до водорастворимого Hg²⁺.

Техническое описание

Первым шагом является охлаждение, расположенное после рукавного фильтра (с впрыском углерода, который поглощает большую часть ртути). При закалке дымовой газ охлаждается до насыщения. После охлаждения дымовой газ входит в контакт с жидкостью скруббера, которая содержит перекись водорода и добавку. Жидкость скруббера реагирует с дымовыми газами, а кислые сточные воды передаются для нейтрализации и осаждения ртути.

Экологические преимущества

Преимущество заключается в повышенном снижении концентрации всех типов ртути в дымовых газах.

Мокрый скруббер также снижает содержание HCl, HF и SO₂.

Экологические показатели и эксплуатационные данные

Эксплуатационные проблемы аналогичны описанным для других мокрых скрубберов (см. таблицу 4.18).

Пиковая эффективность удаления ртути обычно составляет около 99,9%. В течение длительных периодов высоких концентраций на входе концентрация ртути в жидкости скруббера и чистом газе будет постепенно увеличиваться. Средняя эффективность удаления зависит от количества ступеней и скорости сброса жидкости. В установке с низким количеством сбросов средняя эффективность удаления обычно находится в диапазоне 90–95%.

Уровни выбросов ртути ниже 10 мкг/Нм³ могут быть последовательно достигнуты, в принципе, независимо от концентрации на входе, благодаря очень высокой буферной емкости.

В системе, включающей последующие процессы очистки с активированным углем, эффективность удаления ртути обычно составляет около 99,5%.

Технология также очень эффективна в качестве стадии финишной очистки для SO₂, HCl и HF.

Работа без сточных вод возможна путем рециркуляции сточных вод в систему ОДГ.

Воздействие на различные компоненты окружающей среды

Норма расхода реагента H₂O₂ (35% масс.) составляет 4–5 кг/т опасных отходов. Потребление может возрасти, поскольку H₂O₂ реагирует не только с ртутью, но также со всеми другими окисляемыми соединениями, такими как железо или тяжелые металлы. [74, TWG 2004]

Ртуть, абсорбированная в очищающей жидкости, осаждается на стадии очистки сточных вод, производя небольшие количества стабилизированного ртутьсодержащего осадка, который требует надлежащего обращения.

Потребление энергии будет варьироваться в зависимости от проектных параметров. Для мокрого скруббера можно ожидать падения давления от 1 200 Па до 2 400 Па, в зависимости от конструкции и независимо от добавления H₂O₂.

Технические соображения, касающиеся применимости

Эта технология применима ко всем типам мусоросжигательных заводов, использующих мокрую очистку. Наилучший эффект достигается, если скруббер расположен ниже рукавного фильтра с впрыском углерода.

Экономические аспекты

Инвестиционные затраты могут варьироваться в широких пределах, от очень низких затрат, если подходящая ступень скруббера уже составляет часть проекта, до примерно 3 млн. евро, если требуется совершенно новая система скрубберов (при расходе газа 100 000 Нм³/ч).

Эксплуатационные расходы включают стоимость химикатов и, если требуется дополнительная ступень скруббера, потребление электроэнергии для компенсации дополнительного падения давления. По оценкам, они находятся в диапазоне 20–35 евро/ч на заводе мощностью 130 000 Нм³/ч.

Мотивы внедрения

Технология может быть использована как на новых, так и на существующих объектах, которым необходимо:

- достичь низких уровней выбросов Hg, HCl and SO₂;
- уменьшить высокие пики ртути.

Примеры

На заводе Sakab Ekokem в Кумле (SE) (SE21) в качестве финишного очистного скруббера используется система MercOx.

Справочная литература

[64, TWG 2003], [113, Sweden 2015], [128, Löthgren et al. 2007], [129, Andersson and Paur 2005]

4.5.6.6 Добавление бромидов в котёл**Описание**

Ввод бромидов в печь или добавление к отходам для повышенного окисления ртути при прохождении дымового газа через котел, способствуя тем самым превращению нерастворимой элементарной газообразной ртути в водорастворимый и адсорбируемый HgBr_2 . Таким образом, повышается уровень удаления ртути в устройствах контроля, установленных на следующих технологических этапах, таких как мокрые скрубберы или системы впрыска сухого активированного угля.

Техническое описание

Водный раствор бромидов, такой как CaBr_2 , добавляют к отходам или впрыскивают в печь во время сжигания, когда обнаруживается появление пика ртути. При высоких температурах бромид окисляется до димолекулярного брома (Br_2) или атомных радикалов брома и гидролизованного брома, которые окисляют ртуть в дымовых газах. Было доказано, что бромидные соли гораздо более эффективны при окислении ртути, чем хлоридные соли, потому что, хотя хлор удаляется при превращении SO_2 в SO_3 , эта же реакция не является энтальпически благоприятной для брома. Это приводит к гораздо меньшему количеству брома, достаточному для полного окисления ртути, чем количество галогенового реагента, необходимого при использовании хлора.

Экологические преимущества

Преимуществами являются сокращение выбросов ртути в воздух и эффективный контроль пиков выбросов ртути, связанных с иногда высокими уровнями ртути в поступающих отходах.

Экологические показатели и эксплуатационные данные

Эта технология повышает эффективность удаления ртути в тех процессах, которые применяются ниже по потоку, что позволяет достичь общей эффективности борьбы с выбросами > 90% и до 99,8% в сочетании с многоступенчатыми мокрыми скрубберами. Сообщается, что эффективность борьбы с выбросами >99,5% достижима и для систем впрыска сухого активированного угля.

Для полного окисления ртути, содержащейся в дымовых газах, требуется применение Br/Hg в массовых долях более 300.

Для контроля случайных пиков ввода ртути объемная скорость потока бромидов, например, CaBr_2 (52% масс.), может быть установлена в диапазоне от 15 до 75 л CaBr_2 (52%) в час, в зависимости от размера установки и величины пиков ртути. Скорость впрыска бромидов может быть автоматически дозирована в соответствии с уровнями ртути, измеренными в дымовых газах.

Воздействие на различные компоненты окружающей среды

Расход водного раствора бромидов является воздействием на различные компоненты окружающей среды.

Использование брома в этом процессе может привести к образованию полибромированных диоксинов и/или полигалогенированных диоксинов и фуранов.

Бром также может привести к повреждению рукавного фильтра.

Степень этих воздействий на различные компоненты окружающей среды ограничена использованием технологии только в случае обнаружения пиков ртути, а не введением бромидов постоянно в качестве общей технологии снижения ртути.

Технические соображения, касающиеся применимости

Технология неприменима к установкам, работающим с уровнем кислорода, близким к нулю, таким как установки для пиролиза или установки для газификации низкого давления, но может применяться в секциях, расположенных ниже по потоку (например, в камерах дожигания, где содержание O_2 является достаточным).

Технология не подходит для заводов, сжигающих отходы с высоким содержанием хлора.

Экономические аспекты

Сообщается, что инвестиционные затраты невелики: от 10 000 до 250 000 евро, в зависимости от местных стандартов для установки, и покрывают достаточный резервуар для хранения раствора брома, дозирующие насосы и инъекционные трубы.

Эксплуатационные расходы в основном связаны с потреблением бромидов в качестве окислителя и зависят от общего содержания ртути в отходах и поэтому являются переменными. Сообщается, что они варьируются от менее чем 20 000 евро в год до 120 000 евро в год.

Для площадки, на которой эксплуатируются две установки сжигания для опасных отходов и одна многоподовая печь сжигания осадка сточных вод, сообщаемое потребление в течение 13 лет составляет от 25 м³ до 125 м³ раствора бромидов в год.

Мотивы внедрения

- Соблюдение законодательства о выбросах.
- Подавление ртутных пиков.
- Потенциальная экономия средств по сравнению с использованием других окислителей.

Примеры

Эта технология используется в Германии с 2002 года на четырех установках сжигания опасных отходов с ротационными печами на Currenta GmbH&Co OHG; с 2004 года на двух стационарных установках сжигания коммунальных сточных вод с печами кипящего слоя на S&Mchergerossenschaft - Lippeverband в Боттропе; и с 2008 года на двух других стационарных установках сжигания в кипящем слое коммунальных сточных вод на установках по очистке сточных вод Karlsruhe-Neureuth в Карлсруэ.

Кроме того, недавно она была внедрена на трех установках сжигания опасных отходов с ротационной печью завода SARPI-VEOLIA во Франции, которые оснащены тремя различными системами очистки дымовых газов: сухая система ОДГ на основе активированного угля и гидратированной извести, аналогичная полусухая система ОДГ в качестве первой ступени с дополнительным хвостовым скруббером и многоступенчатой мокрой системой ОДГ.

Справочная литература

[115, Vosteen et al. 2015], [127, EIPPCB 2017]

4.5.6.7 Адсорбция ртути в неподвижном слое

Использование этой технологии и ее преимущества для снижения выбросов ртути, воздействия на различные компоненты окружающей среды и другие вопросы описаны в разделе 4.5.5.6.

При адсорбции ртути выбросы в воздух, как правило, ниже 20 мкг/Нм³.

4.5.6.8 Системы с фиксированным сорбирующим полимерным катализатором (СПК)

Описание

Фиксированная сорбентная система, использующая сорбирующий полимерный катализатор (СПК), который улавливает как элементарную, так и окисленную ртуть и удаляет SO₂. Его можно использовать в мокром скруббере или в качестве отдельного устройства.

Техническое описание

Модули с открытым каналом с низким перепадом давления устанавливаются ниже по потоку от пылесборника, где они непрерывно удаляют ртуть из дымовых газов. Ртуть хемосорбируется в структуре, образуя стабильные соединения, которые не будут десорбироваться или выщелачиваться.

Модули заменяются после нескольких лет использования после загрузки хемосорбированной ртути. В поток газа не впрыскиваются сорбенты или химические вещества, что приводит к очень небольшому количеству твердых отходов по сравнению с обычной системой впрыска углерода. SO₂ также удаляется в качестве дополнительной выгоды путем окисления до серной кислоты, которую

обычно обрабатывают в мокром скруббере.

Модули могут быть установлены внутри существующего мокрого скруббера над каплеуловителями на выходе из скруббера. Как самодостаточное решение для выводной трубы, они обычно могут устанавливаться непосредственно перед выводной трубой, либо на выходе мокрого скруббера, либо сразу после мокрого скруббера или мокрого ЭСФ.

Экологические преимущества

- Сокращение выбросов ртути в воздух, что позволяет избежать загрязнения технологической пыли или сточных вод.
- Минимальное образование твердых отходов (модули заменяются каждые несколько лет эксплуатации).
- Низкое энергопотребление, так как низкий перепад давления устраняет необходимость в дополнительном дымососе.
- Выбросы SO_2 в воздух также снижаются в качестве дополнительной выгоды.

Экологические показатели и эксплуатационные данные

Технология реализована в виде модульной конструкции, в которой каждый модуль удаляет примерно одинаковый процент ртути в дымовом газе, который зависит от скорости дымового газа. Общий процент удаления определяется количеством последовательно соединенных модулей. Сообщается, что при скорости дымовых газов 4 м/с дымовая труба высотой 60 см удаляет 40–50% ртути из дымовых газов, а это означает, что 80–90% ртути удаляется дымовой трубой высотой 180 см.

Таким образом, технология обеспечивает фиксированное процентное удаление входящей ртути в дымовых газах, но не обеспечивает значительной эксплуатационной гибкости или буферной емкости. По сути, она может быть достаточной в качестве единственной технологии контроля ртути на заводах, где содержание ртути и его изменчивость относительно низки, например, в установках сжигания осадка сточных вод, но не в случае установок сжигания опасных отходов.

Максимальная рабочая температура составляет 80°C. При необходимости охлаждающее устройство, такое как испарительный охладитель, может быть использовано выше по потоку. Требуется предварительная очистка от пыли, хотя технология допускает умеренную загрузку частиц, например, после ЭСФ. Модули с открытым каналом можно мыть при использовании, а технологическая пыль смывается с поверхностей водой.

Технология не включает какие-либо движущиеся части и не требует введения химических веществ или сорбентов. Требуется минимальная промывка технологической водой.

На шести линиях сжигания осадка сточных вод в США, эксплуатируемых в Северо-Восточном региональном канализационном округе Огайо и Столичном канализационном округе Большого Цинциннати, сокращение выбросов ртути составляет от 60% до 97%, что приводит к концентрациям выбросов между <1 мкг/Нм³ и сообщалось о 9 мкг/Нм³ (в пересчете на 11% O_2). На тех же участках также было зарегистрировано сокращение SO_2 в пределах от 78% до 98%.

Падение давления составляет 0,25–0,5 кПа.

Воздействие на различные компоненты окружающей среды

Основным воздействием на различные компоненты окружающей среды является образование после нескольких лет использования загруженного ртутью отработанного полимерного катализатора. Учитывая, что 20-килограммовый модуль может улавливать около 1 кг ртути, прежде чем потребуются замена, количество образующихся отходов намного ниже, чем в системах впрыска активированного угля.

Технические соображения, касающиеся применимости

Технология, в целом, применима к новым заводам.

Приспособляемость к существующим установкам может быть ограничена требованиями к площади для дополнительной технологической установки, а на установках, оборудованных только технологиями сухой ОДГ, дополнительными требованиями к охлаждению дымовых газов.

Экономические аспекты

Сообщается, что инвестиционные затраты сильно зависят от конкретной площадки, но в целом существенно ниже, чем при адсорбции с неподвижным слоем. В случае двух установок сжигания осадка сточных вод, уже оборудованных мокрым скруббером, в США, сообщалось об инвестиционных затратах от 225 000 долл. США до 450 000 долл. США, которые включали затраты на отдельный контейнер, построенный для размещения модулей, расположенных после скруббера (либо выше, либо ниже по потоку).

Как правило, эксплуатационные расходы являются низкими.

Сокращение выбросов ртути при одновременном ограничении воздействия на различные компоненты окружающей среды.

Примеры

В США 16 установок по сжиганию осадка сточных вод используют технологию системы контроля ртути Gorg.

Справочная литература

[119, EEB 2015], [120, Smith et al. 2017]

4.5.7 Технологии сокращения выбросов других веществ

4.5.7.1 Использование специальных реагентов для восстановления йода и брома

Описание

Эта технология кратко описана в разделе 2.5.4.1.

Специальные реагенты, например, тиосульфат натрия или бисульфит натрия могут быть либо добавлены по мере необходимости к существующей системе мокрой очистки для обработки конкретных партий отходов (когда знание о составе отходов имеет решающее значение), либо регулярно добавляются к дополнительной стадии системы мокрой очистки (когда расход реагента может быть выше).

Техническое описание

В галогеновом скруббере любые свободные галогены восстанавливаются до гидридов галогенов путем реакции с щелочным раствором $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$. Вместе с оставшимся SO_2 гидриды галогенов затем удаляются из дымовых газов путем растворения.

Рассматриваемые галогены – это бром и йод, в основном происходящие из антипиренов и медийных отходов. Поскольку фтор и хлор являются сильными окислителями, оба полностью превращаются в гидриды.

Также возможно уменьшить выбросы йода и брома в воздух, вводя в печь серосодержащие отходы или SO_2 . [64, TWG 2003]

Экологические преимущества

Желтый/коричневый или фиолетовый дымовой газ можно увидеть в некоторых случаях, когда через систему ОДГ проходят значительные концентрации брома или йода (соответственно). Это предотвращается целевым или регулярным добавлением $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$.

Экологические показатели и эксплуатационные данные

Было невозможно управлять процессом посредством онлайн-измерения окислительно-восстановительного потенциала из-за смеси нескольких мешающих окислительно-восстановительных процессов в воде скруббера. Следовательно, внесение реагентов контролируется концентрацией SO_2 в неочищенном газе. Если отходы содержат достаточное количество серы, никакого дополнительного снижения содержания галогенов не требуется – это отражает альтернативный вариант дозированного сжигания серосодержащих отходов или впрыска SO_2 , упомянутого выше.

Воздействие на различные компоненты окружающей среды

Потребление $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ зависит от содержания серы в отходах, причем его добавление контролируется в соответствии с концентрацией SO_2 в неочищенном газе. Если в отходах содержится достаточно серы, никакого дополнительного снижения содержания галогенов не требуется.

Удаленные загрязнители переносятся в сточные воды; следовательно, может потребоваться последующая переработка.

При добавлении SO_2 или отходов с более высоким содержанием серы это потребует изменения рабочего режима последующих этапов ОДГ, чтобы учесть изменение стандартного химического состава отходов. Изменения в балансе серы/хлора также могут влиять на скорость превращения ПХДД/Ф.

Технические соображения, касающиеся применимости

Техника обычно применима к любому заводу, оборудованному мокрым скруббером.

Это главным образом относится к установке сжигания опасных отходов или другим установкам, где концентрации йода и брома в сжигаемых отходах сильно варьируются и/или их трудно прогнозировать/контролировать, например, отходы из лабораторий или химические/фармацевтические отходы. В основном это установки сжигания опасных отходов.

Экономические аспекты

Годовое потребление $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ для каждой из трех линий сжигания в среднем составляет приблизительно 50 тонн. При цене 0,5 евро за тонну общие затраты на запуск этой третьей ступени (без учета потребляемой энергии) для скрубберных насосов и т.д. составляют 25 000 евро в год на линию.

Затраты на целевое добавление реагента, вероятно, будут ниже, но могут потребоваться дополнительные ресурсы для контроля и обращения с поступающими отходами.

Затраты на добавление реагента в существующую систему мокрой очистки ограничиваются главным образом затратами на реагенты и, следовательно, затраты на добавление отдельной стадии очистки значительно меньше.

Затраты на впрыск SO_2 – это затраты на газ. Внесение отходов с более высоким содержанием серы будет зависеть от наличия таких отходов.

На установке сжигания опасных отходов в Дании была добавлена третья ступень скруббера стоимостью около 600 000 евро (в 2000 году).

Мотивы внедрения

- Требуется контроль выбросов йода и брома.
- Случаи, когда концентрации йода и брома в сжигаемых отходах сильно варьируются и/или их трудно прогнозировать/контролировать.

Примеры

Целевое дозирование используется во многих европейских установках сжигания опасных отходов. Дополнительная ступень скруббера была установлена на установке сжигания опасных отходов в Дании.

Справочная литература

[25, Kommunikemi 2002], [64, TWG 2003]

4.6 Обработка и контроль сточных вод

Общие принципы, которые должны соблюдаться в отношении выбора и эксплуатации систем очистки сточных вод, изложены в Справочном документе по НДТ очистки производственных сточных вод и отходящих газов, системам менеджмента в химической промышленности (CWW). Поэтому в этом разделе настоящего документа рассматриваются только вопросы, которые были определены как важные или специфичные для сектора сжигания отходов.

Оптимальный процесс сжигания является важным условием эффективного контроля выбросов в воду. Неполное сжигание отрицательно влияет на состав дымовых газов и летучей золы из-за повышенного присутствия органических соединений с загрязняющим и/или токсичным характером. Это, в свою очередь, может повлиять на содержание стоков скруббера.

Технологии, которые следует рассмотреть в отношении снижения содержания загрязняющих веществ в дымовых газах (и, следовательно, снижения потенциального риска переноса в стоки скруббера), изложены в разделах 4.1 и 4.3.

4.6.1 Применение технологий очистки дымовых газов без образования сточных вод

Описание

Рассматриваемые технологии:

- использование впрыска сухого сорбента или полумокрого абсорбера;
- использование мокрого скруббера с последующим выпариванием произведенных сточных вод;
- обращение со сточными водами из системы мокрой очистки дымовых газов.

Техническое описание

Безотходная очистка дымовых газов может быть достигнута путем:

- использования сухих и полумокрых процессов: они не приводят к образованию сточных вод;
- мокрых процессов, в которых используется испарение: мокрая ОДГ приводит к образованию сточных вод; однако при определенных условиях эта сточная вода может быть рециркулирована в процесс и испарена.

Эти процессы описаны в разделе 4.5.3.

Экологические преимущества

- Нет сброса сточных вод.
- Избежание потребления ресурсов, связанных с очисткой сточных вод.
- Восстановление солей выпариванием.

Экологические показатели и эксплуатационные данные

Сухие и полусухие системы ОДГ не образуют сточных вод. Другие сточные воды от других местных процессов или дождевая вода могут быть переработаны в полумокрых или мокрых системах.

Мокрые процессы образуют сточные воды, которые вместо сброса после обработки могут быть переработаны или испарены либо в режиме онлайн, либо в специальной испарительной установке. Количество сточных вод мокрого процесса обычно составляет 0,2 м³/т отходов. Стоки мокрого скруббера нейтрализуются (например, гидратной известью или известковым молоком). Для переработки соединений тяжелых металлов также вводят комплексообразующие агенты. Затем очищенные сточные воды распыляются в испарительную градирню и испаряются с использованием энергии дымовых газов на выходе из котла.

Испарение сточных вод может привести к загрязнению испарительной градирни [74, TWG 2004]

Воздействие на различные компоненты окружающей среды

- Увеличение потребления энергии. Энергопотребление испарительного блока может быть незначительным, если энергия поступает от других этапов сжигания.
- Увеличение производства остаточных отходов.

Технические соображения, касающиеся применимости

Технология, в целом, применима.

Экономические аспекты

В тех случаях, когда сброс сточных вод является приемлемым, снижается стимул к внедрению систем, которые устраняют этот сброс. Возможные примеры включают морскую среду, которая может поглощать соленые сточные воды после обработки.

Затраты на электроэнергию для отдельной испарительной установки могут быть высокими.

В случае больших затрат на удаление твердых отходов, может быть выгодным применение мокрой обработки дымовых газов с испарением (или без него, где это возможно) вследствие уменьшения образования твердых отходов.

Выходное отверстие для извлеченной соли, возникающей в отдельных системах выпаривания, позволит избежать необходимости платить за обращение с этой фракцией отходов. В некоторых случаях примеси усложняют это. [74, TWG 2004]

Мотивы внедрения

Отсутствие выходного отверстия для слива воды является ключевым фактором.

Примеры

Испарение осуществляется на ряде установок в Германии и приводит к появлению мокрых установок ОДГ, которые не сбрасывают сточные воды.

Системы ОДГ с нулевым производством стоков (то есть не мокрая ОДГ) широко используются по всей Европе.

FR56 (мокрый процесс + испарение конденсата сточных вод) и FR33 (полумокрый + мокрый процесс). [74, TWG 2004]

Справочная литература

[2, InfoMil 2002], [64, TWG 2003], [74, TWG 2004]

4.6.2 Обработка сухого зольного остатка

Описание

Сухой горячий зольный остаток попадает из решетки в систему транспортировки и охлаждается окружающим воздухом. В процессе не используется вода. Полезная энергия восстанавливается при использовании охлаждающего воздуха для сжигания.

Техническое описание

Устройство золоудаления работает без воды, а зольный остаток выгружается в сухом виде из системы сжигания. Донный золоотвод поршневого типа используется в неизменном виде, но с воздушным сепаратором и системой пылеудаления (например, циклонным сепаратором).

Воздухонепроницаемое уплотнение в камере сжигания достигается путем накопления зольного остатка в золовом бункере. Сухой выгруженный зольный остаток направляется непосредственно в воздушный сепаратор.

Мелкая фракция и пыль зольного остатка извлекаются заранее определенным образом. В зависимости от скорости извлечения мелкая фракция и размер частиц пыли устанавливаются на значения от ≤ 1 мм до ≤ 5 мм.

Зона разделения воздуха закрыта корпусом, в котором постоянно поддерживается давление ниже атмосферного, что также предотвращает попадание сжатого воздуха в печь или попадание пыли в котельную.

Температура поверхности разрядника находится в том же диапазоне (40–60°C), что и в разряднике мокрого типа.

Как правило, следующие три потока материалов отделяются от сухого осажденного зольного остатка посредством разделения воздуха и удаления пыли:

- крупная фракция (> 1 мм), обогащенная извлекаемыми металлами;
- мелкая фракция (≤ 1 мм), почти без металла;
- пыль зольного остатка (≤ 100 мкм).

Последние две фракции выводятся из воздушного сепаратора с помощью воздушного потока и направляются в систему пылеудаления, которая обеспечивает их отделение от воздушного потока. Незагруженный воздух, содержащий минимальную остаточную нагрузку зольного остатка, подается в систему подачи воздуха для горения или дополнительно очищается от пыли перед выпуском.

На рисунке 4.9 показана общая схема системы удаления сухого зольного остатка.

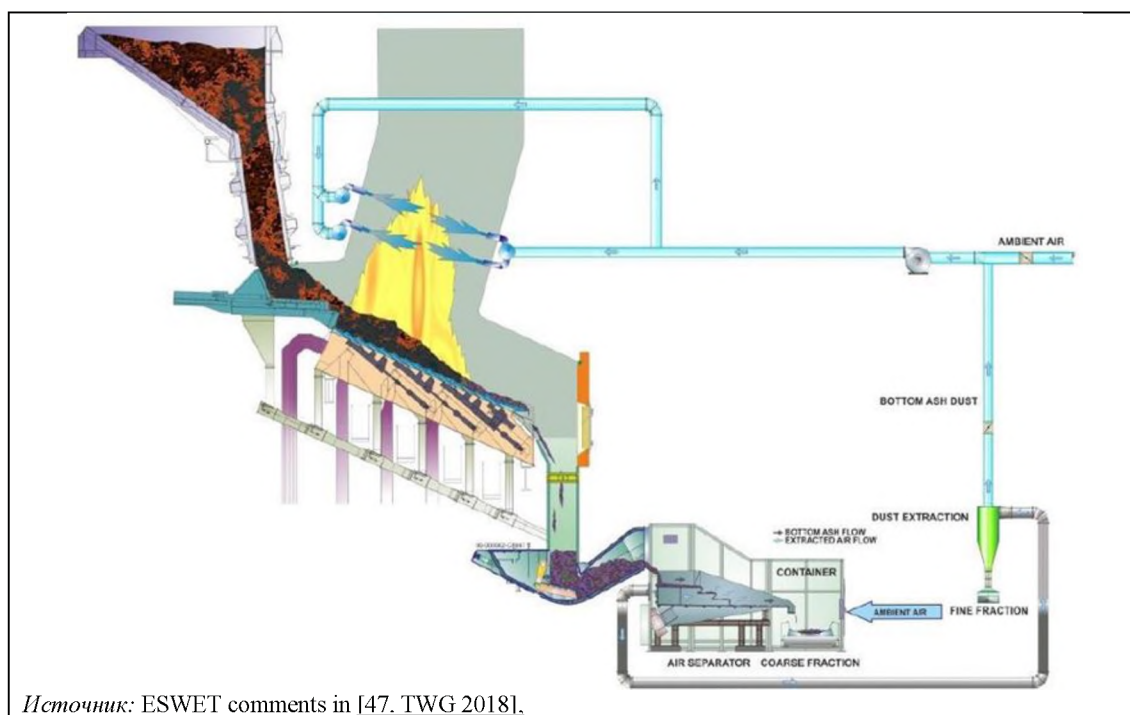


Рисунок 4.9: Схема системы удаления сухого зольного остатка

Смотрите также Справочный документ по НДТ крупных установок по сжиганию (топлива, тепловых электростанций).

Экологические преимущества

- Снижение потребления воды.
- Повышенная энергоэффективность.
- Улучшенное извлечение металлов, поскольку их легче отделить от сухого, чем от влажного зольного остатка.

Экологические показатели и эксплуатационные данные

Вода не используется. Полезная энергия восстанавливается при использовании охлаждающего воздуха для сжигания. Количество выделяемого тепла зависит главным образом от следующих рабочих параметров:

- скорость образования зольного остатка;
- температуры зольного остатка при разгрузке через решетку (обычно в диапазоне от 350 до 500°C) и при окончательном разгрузке (обычно $< 100^{\circ}\text{C}$).

При необходимости (например, в целях пожарной безопасности) донный золоотвод может быть затоплен водой в любое время.

Воздействие на различные компоненты окружающей среды

Сброс сухого зольного остатка производит большое количество пыли и требует подходящего помещения и пылеулавливающих средств.

Технические соображения, касающиеся применимости

Технология применима только к колосниковым печам.

Могут быть технические ограничения, которые препятствуют модернизации существующих колосниковых печей.

Экономические аспекты

Золоудаление обеспечивает более эффективное отделение в сочетании с улучшенным качеством извлеченных металлов, что приводит к увеличению цены полученных металлов и доходу. Дополнительным преимуществом является снижение транспортных расходов за счет снижения веса примерно на 20% масс. из-за отсутствия воды.

Внутренний уровень доходности инвестиций, связанных с увеличением количества извлеченных цветных металлов, находится в диапазоне 15–26% для завода с пропускной способностью 100 000 т/г и 35–50% для завода с пропускной способностью 160 000 т/г. [130, Martin and Hanenkamp 2017].

Мотивы внедрения

- Улучшение качества золы.
- Увеличение извлечения цветных металлов после обработки зольного остатка установки сжигания.

Примеры

ACEA San Vittore del Lazio (IT), GESPI Augusta (IT), KEBAG AG Zuchwil (CH), KVA Horgen (CH), ERZ Zurich (CH), KEZO Hinwil (CH), SATOM Monthey (CH).

Справочная литература

[130, Martin and Hanenkamp 2017]. [131, Magaldi 2017]

4.6.3 Использование котельной дренажной воды

Описание

Рассматриваемые технологии:

- подача котельной дренажной воды в полумокрый или мокрый скруббер или в систему закалки;
- очистка котельной дренажной воды для повторного использования в процессе сжигания.

Техническое описание

Котельная вода требует регулярного слива, чтобы снизить уровень растворенных твердых веществ. Этот поток сточных вод может подаваться непосредственно в скрубберы (полусухие и мокрые) или на закалку вместо отдельной очистки/сброса.

Другой вариант – очистить ее и отправить обратно в котел. Вода, поступающая из котла, охлаждается в теплообменнике, где тепло обменивается с холодной деминерализованной водой, поступающей в деаэратор (таким образом, отработанное тепло также восстанавливается) до уровня, который позволяет проводить дальнейшую обработку. Охлажденная вода поступает в буферный резервуар для временного хранения. Вода при температуре ниже 40°C направляется из резервуара на фильтр с активированным углем (для удаления содержания аммиака), затем отправляется в ионообменную колонну (с анионными и катионными смолами) для достижения целевого содержания кремния. Затем вода готова к отправке в деаэратор используется повторно. [96, Italy 2016]

Экологические преимущества

Снижение расхода воды путем замены питательной воды скруббера.

Экологические показатели и эксплуатационные данные

Не предоставлена информация о подаче сточных вод котлов в скрубберы.

Важно проверить, подходит ли качество сточных вод для процесса, в частности, чтобы предотвратить риск загрязнения из-за осаждения соли (например, фосфата кальция). [74, TWG 2004]

На заводе IT10 вода из котлов поступает в водный резервуар. Когда резервуар заполнен, начинается очистка. Рабочий диапазон расхода составляет от 0,7 м³/ч до 2 м³/ч. В системе используется насос мощностью 1,1 кВт; 20 л/мин сжатого воздуха используются для управления клапанами. Потребление HCl и NaOH для регенерации смол в ионообменном слое составляет 30 л/месяц.

Полученные остатки:

- фильтр с активированным углем: 50 кг (замена каждые 8 лет);
- кварц: 50 кг каждые 8 лет;
- анионные и катионные смолы: 100 кг каждые 8 лет;
- сточные воды, образующиеся во время регенерации (каждые 2 недели): 4 м³/месяц.

Вся вода от непрерывной продувки котлов восстанавливается.

Температура воды на входе в фильтр с активированным углем должна быть ниже 40°C.

Оборудование, используемое для этой технологии, имеет очень большой срок службы (замена фильтров и смол каждые 8 лет).

Проводимость воды и концентрация кремнезема проверяются после ионообменного слоя.

Энергия, необходимая для обработки, компенсируется уменьшением потребления энергии, необходимой для подачи пресной воды. [96, Italy 2016]

Воздействие на различные компоненты окружающей среды

Незначительное увеличение энергопотребления и потребления сырья.

Технические соображения, касающиеся применимости

Подача котельной сточной воды в скрубберы применима только к газоочистным системам, которые требуют подачи воды (то есть не к сухим системам, если не добавлена кондиционирующая питательная вода).

Как правило, применяется очистка сточных котельных вод.

Экономические аспекты

Не было предоставлено никакой информации о подаче сточных вод котлов в скрубберы.

Инвестиционные затраты на очистку сточных вод котлов составляют около 40 000 евро (2006 г.), а эксплуатационные расходы, включая техническое обслуживание, составляют 1 600 евро в год.

Экономия:

- приблизительно 294 000 евро в год из-за снижения затрат на удаление сточных вод;
 - приблизительно 650 евро в год за счет энергии, сэкономленной для всасывания грунтовых вод;
- [96, Italy 2016]

Мотивы внедрения

Экономия на издержках.

Примеры

MHKW Bamberg (DE), Rea Dalmine (IT) и многие другие УСТКО в Европе.

Справочная литература

[2, InfoMil 2002], [96, Italy 2016]

4.6.4 Рециркуляция стоков в процесс вместо сброса**Описание**

Поскольку процесс сжигания сам по себе обеспечивает концентрацию и удаление загрязняющих веществ из потоков отходов, малые и средние объемы сточных вод можно направлять в процесс сжигания или в процессы очистки дымовых газов. Правильное внедрение этой технологии не оказывает негативного влияния на работу мусоросжигательного завода или его экологические показатели.

Эти технологии могут включать в себя:

- использование котельной дренажной воды в качестве источника воды для мокрых скрубберов (см. раздел 4.6.3);
- использование некоторых потоков лабораторных сточных вод, содержащих низкие уровни загрязнения, в качестве подпиточной воды для подачи в скруббер;
- отправка сточных вод из зольного остатка, находящегося в открытом помещении, или в других местах хранения к сбросу мокрого зольного остатка;
- использование собранной дождевой воды в качестве промывочной среды;
- рециркуляция конденсатов;
- повторное использование охлаждающей воды для производства электроэнергии;
- впрыск воды, просочившейся от подготовки котельной воды.

[74, TWG 2004]

Экологические преимущества

При правильной разработке и эксплуатации такая система может позволить мусоросжигательной установке:

- концентрировать неорганические загрязнители в твердые отходы (например, с остатками ОДГ или остатками очистки сточных вод);
- снизить потребление воды;
- устранить или ограничить необходимость сброса сточных вод.

Воздействие на различные компоненты окружающей среды

В случае предварительной очистки потока сточных вод для улучшения его качества перед поступлением в рециркуляцию, происходит дополнительное потребление энергии и материалов (и затрат), которые могут быть достаточно большими, чтобы свести на нет преимущества от возможной рециркуляции. Такая оценка будет в значительной степени зависеть от деталей местных условий.

Важно, чтобы рециркуляция материалов внутри установки сопровождалась наличием дальнейшей реализации тех материалов, которые могут накапливаться. Накопление некоторых веществ (особенно Hg) может привести к накоплению и возможному проскоку и выбросу. Чтобы избежать этого, требуется правильная оценка и предоставление поглотителей для таких веществ.

В частности, эти технологии имеют тенденцию вызывать концентрацию загрязняющих веществ в потоке твердых отходов.

Эксплуатационные данные

Можно определить возможности для рециркуляции частично загрязненных потоков отходов для других целей в рамках установки путем оценки общих потоков и массовых обменов. Такие оценки иногда называют оценками потребности (Pinch Assessments) или сетями обмена материалами (Materials Exchange Networks). Такие инструменты, когда они применяются к системам очистки сточных вод, обеспечивают средства оценки возможности рециркуляции сточных вод с учетом требований к качеству входных данных для самих технологических блоков и общей цели системы по снижению выбросов.

Применимость

Технология, в целом, применима.

Экономические аспекты

Затраты возрастут, если потребуются предварительная очистка сточных вод.

Экономия может быть достигнута за счет снижения потребления воды и расходов на сброс.

Мотивы внедрения

- отсутствие выходного отверстия для слива воды;
- подача воды ограничена сухим климатом.

Примеры

Установка сжигания ТКО с нулевым разрядом: Azalys, Ouarville [74, TWG 2004].

Справочная литература

[64, TWG 2003], [72, El-Halwagi 1997], [74, TWG 2004]

4.6.5 Разделение потоков сточных вод и очистка в зависимости от содержания загрязняющих веществ

Описание

Потоки сточных вод (например, поверхностные стоки, охлаждающая вода, сточные воды от очистки дымовых газов и от очистки зольного остатка печи (ЗОП)) разделяются для очистки, исходя из содержания загрязняющих веществ и требуемой комбинации технологий очистки. Потоки незагрязненных сточных вод (например, чистая дождевая вода, охлаждающая вода) отделяются от потоков сточных вод, которые требуют очистки.

Техническое описание

Эта технология включает в себя разделение дренажных вод с чистой дождевой водой, чтобы они не смешивались с потоками, которые потенциально или фактически загрязнены.

Экологические преимущества

- Сокращение объема сточных вод, требующих очистки.
- Оставшаяся загрязненная фракция имеет более высокую концентрацию и поэтому может обрабатываться более эффективно.

Экологические показатели и эксплуатационные данные

Если мусоросжигательный завод расположен в жилом районе, имеющем только одну канализационную систему для загрязненных сточных вод и дождевой воды, отдельный сбор незагрязненных потоков имеет ограниченную выгоду, если только он не может быть соответствующим образом обработан для прямого сброса в окружающую среду. [74, TWG 2004]

Воздействие на различные компоненты окружающей среды

Не сообщалось.

Технические соображения, касающиеся применимости

Технология, в целом, применима к новым заводам.

Она применима к существующим установкам в пределах ограничений, связанных с конфигурацией систем сбора воды.

Экономические аспекты

Затраты на модернизацию могут быть значительными на существующих объектах, но технология может быть эффективно установлена на новых объектах.

Экономия может быть достигнута за счет снижения влагоемкости, необходимой на площадке.

Мотивы внедрения

В некоторых странах смешивание незагрязненной дождевой воды с другими стоками не

допускается.

Примеры

Технология применяется по всей Европе.

Справочная литература

[64, TWG 2003], [74, TWG 2004]

4.6.6 Применение физико-химической очистки сточных вод из системы мокрой очистки дымовых газов и других загрязненных потоков

Описание

Превращение растворенных загрязняющих веществ в нерастворимые соединения путем добавления химических осадителей. Осадки затем отделяют путем отстаивания, флотации или фильтрации. При необходимости за этим может следовать микрофильтрация или ультрафильтрация. Типичными химическими веществами, используемыми для осаждения металлов, являются известь, доломит, гидроксид натрия, карбонат натрия, сульфид натрия и органосульфиды. Соли кальция (кроме извести) используются для осаждения сульфата или фтора.

Техническое описание

Описание технологии приведено в разделе 2.6.3.1 (физико-химическая обработка в целом) и в разделе 2.6.3.2 (использование сульфидов).

В основном обеспечение системы очистки сточных вод для мокрых стоков, а также для сточных вод, собранных на заводе, считается необходимым. [64, TWG 2003], [74, TWG 2004]

Экологические преимущества

Снижение выбросов воды.

Экологические показатели и эксплуатационные данные

С применением сульфидов для увеличения осаждения тяжелых металлов из стоков мокрого скруббера можно достичь снижения содержания ртути на 99,9% в очищенных стоках. Могут быть достигнуты выбросы ртути в воду ниже 0,003 мг/л. Концентрации других веществ также уменьшаются.

Могут возникнуть проблемы с инкрустацией и засорением труб отстаиванием. [74, TWG 2004]

Воздействие на различные компоненты окружающей среды

Потребление энергии и сырья на очистных сооружениях.

Технические соображения, касающиеся применимости

Эта технология применима ко всем установкам сжигания с мокрой очисткой. Она также может быть применима к другим потокам сточных вод, которые требуют такой очистки до их сброса. [74, TWG 2004]

Экономические аспекты

Добавки и реагенты могут быть дорогостоящими. [74, TWG 2004]

Мотивы внедрения

Требования экологического законодательства.

Примеры

Широко применяется по всей Европе в установках с мокрой очисткой.

Справочная литература

[2, InfoMil 2002], [1, UBA 2001], [64, TWG 2003], [74, TWG 2004], [101, Sweden 2016]

4.6.7 Очистка сточной воды мокрых скрубберов, содержащей аммиак

Описание

Рассматриваемые технологии:

- Очистка: удаление аммиака из сточных вод путем контакта с потоком пара, чтобы перевести его в газовую фазу. Аммиак удаляется из десорбирующего газа при последующей обработке и может потенциально использоваться повторно.
- Обратный осмос: мембранный процесс, при котором разность давлений между отсеками, разделенными мембраной, заставляет воду течь из более концентрированного раствора в менее концентрированный.

Техническое описание

Технология описана в разделе 2.6.3.4.

Проскок аммиака может быть результатом использования аммиачных реагентов для снижения NO_x . Проскок выше, при высоких или плохо оптимизированных дозах реагента, и обычно выше в системах СНКВ чем СКВ. Аммиак хорошо растворим в воде и будет накапливаться в сточных водах мокрых скрубберов ниже по потоку. Используя очистку или обратный осмос, можно удалить аммиак из стоков мокрого скруббера. Аммиак, собранный таким образом, возвращается в печь, чтобы избежать переноса этого загрязнителя из воды в воздух и для возможности его повторного использования в качестве реагента для восстановления NO_x .

Экологические преимущества

- Снижение содержания аммиака в сбрасываемых сточных водах скруббера.
- Снижение потребления аммиака в случае его рециркуляции для повторного использования в качестве реагента для восстановления NO_x .

Экологические показатели и эксплуатационные данные

Эта технология применяется на установках сжигания отходов с мокрыми скрубберами ниже по потоку от впрыскиваемого реагента аммиака/мочевины для снижения NO_x . Эффективность борьбы с очисткой с загрязнением при нормальных условиях эксплуатации составляет около 99%. [101, Sweden 2016]

Технология особенно выгодна, если ниже по потоку от котла уровни проскока аммиака выше. Это происходит, когда:

- существуют особые технические трудности для оптимизации ввода/смешивания/температуры реагента СНКВ;
- уровни впрыска реагента относительно высоки (например, там, где требуется снижение уровня выбросов NO_x).

[74, TWG 2004]

Обращение с растворами аммиака требует осторожности, чтобы снизить риск опасного воздействия.

Воздействие на различные компоненты окружающей среды

Системы удаления аммиака требуют значительного дополнительного энергопотребления для их эксплуатации и возрастает риск загрязнения. [74, TWG 2004], [101, Sweden 2016]

Технические соображения, касающиеся применимости

Технология, в целом, применима.

Экономические аспекты

Эксплуатационные и капитальные затраты на очистку аммиака могут быть частично компенсированы снижением затрат на реагенты, когда восстановленный аммиак рециркулирует для впрыска реагента СНКВ.

Мотивы внедрения

Основной движущей силой этой технологии является ограничение уровня аммиака в стоках, сбрасываемых с площадки.

Примеры

SE02, SE03.

Справочная литература

[55, EIPPCB 2002], [64, TWG 2003], [74, TWG 2004], [101, Sweden 2016]

4.6.8 Удаление ртути с помощью ионного обмена**Описание**

Удаление ионных загрязнителей из сточных вод и их замена на экологически чистые ионы путем их переноса в ионообменную смолу. Загрязнители временно задерживаются, а затем сбрасываются в регенерационную или промывочную жидкость.

Техническое описание

Неочищенные кислоты и металлы с ионной связью в сточных водах первой кислотной ступени мокрого скруббера пропускаются через ртутный ионообменник. Ртуть отделяется в смоляном фильтре. Затем кислоту нейтрализуют с помощью известкового молока.

Экологические преимущества

Сверхнадежное удаление ртути.

Экологические показатели и эксплуатационные данные

В таблице 4.43 показаны экологические характеристики заводов, сжигающих неопасные отходы и использующих ионный обмен для сокращения выбросов ртути.

Таблица 4.43: Выбросы ртути в воду от заводов, использующих ионный обмен

Завод	Технология	Выбросы				
		Макс. (мг/л)	Средние (мг/л)	Мин. (мг/л)	Расход (кг/год)	Прямые/косвенные
AT04	A, CPs, IE Se, Fi, FI	NA	0.001	NA	0.044	Прямые
AT05	A, CPh, CPs, IE, C, Se, Fi FI	0.004	0.00175	0.001	0.318	Прямые
AT09	A, CPs, IE, Se, Fi, FI	NA	0.0006	NA	0.003	Косвенные
DE44	IE	NE	NE	NE	NE	Нет выбросов
DE54	IE	NE	NE	NE	NE	Нет выбросов
DE58	A, CPh, CPs, IE, Se, Fi	NE	NE	NE	NE	Нет выбросов
DE80	CPh, IE, Fi	0.001	0.0002	0.0001	0.009	Прямые
DK01	A, CPs, IE, Fi, FI	NA	0.00082	NA	0.04	Прямые
NO01	A, CPh, CPs, IE	0.0002	0.0001	0.00001	0.001	Прямые

Примечание:
 NA = недоступно; NE = нет выбросов в воду; A = адсорбция на активированном угле; C = коагуляция; CPh = химическое осаждение гидроксидом; CPs = химическое осаждение с помощью сульфидов; Fi = фильтрация; FI = флокуляция; IE = ионообмен; RO = обратный осмос; Se = седиментация.
 Источник: [81, TWG 2016]

Воздействие на различные компоненты окружающей среды

Смоляной фильтр потребует восстановления, что приведет к переносу ослабленной ртути.

Технические соображения, касающиеся применимости

Технология, в целом, применима.

Экономические аспекты

Сообщается, что в сравнении с альтернативами технология является затратной.

Мотивы внедрения

Информация не предоставлена.

Примеры

AT04, AT05, AT09, DE44, DE 54; DE58, DE80, DK01, NO01, SE20.

Справочная литература

[64, TWG 2003], [81, TWG 2016]

4.6.9 Раздельная очистка стоков, возникающих на разных стадиях мокрой очистки

Описание

Технология включает разделение и раздельную обработку потоков кислотного и щелочного мокрого скруббера, чтобы обеспечить улучшенную оптимизацию сточных вод и расширенные возможности для извлечения компонентов из сточных вод.

Техническое описание

Технология описана в разделе 2.6.3.5.

Экологические преимущества

- Выбросы в воду могут быть снижены больше, чем при комбинированной очистке.
- Оптимизация отдельных потоков снижает потребление реагентов и позволяет проводить целевую обработку.
- Из серных скрубберов может быть извлечен гипс (см. раздел 4.6.11); это уменьшает выбросы серы вместе со сточными водами и содержание серы в твердых остатках из установки очистки сточных вод (YOCB).
- HCl можно регенерировать из кислотных скрубберов первой ступени (см. раздел 4.6.10).

Экологические показатели и эксплуатационные данные

Существует дополнительная сложность из-за работы двух линий YOCB. Чем больше сложность, тем выше инвестиционные и эксплуатационные расходы и требуется больше площади.

Требуется выходное отверстие для извлеченных материалов, что может быть осложнено наличием примесей. [74, TWG 2004]. Например, могут возникнуть сложности с восстановлением HCl, поскольку HF может привести к появлению примесей.

Воздействие на различные компоненты окружающей среды

Энергопотребление.

Технические соображения, касающиеся применимости

Технология, в целом, применима к новым заводам, а также к существующим установкам в пределах ограничений, связанных с конфигурацией дренажной системы.

Экономические аспекты

Стоимость замены существующих комбинированных систем очистки, вероятно, будет очень высокой.

Эксплуатационные и капитальные затраты на вторую YOCB могут быть частично компенсированы снижением затрат на обращение, когда извлекаются гипс и соли, такие как NaCl или CaCl. [74, TWG 2004]

Мотивы внедрения

Существование рынков для восстановленных материалов может стимулировать внедрение этой системы.

Основная причина, как правило, заключается в применении особенно низких предельных значений сброса сточных вод, возможно, для защиты чувствительного водного объекта.

Примеры

AT03, AT04, AT08, AT09, DE30, DE40, DE43, DE51, DE58, DE62, DE74, DE78, DK01, DK02.

Справочная литература

[64, TWG 2003]

4.6.10 Извлечение соляной кислоты из стоков мокрого скруббера**Описание**

Соляная кислота извлекается из сточных вод, поступающих из скруббера первой ступени путем очистки.

Техническое описание

См. раздел 2.6.3.8 для описания этого процесса.

Экологические преимущества

- Восстановление HCl
- Сокращение твердых остатков.

Экологические показатели и эксплуатационные данные

Эта технология наиболее подходит для тех установок, которые сжигают большое количество хлорированных отходов. [74, TWG 2004]

При извлечении HCl продукт с концентрацией около 30% соляной кислоты получают из необработанной кислоты с концентрацией около 10%.

Данные по двум заводам в Германии приведены в таблице ниже.

Таблица 4.44: Количество HCl (30%), извлеченного на тонну отходов

Год	кг HCl, извлеченного на тонну отходов	
	DE47	DE48
2000	10	10
2001	-	12.5
2002	10.6	13
Источник: [64, TWG 2003] [74, TWG 2004]		

Очень важно, чтобы системы и материалы были подходящими, чтобы избежать/ограничить коррозию в системе восстановления.

Извлечение HCl уменьшает количество твердых солевых остатков, образующихся на установке, примерно на 50% [73, Rijpkema 2000].

Сообщалось, что эксплуатация одного завода была прекращена из-за трудностей, связанных с загрязнением HF извлеченной HCl.

Восстановленная соляная кислота может быть использована, например, для контроля pH.

Воздействие на различные компоненты окружающей среды

- Энергетические требования.
- Использование химических веществ в процессе восстановления.

Технические соображения, касающиеся применимости

Технология, в целом, применима.

Экономические аспекты

Необходимы значительные инвестиции; поэтому эти технологии применимы только в том случае, если имеется достаточное содержание хлора в дымовых газах. Расходы на техническое обслуживание и эксплуатацию также могут быть в значительной степени высокими из-за высоких коррозионных свойств восстанавливаемого материала. [74, TWG 2004]

Преимущества продуктов могут быть не такими значительными (существуют рыночные колебания), но затраты на удаление отходов снижаются. Анализ экологической эффективности показал, что эта технология является, при некоторых обстоятельствах, более экономичной в сравнении с другими.

Мотивы внедрения

- Восстановление сырьевого материала.
- Экономия на затратах на нейтрализацию.

Примеры

Установки сжигания опасных отходов с использованием ротационных печей (DE22, DE23) и установки сжигания твердых коммунальных отходов DE30.

Справочная литература

[64, TWG 2003], [132, Stultz et al. 1992]

4.6.11 Извлечение гипса из стоков мокрых скрубберов

Описание

Оптимизация качества остаточных продуктов реакций с участием кальция, образующихся в мокром скруббере, чтобы их можно было использовать в качестве заменителя гипса.

Техническое описание

Эта технология включает в себя отдельную очистку сточных вод от высокого pH (6–8), степень удаления диоксида серы в мокрых скрубберах; это может позволить получение товарного гипса.

В многоступенчатом мокром скруббере на более ранних стадиях пыль и HCl удаляются из дымовых газов. Затем дымовой газ поступает в очиститель SO₂, где SO₂ поглощается путем окисления до сульфата путем добавления известкового молока или суспензии известняка.

Образовавшуюся гипсовую суспензию удаляют и сгущают в гидроциклоне и направляют в контейнер. Затем гипсовую суспензию обезвоживают на центрифуге и очищают конденсатом для удаления оставшихся растворимых загрязнений. Дальнейшее центрифугирование проводят до остаточной влажности менее 10% масс. и, при необходимости, до тех пор, пока не станет возможным достичь белизны, необходимой для последующей реализации полученного гипса. [74, TWG 2004]

Экологические преимущества

- Извлечение гипса.
- Снижение содержания сульфатов в сбрасываемых сточных водах путем их удаления из сточных вод.
- При наличии рынка сбыта для восстановленного гипса, сокращается его утилизация как отдельно, так и вместе с другими отходами.
- Сокращение образования твердых остатков.
- При смешивании с гидроксидом и шламом с первой ступени очистки сточных вод, который очень трудно обезвожить, эффект обезвоживания этой смеси значительно улучшается – до 70% сухого вещества. [74, TWG 2004]

Экологические показатели и эксплуатационные данные

Данные двух заводов Германии (DE47 и DE48) приведены в таблице ниже.

Таблица 4.45: Количество извлеченного гипса на тонну обработанных отходов

Год	кг извлеченного гипса на тонну отходов	
	DE47	DE48
2000	3.5	1.7
2001		3.9
2002	3.5	3.3
Источник: [64, TWG 2003]		

Воздействие на различные компоненты окружающей среды

Расход энергии и материалов на очистные/восстановительные установки.

Технические соображения, касающиеся применимости

Технология, в целом, применима в рамках ограничений, связанных с требуемым качеством гипса.

Экономические аспекты

Необходимы значительные инвестиции; поэтому эти технологии применимы только при наличии достаточного содержания серы в дымовых газах.

Экономические выгоды от продукции могут быть ограничены (из-за рыночных колебаний), но затраты на удаление отходов снижаются. Анализ экологической эффективности показал, что эти установки экономичны по сравнению с другими технологиями. [64, TWG 2003]

Мотивы внедрения

Наличие рынка сбыта для извлеченного материала.

Примеры

AT03, AT04, AT08, AT09, DE30, DE40, DE43, DE51, DE58, DE62, DE74, DE78, DK01, DK02.

Справочная литература

[1, UBA 2001], [64, TWG 2003]

4.6.12 Кристаллизация**Описание**

Удаление ионных загрязнителей из сточных вод путем их кристаллизации на затравочном материале, таком как песок или минералы, в ходе процессов в кипящем слое.

Техническое описание

Устройство кристаллизации состоит в основном из:

- цилиндрического реактора с нижним и верхним стоком;
- затравочного материала, то есть гранул отфильтрованного песка или минералов, находящихся в состоянии псевдооживленного слоя;
- системы циркуляции с рециркуляционным насосом.

Принцип циркуляции состоит в том, чтобы смешивать потоки воды и металла. Благодаря циркуляционной системе реактор может работать более гибко, например:

- колебания входящего потока и состава легко устраняются;
- все виды сточных вод с концентрациями в диапазоне 10–100 000 ppm можно очищать, просто изменяя коэффициент циркуляции (более высококонцентрированные сточные воды требуют большего коэффициента циркуляции);
- также происходит псевдооживление гранул, если в реактор не поступают сточные воды.

Экологические преимущества

Сокращение металлов и металлоидов, сульфатов (SO_4^{2-}) и фторидов (F^-) в сбросах сточных вод.

Экологические показатели и эксплуатационные данные

Кристаллизация была испытана на трех мусоросжигательных заводах в Дании (Karanoveren, полномасштабная установка, 2006 год (полномасштабная временная установка, 2004 год); Esbjerg, полномасштабная установка, 2010 год; RenoNord, полномасштабное экспериментальное испытание, 2008 год), для дальнейшего сокращения концентрации металлов после стадии химического осаждения. [103, Denmark 2016]

Обрабатываемая вода вводится в реактор через форсунку на дне. Химические вещества также вводятся в нижней части реактора. Внутри реактора гранулированный продукт сохраняется в псевдооживленном состоянии с помощью потока обрабатываемой воды и оборотной воды (см. рис. 4.10). Железо или марганец адсорбируется на поверхности гранулята и вместе с окислителями

превращается в строительный материал гранюлята (FeOOH или MnO_2). В то же время растворимые металлы удаляются из воды и включаются в поверхностный слой FeOOH или MnO_2 . Описанный процесс был протестирован на удалении катионов Al, Ba, Cd, Co, Cr(III), Cu, Hg, Ni, Pb, Ra и Zn, а также анионообразующих металлоидов As, Cr^{VI} , Mo, Sb, Se(IV), U и V. В частности, анионообразующие металлоиды часто трудно удалить обычным осаждением без образования большого количества осадка. [103, Denmark 2016]

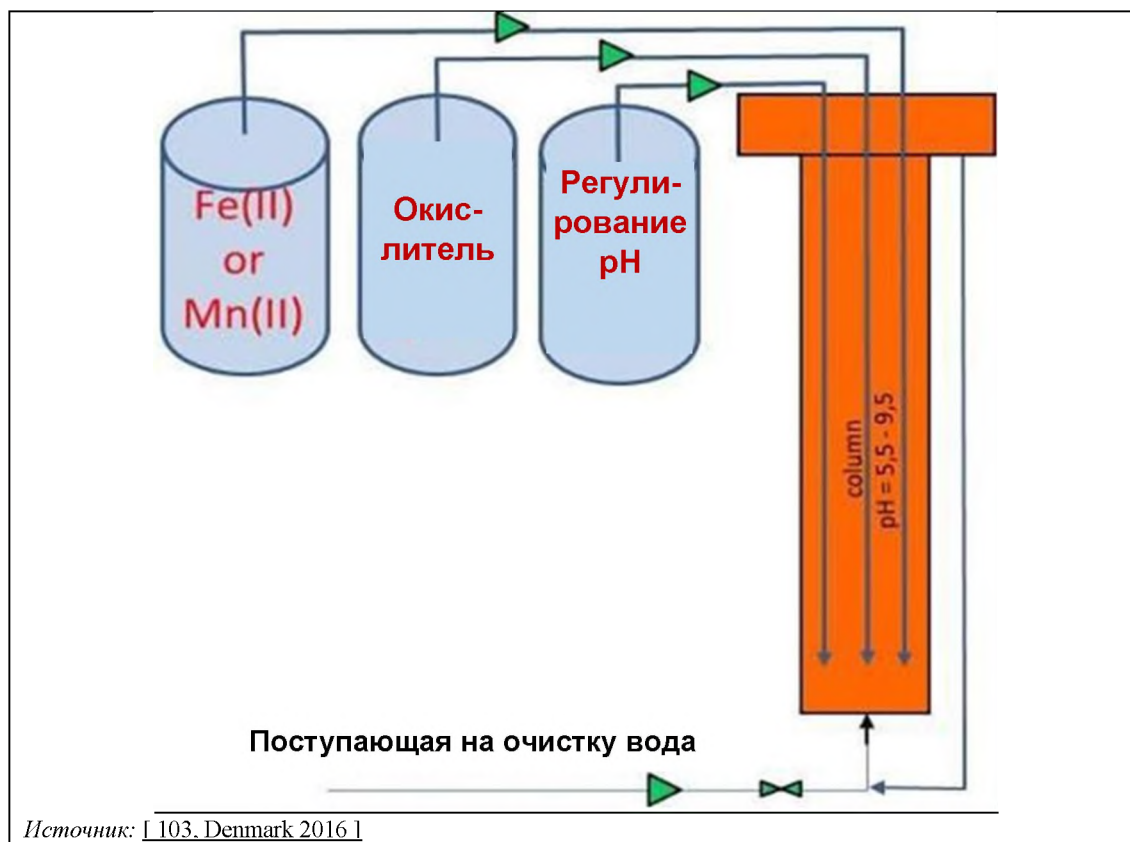


Рисунок 4.10: Схема кристаллизации, применяемая на трех мусоросжигательных заводах в Дании

В приведенной ниже таблице 4.46 показаны результаты периода испытаний (апрель-август 2013 года) на мусоросжигательном заводе в Эсбørге в Дании (объединение муниципалитетов Ютландии L90), проведенного для удаления сурьмы и молибдена, которые нельзя было удалить на стадии химического осаждения.

Таблица 4.46: Результаты периода испытаний, проведенных для удаления Mo и Sb на мусоросжигательной установке в Эсбørге в Дании

Дата выборки	Расход (м³/ч)	Неочищенная вода		Используемые реагенты		Очищенные сточные воды			Скорость захвата	
		Mo	Sb	FeSO ₄	H ₂ O ₂	pH	Mo	Sb	Mo	Sb
		(мкг/л)	(мкг/л)	мг/л	мг/л		(мкг/л)	(мкг/л)	%	%
24/04/13	2.38	230.00	170.00	236	484	6.29	7.40	7.60	96.78	95.53
29/04/13	2.09	78.00	160.00	234	484	6.31	7.70	12.00	90.13	92.50
01/05/13	2.02	74.00	230.00	230	508	6.30	6.00	12.00	91.89	94.78
17/06/13	3.10	77.00	100.00	170	491	6.33	19.00	37.00	75.32	63.00
19/06/13	2.58	90.00	110.00	185	497	6.30	7.00	23.00	92.22	79.09
24/06/13	2.57	110.00	88.00	179	461	6.31	8.30	15.00	92.45	82.95
26/06/13	2.80	110.00	77.00	180	461	6.31	14.00	15.00	87.27	80.52
15/08/13	2.77	160.00	220.00	102	1185	6.46	25.00	16.00	84.38	92.73

Источник: [103, Denmark 2016]

Кристаллизация дает твердый остаток в виде песчаного гранюлята. Поверхность этого гранюлята

состоит из FeOОН или MnO₂ плюс металлы, удаленные из воды. Содержание металлов обычно составляет от 1% до 8% от общего веса сухого гранулята. Во время работы установки гранулят выпускается из нижней части реактора, приблизительно на 50% от общего объема псевдооживленного слоя или приблизительно на 10–20 л/неделю при производительности 1 м³/ч. Гранулят легко сливается. Испытания, проведенные с этим твердым остатком, показали, что он может быть классифицирован как неопасный отход. [103, Denmark 2016]

Воздействие на различные компоненты окружающей среды

- Потребление энергии.
- Обработка и обращение с остатками.

Технические соображения, касающиеся применимости

Технология, в целом, применима.

Экономические аспекты

Стоимость инвестиций составляет от 0,2 до 2 миллионов евро в зависимости от размера/мощности. Эксплуатационные расходы зависят от концентрации и типа удаляемых металлов. Они варьируются от 0,01 до 2 евро за м³ очищенных сточных вод [103, Denmark 2016].

Мотивы внедрения

Требования экологического законодательства.

Примеры

DE63, DE66, DK02, FR017.

Справочная литература

[85, COM 2014], [103, Denmark 2016]

4.7 Технологии очистки твердых остатков

Варианты извлечения и повторного использования твердых остатков зависят от:

- содержания органических соединений;
- общего содержания тяжелых металлов, выщелачиваемости металлов, солей и тяжелых металлов;
- физических характеристик, например, размера частиц и прочности.

Кроме того, рыночные факторы, нормативные-правовые акты, касающиеся их использования, а также конкретные местные экологические проблемы, сильно влияют на возможную степень извлечения остатков. Были предприняты значительные усилия для улучшения экологического качества остатков и для рециркуляции или повторного использования, по крайней мере, части конкретных потоков остатков. Применяются как внутрипроцессные, так и последующие технологии обработки. Внутрипроцессные меры включают изменение параметров сжигания, чтобы улучшить выгорание или повысить распределение металла по различным остаткам. Технологии обработки ниже по потоку включают в себя: старение, механическую обработку, промывание, тепловую обработку и стабилизацию. Различные технологии рассматриваются ниже.

Существует ряд принципов, которые необходимо учитывать при оценке преимуществ, а также препятствий при выборе определенной технологии очистки:

- Приводит ли технология к значительному улучшению качества?
- Влияет ли технология на здоровье, безопасность или окружающую среду?
- Есть ли вторичные остатки и на каком этапе их образование заканчивается?
- Есть ли конечный продукт высокого качества?
- Существует ли долгосрочный рынок сбыта для этого продукта?
- Какова стоимость технологии?

В тех случаях, когда законодательство требует, чтобы определенные остатки подвергались захоронению, стимулирующие факторы для внедрения технологий, которые могли бы улучшить качество и переработку отходов, были бы незначительными. [64, TWG 2003]

На рисунке 4.11 представлены некоторые варианты механической обработки зольного остатка. Комбинация используемых вариантов зависит от состава подаваемых отходов и конечного использования обработанной золы.



Рисунок 4.11: Схема примера процесса обработки зольного остатка с некоторыми этапами механического разделения, используемыми для очистки зольного остатка

4.7.1 Отделение зольного остатка от остатков очистки дымовых газов

Описание

Зольный остаток очищается и перерабатывается отдельно от других остатков, образующихся при сжигании отходов.

Техническое описание

Физические и химические свойства зольного остатка делают его более пригодным для выгодного использования, чем остатки ОДГ. Смешивание остатков ОДГ с зольным остатком ограничит возможности для последующего использования зольного остатка, поэтому этого следует избегать.

Остатки ОДГ содержат больше металлов, с более высокой выщелачиваемостью и больше органических веществ, чем зольный остаток. Смешивание остатков ОДГ с зольным остатком снизит экологическое качество зольного остатка, поэтому этого следует избегать.

Отделение остатка ОДГ от зольного остатка дает возможность дальнейшей обработки зольного остатка (например, сухой обработкой или вымыванием водорастворимых солей, тяжелых металлов в экстракторе золы) с получением материала, подходящего для предполагаемого использования.

Разделение зольного остатка и остатков ОДГ требует отдельного сбора, хранения и транспортировки обоих потоков остатков. Это включает в себя специальные хранилища и контейнеры, а также специальные системы обработки для тонкоизмельченных и пылевидных остатков ОДГ.

Смешанный поток зольного остатка и остатков ОДГ не может быть переработан в материал, пригодный для извлечения, и не оставляет другого варианта для всего потока остатков, кроме как его захоронение [74, TWG 2004] или использование в подземных применениях, например при засыпке горной разработки.

Экологические преимущества

Сокращение использования натурального сырья, такого как песок и гравий, при извлечении зольного остатка после очистки для использования в качестве замещающего материала. [74, TWG 2004]

Экологические показатели и эксплуатационные данные

Требуются отдельные системы транспортировки, хранения и обработки.

Воздействие на различные компоненты окружающей среды

Не сообщалось.

Технические соображения, касающиеся применимости

Технология, в целом, применима.

Экономические аспекты

Снижение затрат может быть достигнуто при наличии рынков сбыта зольного остатка.

Зольный остаток, как правило, составляет 20–30% по сухой массе на входе отходов, а остатки ОДГ составляют около 2–3%. Смешивание двух потоков означает отправку всего этого материала на захоронение, в то время как их раздельное хранение может позволить повторное использование большей части зольного остатка (фракции металлов и минералов), таким образом обеспечивая дополнительные потоки доходов и снижая затраты на захоронение.

Мотивы внедрения

- Возросшие возможности для повторного использования зольного остатка и возможное снижение затрат.
- Требования природоохранного законодательства.

Примеры

Технология применяется на мусоросжигательных заводах по всей Европе.

Справочная литература
[64, TWG 2003]

4.7.2 Скрининг/просеивание и измельчение зольного остатка

Описание

Технологии механической обработки, предназначенные для подготовки материалов для последующего использования, например, в качестве грунтового материала в строительстве или в качестве наполнителя в дорожных работах.

Техническое описание

Технологии механической обработки зольного остатка предназначены для подготовки материалов для строительства дорог и земляных работ, которые обладают удовлетворительными геотехническими характеристиками и не наносят ущерба дорожным работам. Технологии обработки, которые могут быть применены:

- ручная сортировка,
- гранулометрическое разделение путем скрининга/просеивания;
- уменьшение размера путем измельчения;
- удаление несгоревших фракций низкой плотности путем воздушной сепарации.

Ручная сортировка используется для удаления крупных компонентов (например, цветных металлов, нержавеющей стали и необожженных предметов) из зольного остатка перед любой последующей обработкой.

Ручная сортировка обычно требует, чтобы работники стояли вдоль медленно движущейся конвейерной ленты, извлекая материал для сортировки. [82, Germany 2014]

Встречаются несколько типов фильтрующих решеток (сит):

- барабанные сита;
- плоские сита (вибрирующие или нет);
- первичные вибрационные решетки;
- решетки с декой звездообразного типа: скрининг достигается путем перемещения по ряду роликов, оснащенных звездообразными рычагами на каждой оси.

Первичные сита, используемые для приготовления заполнителя зольного остатка, обычно имеют сетку диаметром 40 мм и производят материал заполнителя размером 0–40 мм.

Половина установок оборудована дробилкой для дробления больших кусков, которая обычно располагается после первичного вибрационного сита. Преимущества использования дробилки:

- уменьшает количество тяжелых отходов;
- увеличивает долю грубого дробленого материала в материале, который служит основой для агрегата; а также
- улучшает его геотехнические качества.

Воздушная сепарация достигается продувкой или аспирацией. Воздушная сепарация использует различия в плотности, размере и форме частиц для сортировки смешанных материалов. Эти характеристики часто перекрывают друг друга и подразумевают, что исходное сырье должно быть подготовлено таким образом, чтобы параметр его разделения был достаточно четким. Кроме того, для эффективной сепарации необходим узкий диапазон размеров частиц. Использование воздушной сепарации также помогает улучшить минеральную фракцию. [82, Germany 2014]

Экологические преимущества

Основным экологическим преимуществом применения механической обработки является уменьшение объема отходов и, следовательно, более высокая общая степень извлечения при подготовке материалов для их извлечения и последующего использования.

Экологические показатели и эксплуатационные данные

Информация не предоставлена.

Воздействие на различные компоненты окружающей среды

- Потребление энергии
- Шум и пыль.

Технические соображения, касающиеся применимости

Технология, в целом, применима при условии, что существует рынок для обработанной зольного остатка.

Экономические аспекты

Экономическая эффективность установки системы для устранения тяжелых отходов зависит от количества отходов и затрат на обращение.

Мотивы внедрения

Основными причинами для реализации технологии являются экономические и нормативные аспекты.

Примеры

См. таблицу 3.24.

Справочная литература

[133, ADEME 2002]. [64, TWG 2003]

4.7.3 Отделение металлов от зольного остатка**Описание**

Черные металлы удаляются с помощью магнитной сепарации, а цветные металлы удаляются с помощью вихретоковой сепарации.

Также иногда используется целнометаллическая индукционная сепарация.

Техническое описание

Из зольного остатка могут быть извлечены как черные, так и цветные металлы.

Отделение черных металлов осуществляется с помощью магнита. Пепел распространяется по движущейся ленте или вибрирующему конвейеру, а все магнитные частицы притягиваются подвесным магнитом. Это разделение черных металлов может быть выполнено на неочищенной золе после того, как она покинет зольную камеру. Эффективное разделение черных металлов требует многоступенчатой обработки с промежуточным уменьшением размера и просеиванием.

Отделение цветных металлов осуществляется с помощью вихретокового сепаратора. Быстро вращающаяся катушка индуцирует магнитное поле в частицах цветных металлов, которое вызывает их выброс из потока материала. Технология требует, чтобы материал был хорошо распределен по движущейся ленте, и, как правило, эффективна для частиц размером 4–30 мм, хотя этот диапазон можно расширить до <1 мм для специальных применений. Разделение производится после сегрегации черных металлов, уменьшения размера частиц и сортировки.

Целнометаллические сепараторы обычно обнаруживают металлические частицы по помехам, которые они вызывают в переменном магнитном поле катушки обнаружения. Частицы металла затем разделяются одной или несколькими воздушными струями, расположенными рядом с катушками обнаружения. Для получения дополнительной информации см. Справочный документ по НДТ переработки отходов.

Более крупные фрагменты как черных, так и цветных металлов могут быть удалены путем ручной сортировки перед дальнейшей обработкой.

Экологические преимущества

Разделение металлов является необходимой ступенью, позволяющей перерабатывать различные

зольные соединения. Фракция железа может быть рециркулирована, как правило, после отделения примесей (например, пыли) в виде стального лома для электродуговых печей.

Цветные металлы обрабатываются путем дальнейшего разделения в соответствии с типом металла, а затем могут быть расплавлены для повторного использования. После отделения металла полученная фракция золы имеет более низкое содержание металла и больше подходит для обработки с получением инертного вторичного конструкционного материала.

Экологические показатели и эксплуатационные данные

Количество извлеченных металлов зависит от состава загружаемых отходов. Для черных металлов возможна степень извлечения приблизительно 80% (масса извлеченного металла/масса введенного металла). [134, EdDE 2015]

Для цветных металлов использование разделения на вихревые токи после уменьшения размера и просеивания обеспечивает степень извлечения 50% (извлеченная масса/масса ввода). Фактическое значение зависит от металла и условий эксплуатации печи. Цветные металлы, такие как свинец и цинк, содержатся в котельной золе и остатках очистки дымовых газов. Алюминий, медь, хром и никель преимущественно остаются в зольном остатке. Окисление этих металлов (например, Al до Al_2O_3) во время горения будет препятствовать эффективному разделению вихретоковыми сепараторами. Отделенная фракция цветных металлов имеет следующий состав: 60% Al, 25% других металлов, 15% остатка. Другие металлы – в основном медь, латунь, цинк и нержавеющая сталь. [39, Vrancken 2001]

Характеристики вторичной золы, подлежащей переработке, могут включать общее содержание металлов. Наиболее проблемными металлами с точки зрения выщелачивания из зольного остатка являются медь, молибден, цинк и шестивалентный хром.

Воздействие на различные компоненты окружающей среды

Увеличенное энергопотребление.

Технические соображения, касающиеся применимости

Магнитное разделение черных металлов в целом применимо.

Применимость разделения цветных металлов может быть ограничена из-за недостатка площади или низкой пропускной способности. Технология может быть реализована за пределами площадки на специальной установке по переработке золы.

Применимость технологии тесно связана с содержанием металла в отходах, поступающих в печь. Это, в свою очередь, в значительной степени зависит от режима сбора и предварительной обработки, которой подвергались отходы перед подачей в печь. Например, районы с обширными и хорошо работающими схемами разделения для коммунальных отходов могут удалять значительные количества металлов из загрузки печи, делая извлечение металлов из зольного остатка менее финансово жизнеспособным. Предварительная обработка ТКО для получения RDF-топлива будет иметь аналогичный эффект.

На некоторых заводах по переработке опасных отходов измельченные барабаны удаляются с помощью магнитов перед сжиганием.

Экономические аспекты

Металлические фракции могут быть проданы агентам по продаже скрапа. Цены зависят от чистоты (черные) и состава (цветные) материала.

Рыночная цена на лом черных металлов, как правило, находится в диапазоне 0,01–0,05 евро за кг.

Цветной лом нуждается в дальнейшей переработке в преметаллические фракции. Цены на лом цветных металлов зависят от количества примесей (т.е. количества необходимой последующей обработки) и состава (то есть цены на конечные продукты). Содержание меди и алюминия и рыночная цена вторичной меди и алюминия являются основными определяющими факторами. Цена на цветную фракцию при обработке зольного остатка ТКО находится в диапазоне 0,10–1,00 евро за кг. [39, Vrancken 2001], [7, TWG 2017] –Fead

Мотивы внедрения

Мотивами внедрения являются экономические:

- Доход за различные полученные фракции.
- После отделения металла полученная зольная фракция имеет более низкое содержание металла и больше подходит для обработки, чтобы получить соответственно инертный вторичный строительный материал. Например, остаточные цветные металлы могут вызвать повреждение при повторном использовании донной золы в дорожных работах из-за разбухания.

Примеры

Отделение черных металлов выполняется на большинстве европейских мусоросжигательных заводов, либо на месте, либо на внешних установках по переработке золы. [74, TWG 2004]

Отделение цветных металлов проводится на различных очистных сооружениях в Нидерландах, Германии, Франции и Бельгии.

Справочная литература

[39, Vrancken 2001], [4, IAWG 1997], [64, TWG 2003], [74, TWG 2004]

4.7.4 Обработка зольного остатка с использованием старения

Описание

После отделения металла зольный остаток от сжигания неопасных отходов хранится на открытом воздухе или в специальных зданиях для снижения как остаточной реакционной способности, так и выщелачиваемости металлов. Запасы увлажняют и регулярно переворачивают для выщелачивания солей и карбонизации. Основным реагентом является CO_2 из воздуха и вода от влажности, дождя или разбрызгивания воды.

Техническое описание

Карбонизация (реакция между CO_2 и гидроксидами в зольном остатке щелочи) является одной из ключевых реакций старения зольного остатка. Следовательно, целью старения является снижение остаточной реакционной способности и улучшение технических свойств. Выщелачивание зольного остатка уменьшается после старения, особенно выщелачивание металлов, таких как Cu, Cr, Pb и Zn. [89, COM 2015]

Хранение обычно осуществляется в складских помещениях на бетонном или другом непроницаемом полу. При необходимости запасы могут быть увлажнены с помощью спринклерной или шланговой системы, чтобы предотвратить образование пыли и ее выбросы, а также способствовать выщелачиванию солей и карбонизации, если зольный остаток недостаточно влажный. Вода для выщелачивания и слива собирается и отправляется на станцию очистки сточных вод или используется для увлажнения запасов, если качество выщелачивания является подходящим.

Складские запасы можно регулярно переворачивать, чтобы обеспечить однородность процессов, происходящих в процессе старения (поглощение CO_2 из воздуха из-за влаги, отвод избытка воды, окисление и т.д.) и для сокращения времени пребывания каждой партии зольного остатка в специализированных помещениях.

На практике обычно наблюдается (или предписывается) период старения от 6 до 20 недель для обработанного зольного остатка перед использованием в качестве строительного материала или, в некоторых случаях, перед захоронением [74, TWG 2004]. Время, необходимое для процесса старения, варьируется в зависимости от таких факторов, как размер запаса, температура окружающей среды, начальное содержание влаги и просачивание дождевой воды.

В некоторых случаях весь процесс выполняется внутри закрытого здания. Это сокращает образование пыли, запаха, шума (от машин и транспортных средств) и помогает контролировать выщелачивание. В других случаях процесс полностью или частично выполняется на открытом воздухе. Как правило, это дает больше площади для легкой обработки зольного остатка и может обеспечить лучшую циркуляцию воздуха для старения зольного остатка [64, TWG 2003] и избежать выделения взрывоопасного водорода в сочетании с алюминием в процессе старения.

[74. TWG 2004] Алюминий в зольном остатке будет реагировать с $\text{Ca}(\text{OH})_2$ и водой с образованием гидроксида алюминия и газообразного водорода, вызывая увеличение объема и набухание материала, что может вызвать технические проблемы при использовании только что полученного зольного остатка в строительстве без предварительного процесса старения.

Экологические преимущества

Повышение эффективности использования ресурсов, когда зольный остаток замещает сырье.

Экологические показатели и эксплуатационные данные

Влияние старения на выщелачивание можно классифицировать как:

- снижение pH за счет поглощения CO_2 из воздуха или биологической активности;
- создание бескислородных, восстановительных условий из-за биохимического разложения остаточного органического вещества или выделения водорода;
- когезия частиц и другие изменения в минеральных фазах из-за гидратации

[4. IAWG 1997]

Все эти эффекты снижают выщелачиваемость металлов и вызывают стабилизацию зольного остатка. Это делает зольный остаток более подходящим для извлечения или обращения (захоронения). [74. TWG 2004]

Данные из программы испытаний на полномасштабной немецкой мусоросжигательной установке иллюстрируют влияние 12-недельного выдерживания на pH зольного остатка и на результаты испытаний, полученных методом DEV S4. Левая часть рисунка 4.12 демонстрирует, что pH только что полученной зольного остатка в тесте DEV S4 обычно превышает 12 и падает примерно на две единицы в процессе старения.

Как видно на рисунке 4.12 справа, это изменение pH не влияет на выщелачивающие свойства молибдена, который присутствует в основном в виде молибдата. Стабильность выщелачивания меди и цинка в состаренном материале умеренно улучшается, тогда как выщелачивание свинца уменьшается почти на два порядка.

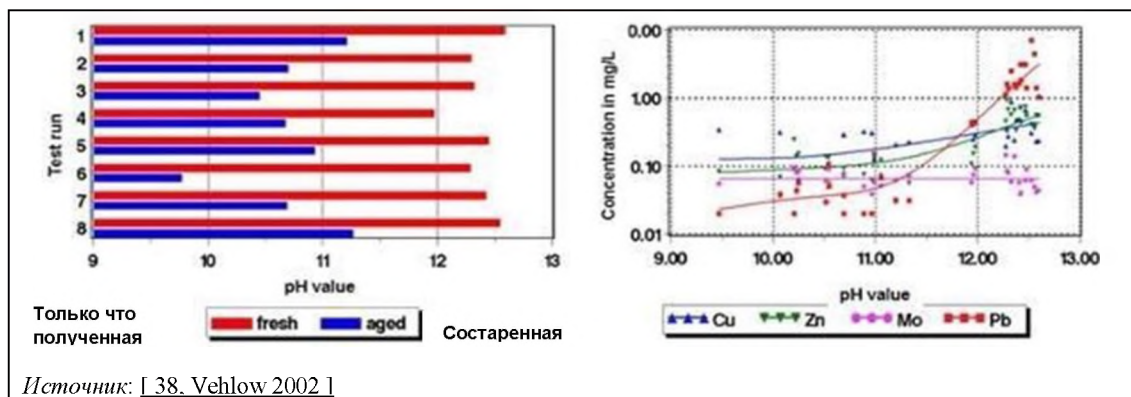


Рисунок 4.12: Влияние старения на выщелачиваемость отдельных металлов: (слева) влияние на pH; (справа) выщелачивание как функция pH

Французское бюро горных работ в течение 18 месяцев провело исследование старения (и его влияния на выщелачивание) 400-тонного запаса зольного остатка и пришло к выводам, аналогичным этому немецкому исследованию. [64. TWG 2003]

Если более длительные периоды старения (например, > 20 недель) используются для зольного остатка, не содержащего черных металлов, без превращения, состаренный зольный остаток будет затвердевать все больше. [74. TWG 2004]

Воздействие на различные компоненты окружающей среды

- Сточные воды от дождя или распыления могут содержать соли или металлы и требуют очистки. Вода может быть рециркулирована или использована в мусоросжигательной установке в качестве технической воды.

- Может потребоваться контроль запаха и пылеулавливание.
- В некоторых местах могут быть проблемы с шумом транспортных средств и машин.
- Могут потребоваться противовзрывные устройства на внутренних установках старения. [74, TWG 2004]

Технические соображения, касающиеся применимости

Технология, в целом, применима.

Экономические аспекты

Стоимость старения низкая по сравнению с остальной частью очистной установки. [74, TWG 2004]

Экономия на расходах на обращение с отходами. [74, TWG 2004]

Мотивы внедрения

Законодательство, предусматривающее предельные значения выщелачивания для утилизации зольного остатка в качестве вторичного сырья или для захоронения отходов. [74, TWG 2004]

Примеры

Различные очистные сооружения в Нидерландах, Германии, Франции и Бельгии.

Справочная литература

[38, Vehlouw 2002], [4, IAWG 1997], [64, TWG 2003]

4.7.5 Обработка зольного остатка с использованием систем сухой обработки

Описание

Сухая обработка зольного остатка сочетает в себе технологии отделения металла, уменьшения размера и скрининга, и может сочетаться со старением обработанного зольного остатка. Продукт представляет собой сухой наполнитель с контролируемым размером частиц (например, 0–4 мм, 0–10 мм, 4–10 мм), который может использоваться в качестве вторичного строительного материала.

Техническое описание

Процесс состоит из:

- дробления крупной фракции;
 - просеивания;
 - разделения черных металлов;
 - разделения цветных металлов;
 - старения.
- [74, TWG 2004]

Экологические преимущества

Технология позволяет получить сухой наполнитель, который можно использовать в качестве вторичного строительного материала, и фракции металлического лома, которые можно продать для повторного использования, тем самым уменьшая количество остатков, отправляемых на захоронение.

Экологические показатели и эксплуатационные данные

Данные по качеству зольного остатка после обработки указаны в таблицах ниже для установки с использованием следующих этапов процесса:

- необработанный зольный остаток хранится в сухом хранилище в течение 4–6 недель;
- предварительное просеивание частиц > 150 мм;
- удаление черных металлов из фракции < 150 мм;
- дальнейшее разделение на сите (< 22 мм, 22–32 мм, > 32 мм);
- фракция < 22 мм продается на рынке в качестве заменителя песка;
- фракция > 32 мм отправляется на ручную сортировку и сепараторы для удаления не сжигаемых

- и черных фракций, дробления и рециркуляции;
- фракция 22–32 мм подвергается воздушной сепарации легких фракций и удалению черных металлов;
- отделенные металлические фракции подвергаются просеиванию, очистке и хранению перед тем, как снова полностью пройти процесс отдельно от шлака.

Таблица 4.47: Данные о концентрации зольного остатка на выходе, приведенные для примера установки для обработки золы

	Содержание зольного остатка на выходе (мг/кг)
As	150
Cd	10
Cr	600
Cu	600
Pb	1 000
Ni	600
Zn	1
Hg	0.01
Источник: [64, TWG 2003]	

Таблица 4.48: Данные элюата зольного остатка, приведенные для примера обработки зольного остатка

	Выходные данные элюата зольного остатка (мкг/л)
As	-
Cd	5
Cr	200
Cu	300
Pb	50
Ni	40
Zn	300
Hg	1
Источник: [64, TWG 2003]	

Другим примером процесса обработки ЗОП является следующий (выполняемый датским заводом):

- сортировка ЗОП для получения фракций двух размеров: больше и меньше 50 мм;
- удаление черных металлов с помощью магнита;
- удаление цветных металлов с помощью вихретокового сепаратора;
- остаток > 50 мм сортируется и измельчается вручную;
- горючий материал возвращается в мусоросжигательный завод в качестве сырья.

Производительность установки составляет 80 тонн золы в час (эквивалентно 350 тоннам сжигаемых отходов в час). Завод использует дизельное топливо в качестве источника энергии, потребляя 0,3 л на тонну переработанного зольного остатка (эквивалентно 0,05 л на тонну сожженных отходов). Завод восстанавливает 90% масс. металлов, присутствующих в зольном остатке, что составляет 8% масс. обработанного зольного остатка. [104, Denmark 2015]

Воздействие на различные компоненты окружающей среды

Выбросы пыли и шумовое воздействие.

Технические соображения, касающиеся применимости

Технология, в целом, применима.

Экономические аспекты

Для экономической эффективности требуется минимальная пропускная способность. Для небольших мусоросжигательных заводов может использоваться внешняя (централизованная)

обработка зольного остатка.

Основное преимущество заключается в избегании затрат на обращение; кроме того, экономичность операции по обработке зольного остатка зависит от рыночной цены произведенных фракций. Обработанный зольный остаток, как правило, будет продаваться, включая транспортировку, по нулевой цене. Выручка создается за счет качества фракций цветных и черных металлов. Цветные металлы, такие как медь и алюминий, являются продуктами с самой высокой рыночной стоимостью. Количество и чистота произведенных цветных металлов являются важными факторами в общей экономике установки.

Данные с УСТКО в Швеции с использованием различных стадий сухой обработки золы и старения

- Налог на захоронение золы составляет примерно 40 евро/т.
- Камень и гравий, которые отделяются на более ранних этапах процесса обработки, имеют коммерческую ценность около 6 евро/т.
- Коммерческая стоимость обработанного остатка зольного остатка в качестве строительного материала составляет около 2,5 евро/т.

Мотивы внедрения

Законодательство о переработке отходов как вторичного сырья.

Типовые установки

Несколько площадок в Дании, Нидерландах, Германии, Бельгии и Франции.

Справочная литература

[4, IAWG 1997], [39, Vrancken 2001], [64, TWG 2003], [104, Denmark 2015]

4.7.6. Обработка зольного остатка с использованием систем мокрой очистки

Описание

Использование системы мокрой очистки зольного остатка позволяет получать материал для переработки с существенно сниженной выщелачиваемостью металлов и анионов (например, солей). Зола от сжигания обрабатывается путем уменьшения размера, просеивания, промывки и отделения металла. Главной особенностью обработки является мокрое разделение фракции 0–2 мм.

Техническое описание

Мокрая очистка зольного остатка направлена на удаление металлов с целью уменьшения как содержания металлов, так и их выщелачивания. Другими важными составляющими являются растворимые соли, в основном щелочные и щелочно-земельные хлориды и сульфаты. Приблизительно 50% содержания хлоридов можно уменьшить путем промыва золы.

Обычно система мокрой обработки состоит из сухой стадии, где зольный остаток, образующаяся при сжигании отходов, обрабатывается для удаления крупных черных металлов и измельчается в сухом виде до размера, необходимого для мокрого процесса.

После этого первого этапа ЗОП промывают и разделяют водой на различные фракции с помощью вращающегося барабана или сита. Отделенная легкая часть, в основном сформированная из негоревших материалов, пластика и бумаги, как правило, возвращается в процесс сжигания.

Гранулированная фракция обрабатывается для удаления черных и цветных металлов, а оставшаяся промытая минеральная часть может быть извлечена.

Мелкая фракция содержит большую часть загрязнений и захороняется.

Пример процесса мокрой обработки зольного остатка показан на рисунке 4.13.

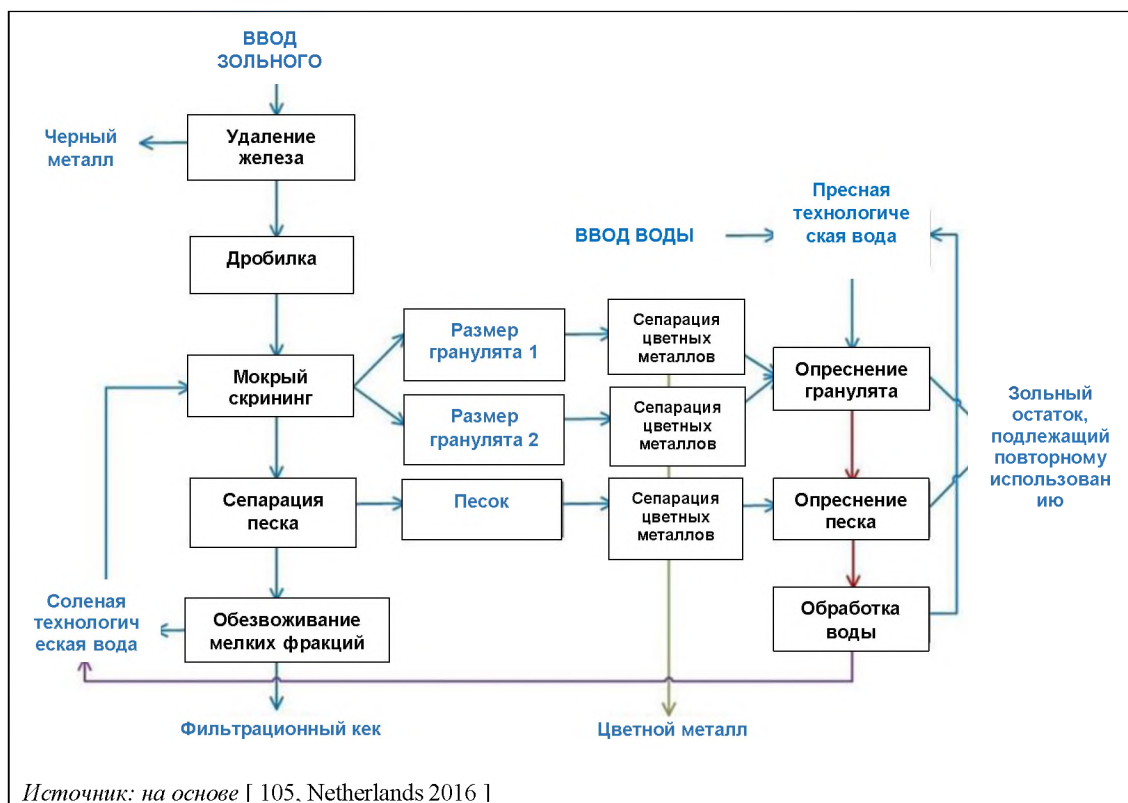


Рисунок 4.13: Схема системы мокрой обработки зольного остатка

Экологические преимущества

Технология производит материал, который подходит для использования и уменьшает количество отходов для обращения.

Экологические показатели и эксплуатационные данные

Относительный выход различных фракций зависит от состава отходов. Эксплуатационные данные с работающей установки приведены в таблице 4.49.

Таблица 4.49: Относительный выход различных выходных фракций мокрой обработки зольного остатка

Тип остатка	% масс. (выход/ввод зольного остатка)
Остаток для обращения (0–2 мм)	47
Продукт для повторного использования (2–60 мм)	34
Черные металлы	12
Цветные металлы	2
Несгоревшая продукция, возвращающаяся в мусоросжигательный завод	5

Источники: [39, Vrancken 2001]

Таблица 4.50 ниже показывает пример результатов выщелачивания полученных гранулятов.

Таблица 4.50: Пример результатов выщелачивания полученных гранулятов

	Величина выщелачивания (мг/кг)	
	Гранулят 2–6 мм	Гранулят 6–50 мм
As	0–0.1	< 0.05
Cd	0–0.025	< 0.01

	Величина выщелачивания (мг/кг)	
	Гранулят 2–6 мм	Гранулят 6–50 мм
Cr	0.005–0.053	< 0.053
Cu	0.19–0.85	0.24–0.55
Pb	0.04–0.12	< 0.10
Ni	0.0007–0.005	< 0.057
Zn	0.61–1.27	< 0.16
Примечание: Данные из колонки теста на выщелачивание NEN7343 Соотношение L/S=10 (совокупное) Источник: [64, TWG 2003], [74, TWG 2004]		

Другие данные о качестве зольного остатка после обработки приведены в таблице 4.51 и таблице 4.52 ниже для установки, использующей следующие технологии:

- промывка зольного остатка водой в донном золоотводе на выходе из печи (вода снижает уровень соли в зольном остатке);
- удаление черных металлов и крупных частиц путем просеивания и ручной сепарации;
- хранение в течение > 1 дня для реакции CO₂ (старение);
- дальнейшее просеивание, дробление, отделение (например, раздельное измельчение фракции > 32 мм);
- удаление черных и цветных металлов;
- фракция > 10 мм рециркулируется после воздушной сепарации легкой (например, пластмассовой) фракции;
- хранение продукта в течение 3 месяцев.

Таблица 4.51: Данные о концентрации зольного остатка (мг/кг), приведенные для примера установки для обработки зольного остатка

	Содержание зольного остатка на выходе (мг/кг)	
	Диапазон	Среднее
As	25–187	74
Cd	1.1–16.7	3.7
Cr	84–726	172
Cu	1 676–29 781	6 826
Pb	404–4 063	1 222
Ni	61–661	165
Zn	788–14 356	2 970
Hg	0.01–0.37	0.7
Источник: [64, TWG 2003]		

Таблица 4.52: Данные элеозта зольного остатка (мкг/л), приведенные для примера установки для обработки зольного остатка

	Выходные данные элеозта зольного остатка (мкг/л)	
	Диапазон	Среднее
As	< 6.0–16.1	5.3
Cd	< 0.5–2.5	0.8
Cr	1–113	15.2
Cu	14–262	60.7
Pb	8–59	11.4
Ni	< 4.0–11.6	2.9
Zn	< 5.0–230	19.4
Hg	< 0.2–< 0.2	< 0.2
Источник: [64, TWG 2003]		

Завод в Нидерландах использует следующий процесс мокрой обработки:

- Сухое удаление крупных объектов из черного металла с использованием магнитов, скрининг ЗОП для удаления крупных кусков, дробление крупных кусков до размера менее 20 мм, удаление мелких объектов из черного металла с использованием магнитов.
- Разделение на разные фракции водой с помощью вращающегося барабанного сита. После этого разделения основными фракциями являются песок ЗОП (0–4 мм) и гранулят ЗОП (4–20 мм).
- Песчаная фракция ЗОП перекачивается в гидроциклоны для отделения мелкой фракции ($< 0,063$ мм). После этого разделения по массе следующим этапом обработки является разделение по плотности. Песок обрабатывается в восходящем столбе воды, где мелкие частицы и органические части отделяются, и собираются в одном резервуаре с мелкими частицами после отделения гидроциклонов. Песок ЗОП обезвоживают на сите, а затем пропускают через вихретоковый сепаратор для удаления цветных металлов. Затем его закачивают в обезвоживающем винте, чтобы удалить конечную вязкую соленую воду и мелкие частицы. В закалочный резервуар подается свежая вода с соотношением жидкости и твердого вещества не менее 1 м^3 на тонну для удаления всех оставшихся загрязнений. Песок ЗОП затем обезвоживается с помощью обезвоживающего сита и может храниться в готовом для использования виде или в сочетании с гранулятом ЗОП.
- Фракция гранулята ЗОП обрабатывается в шнековой мойке, где скрубберная очистка удаляет органическую фракцию и все мелкие частицы, которые прилипают к поверхности минеральной фракции. Мелкие частицы и органическая фракция собираются вместе с мелкой фракцией после обработки песка ЗОП. Гранулят ЗОП обезвоживают, чтобы отделить его от соленой воды, затем пропускают через вихретоковый сепаратор для удаления цветных металлов. Затем его промывают пресной водой на обезвоживающем сите, чтобы удалить последние прилипшие соли и мелкие частицы. Соотношение жидкости и твердого вещества в пресной воде составляет не менее 1 м^3 на тонну. Затем гранулят ЗОП обезвоживается с помощью обезвоживающего сита и может храниться в готовом для использования виде или в сочетании с песком ЗОП.
- Мелкая фракция (0–0,063 мм) (шлам ЗОП) состоит как из органического материала, так и из очень мелких минеральных частиц и содержит высокую концентрацию загрязняющих веществ. Мелкую фракцию обрабатывают флокулянтами и отделяют от потока воды в предварительном загустителе. Осадок обезвоживается в ленточном прессе или камерном фильтр-прессе и отправляется на обращение или захоронение.

Другой пример мокрого процесса на австрийском заводе приведен ниже:

Начальными этапами обработки являются: скрининг ЗОП и/или золы кипящего слоя (ЗКС) для удаления больших кусков (> 55 мм) и длинных кусков, таких как трубы и кабели; удаление крупных черных металлических предметов из обеих фракций (> 55 мм и < 55 мм) с помощью магнитов подвешенного конвейера; дробление фракции < 55 мм является вариантом, который можно использовать для увеличения скорости извлечения металла на последующей стадии мокрой обработки.

В процессе мокрой обработки используется сито для разделения ЗОП/ЗКС < 55 мм на четыре фракции различной плотности:

- **Плавающие материалы** (бумага, пластик и легкие минералы): эта фракция обезвоживается и транспортируется обратно в установку сжигания в качестве сырья или захоранивается.
- **Тяжелая фракция (металлы и минералы с плотностью $> 4 \text{ кг/дм}^3$):** эта фракция представляет собой смесь различных металлов (медь, латунь, нержавеющая сталь, цинк, олово, драгоценные металлы) и минералов. Эта фракция промывается, концентрируется и транспортируется на медеплавильный завод.
- **Легкая фракция (металлы и минералы с плотностью $< 4 \text{ кг/дм}^3$):** эта фракция представляет собой смесь минералов (золы, камней и бетона), алюминия и следов некоторых других металлов. Эта фракция подается в барабанный магнит для отделения черных металлов, а затем

вихретокового сепаратора для удаления цветных металлов, таких как алюминий и нержавеющая сталь. Алюминиевый концентрат можно использовать на алюминиевом заводе или заводе по переработке лома. Оставшаяся минеральная фракция может быть захоронена, использована в качестве строительного материала в дорожном строительстве или в качестве заполнителя в бетоне при условии, что она соответствует соответствующим стандартам и нормам на продукцию.

- **Шлам:** шлам от сита обезвоживается с помощью центрифуги и смешивается с минеральной фракцией. Возможно дальнейшее использование обезвоженного материала в дорожном строительстве.

Воздействие на различные компоненты окружающей среды

Мокрая обработка может привести к получению мелкой фракции (0–2 мм). Дополнительно производится фракция сточных вод. Эта сточная вода может быть возвращена обратно в мусоросжигатель в качестве технической воды, если качество соответствует требованиям процесса. [74, TWG 2004]

Технические соображения касаются применимости

Технология, в целом, применима.

Применимость может быть ограничена, когда температура окружающей среды ниже 5°C, если не приняты меры для предотвращения замерзания воды. [107, Austria 2015]

Экономические аспекты

Для экономической эффективности необходима определенная минимальная пропускная способность. Для небольших мусоросжигательных заводов часто используется внешняя (централизованная) обработка зольного остатка. Экономичность операции по обработке зольного остатка зависит от рыночной цены производимых фракций. Обработанный зольный остаток обычно продается по нулевой цене. Выручка создается за счет качества фракций цветных и черных металлов. Цветные металлы, такие как медь и алюминий, являются продуктами с самой высокой рыночной стоимостью. Количество и чистота произведенных цветных металлов являются важными факторами в общей экономике установки.

Для австрийского завода по переработке 40 т/сутки зольного остатка:

- капитальные затраты составляют 2 миллиона евро, что эквивалентно капитальным затратам в 5–10 евро за тонну переработанной золы;
- эксплуатационные расходы составляют 5–10 евро за тонну;
- общая стоимость составляет 10–20 евро за тонну переработанной золы.

Мотивы внедрения

Законодательство по обращению с отходами в качестве вторичного сырья.

Примеры

AT.B-01, BE.B-02, HVC Groep, Dordrecht MWI line 5 (NL).

Справочная литература

[38, Vehlouw 2002], [39, Vrancken 2001], [4, IAWG 1997], [64, TWG 2003], [105, Netherlands 2016], [107, Austria 2015]

4.7.7 Технологии снижения выбросов в атмосферу при переработке шлаков и золы от сжигания отходов

Описание

Рассматриваемые технологии:

- увлажнение запасов и основных источников диффузного выброса пыли;
- ограничение высоты сброса;
- защита складов от ветров;
- работа в закрытом помещении;

- включение такого оборудования, как шредер, сито, конвейерные ленты, ветровое просеивание, воздушно-гидравлический сепаратор;
- поддержание такого оборудования под давлением ниже атмосферного;
- обработка воздуха, удаленного из РФ.

Техническое описание

Выбросы в воздух от установок для обработки зольного остатка представляют собой, главным образом, пыль и металлы, образующиеся в результате обработки, измельчения, просеивания и воздушной сепарации зольного остатка.

Использование технологий, в которых содержание воды в зольном остатке составляет около 20%, уменьшает диффузные выбросы пыли. Это включает в себя поддержание оптимального содержания влаги, что, с одной стороны, позволяет эффективно извлекать металлы и минеральные материалы, а с другой стороны, сохраняет выбросы пыли низкими.

Системы распыления воды могут быть установлены у основных источников диффузного выброса пыли. Выбросы диффузной пыли на складах снижаются за счет обеспечения надлежащего увлажнения точек загрузки и разгрузки или самих складских запасов.

Выбросы пыли также сводятся к минимуму путем сопоставления высоты разгрузки с изменяющейся высотой груды зольного остатка (например, через конвейерные ленты с регулируемой высотой), а также за счет защиты площадок для хранения сыпучих материалов и складов покрытием или ветрозащитными барьерами, такими как экранирование, ограждение стен или вертикальные озеленительные насаждения.

Во избежание выпуска рассеянных выбросов в окружающую среду, хранение и обработка зольного остатка также могут проводиться в закрытых зданиях.

Для предотвращения выбросов в атмосферу используется закрытое оборудование, работающее под давлением ниже атмосферного. Извлеченный воздух направляется в рукавный фильтр. Чтобы уменьшить пылевую нагрузку рукавного фильтра, в некоторых случаях в качестве первого этапа удаления пыли используется циклон.

Экологические преимущества

- Сокращение диффузионных выбросов.
- Сокращение выбросов пыли.

Экологические показатели и эксплуатационные данные

В таблице 3.29 показаны уровни выбросов пыли на некоторых предприятиях ЕС с применением технологий, применяемых для сокращения выбросов в атмосферу и источников выбросов.

Воздействие на различные компоненты окружающей среды

Увеличение использования воды и энергии.

Технические соображения, касающиеся применимости

Эксплуатация под давлением ниже атмосферного с фильтрацией отработанного воздуха применима только к сухому выгруженному и другим зольным остаткам с низким содержанием влаги.

Другие описанные технологии, как правило, применимы.

Экономические аспекты

Информация не предоставлена

Мотивы внедрения

Требования по охране окружающей среды и здоровья.

Примеры

CZ B-01, DE B-05, DE.B-10, DE.B-11, IT.B-01, IT.B-02

Справочная литература

[81, TWG 2016], [126, EIPPCB 2017]

4.7.8 Очистка сточных вод

Сточные воды поступают в основном из мокрых процессов, участков промывки, зон хранения и загрязненной дождевой воды, если шлаки и зольный остаток хранятся снаружи.

Технологические сточные воды содержат соли и металлы, а также твердые частицы и органические вещества, включая ПХДД/Ф.

Технологиями для очистки сточных вод от установок для обработки ЗОП являются:

- сепарация масла;
- нейтрализация;
- седиментация;
- химическое осаждение;
- фильтрация.

Эти технологии описаны в разделе 3.3.2.3 Справочного документа по НДТ очистки производственных сточных вод и отходящих газов, системам менеджмента в химической промышленности.

В таблице 3.30 приведены уровни выбросов в воду, представленные в ходе сбора данных

4.8 Шум

Шумовые аспекты сжигания отходов сопоставимы с другими отраслями и электростанциями. Обычно установки сжигания коммунальных отходов устанавливаются в полностью закрытых зданиях. Шумовое воздействие включает прием и выгрузку отходов, механическую предварительную обработку, обработку дымовых газов, обработку остатков и т.д. Единственными видами деятельности, которые обычно расположены за пределами здания, являются холодильные установки и участки долговременного хранения зольного остатка. Обработка зольного остатка может происходить в закрытых помещениях или на открытом воздухе.

Наиболее важными источниками внешнего шума являются:

- грузовики для перевозки отходов, химикатов и остатков;
- крановые работы в бункере;
- механическая предварительная обработка отходов;
- вытяжные вентиляторы, отводящие дымовые газы из процесса сжигания и вызывающие шум от выхода из дымовой трубы;
- шум, связанный с системой охлаждения (для испарительного охлаждения и особенно для воздушного охлаждения);
- шум, связанный с транспортировкой и обработкой зольного остатка;
- шум от турбогенератора.

[74, TWG 2004]

Другие процессы обычно не производят значительного внешнего шума, но могут способствовать общему внешнему шуму, производимому установкой.

Основные источники шума, уровни шума, которые они вызывают, и некоторые конкретные технологии борьбы с шумом приведены в таблице 3.38.

Степень защиты от шума и принимаемые меры часто очень специфичны для места и риска воздействия.