ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО

ПО ТЕХНИЧЕСКОМУ РЕГУЛИРОВАНИЮ И МЕТРОЛОГИИ

ИНФОРМАЦИОННО-ТЕХНИЧЕСКИЙ СПРАВОЧНИК ПО НАИЛУЧШИМ ДОСТУПНЫМ ТЕХНОЛОГИЯМ

ИТС 9 — 2015

ОБЕЗВРЕЖИВАНИЕ ОТХОДОВ ТЕРМИЧЕСКИМ СПОСОБОМ (СЖИГАНИЕ ОТХОДОВ)

Москва
Бюро НДТ
2015

gost.e-ecolog.ru

Содержание

Введение VI
Предисловие VIII
Область применения 1
Раздел 1. Общая информация о сфере обезвреживания отходов термическим способом 2
1.1 Общая информация о сфере деятельности 2
1.2 Краткий обзор основных экологических проблем в сфере обезвреживания отходов термическим способом 41
1.2.1 Экологические аспекты 41
1.2.2 Основные экологические проблемы 44
Раздел 2. Описание технологических процессов используемых в настоящее время в сфере обезвреживания отходов термическим способом 50
2.1 Общие положения 50
2.2 Основные эколого-энерготехнологические параметры [7] 51
2.3 Основные типы существующих реакторов, использующих органическое топливо [18], [19] 52
2.3.1 Слоевые печи 52
2.3.2 Барабанные вращающиеся печи 56
2.3.3 Шахтные печи 58
2.3.4 Печи с жидкой ванной расплава 60
2.3.5 Циклонные реакторы 62
2.3.6 Реакторы кипящего слоя 65
2.4 Использование плазменных источников энергии 70
2.4.1 Плазмохимическая ликвидация супертоксикантов 71
2.4.2 Воздействие на слой токсичных отходов ударной плазменной струей 74
2.4.3 Термическое обезвреживание отходов в плотном фильтруемом слое 79
2.4.4 Дожигание отходящих из печей газов с помощью плазменных источников энергии 85
2.5 Высокотемпературное огневое обезвреживание супертоксикантов (ПХБ, пестицидов) 86

Раздел 3. Показатели оценки технологий и текущие уровни эмиссии в окружающую среду 90
3.1 Уровни воздействия и потребления в сфере обезвреживания отходов термическим способом 90
3.2 Мероприятия по снижению воздействия технологий на окружающую среду 99
Раздел 4. Определение наилучших доступных технологий 105
4.1 Общая методология определения технологии термического обезвреживания отходов в качестве НДТ 105
4.2 Методы, позволяющие пошагово рассмотреть несколько технологий и выбрать наилучшую доступную технологию 108
4.2.1 Шаг 1. Рассмотрение критерия 5 «Промышленное внедрение технологических процессов, оборудования, технических способов, методов на 2 и более объектах в Российской Федерации, оказывающих негативное воздействие на окружающую среду» 109
4.2.2 Шаг 2. Рассмотрение критерия 1 «Наименьший уровень негативного воздействия на окружающую среду в расчете на единицу времени или объем производимой продукции (товара), выполняемой работы, оказываемой услуги либо соответствие другим показателям воздействия на окружающую среду, предусмотренным международными договорами Российской Федерации» 114
4.2.3 Шаг 3. Рассмотрение критерия 2 «Экономическая эффективность внедрения и эксплуатации» 118
4.2.4 Шаг 4. Рассмотрение критерия 4 «Период внедрения» 122
4.2.5 Шаг 5. Рассмотрение критерия 3 «Применение ресурсо- и энергосберегающих методов» 122
4.2.6 Шаг 6. Принятие членами ТРГ решения об отнесении технологии к НДТ 125
Раздел 5. Наилучшие доступные технологии в сфере обезвреживания отходов термическим способом 126
5.1 Общие положения 126
5.2 Перечень наилучших доступных технологий 131
5.2.1 Описание основного технологического оборудования, отнесенного к НДТ 131

5.2.2 Прием поступающих отходов 132
5.2.3 Хранение (накопление) отходов 134
5.2.4 Предварительная подготовка отходов 134
5.2.5 Технологии, применяемые на этапе термического обезвреживания 135
5.2.6 Энергоэффективность. Теплоиспользование 140
5.2.7 Технологии очистки газообразных продуктов сгорания 144
5.2.8 Обезвреживание остатков, образующихся при очистке газообразных продуктов сгорания 155
5.2.9 Удаление остатков, образующихся при очистке газообразных продуктов сгорания 157
5.2.10 Мониторинг (производственный контроль) и регулирование выбросов 157
5.2.11 Контроль и обработка сточных вод 159
5.2.12 Обработка и обезвреживание шлаков и зольных остатков, образующихся в результате сжигания 160
5.3 Варианты технологического процесса 164
5.3.1 Технологические процессы на базе методов сжигания 164
5.3.2 Технологические процессы на базе методов пиролиза 172
5.3.3 Технологические процессы на базе методов газификации 177
5.3.4 Технологические процессы на базе комбинации методов термического обезвреживания 179
5.4 Технические аспекты НДТ в области термического обезвреживания отходов 183
5.5 Технологические показатели наилучших доступных технологий 186
Раздел 6. Экономические аспекты реализации наилучших доступных технологий 202
Раздел 7. Перспективные технологии в сфере обезвреживания отходов термическим способом 211
7.1 Плазменные технологии обезвреживания опасных отходов 212
7.2 Высокотемпературная паровая газификация отходов с помощью плазменных источников энергии 214
7.3 Использование шахтных печей для высокотемпературной паровой газификации отходов с помощью плазменных источников энергии 218

7.4 Комбинированный метод обезвреживания отходов с использованием плазмохимического реактора 219
7.5 Обезвреживание опасных отходов методом сверхкритического водного окисления (СКВО) 219
7.6 Применение установок с акустическими генераторами пульсирующего потока для огневого обезвреживания твердых отходов 222
Заключительные положения и рекомендации 222
Приложение А (обязательное) Перечень маркерных веществ 225
Приложение Б (обязательное) Перечень НДТ 226
Приложение В (обязательное) Перечень технологических показателей 235
Приложение Г (справочное) Термины и определения 236
Приложение Д (обязательное) Энергоэффективность 238
Библиография 243

Введение

Настоящий справочник НДТ разделен на 7 разделов, содержащих информацию об уровне технического и технологического развития сферы обезвреживания отходов термическим способом, применяемых наилучших доступных технологиях (НДТ) и различных аспектах их применения, а также перспективных наилучших доступных технологиях. В приложении к справочнику НДТ в дополнение к ПНСТ 22—2014 «Наилучшие доступные технологии. Термины и определения» приводятся основные специализированные термины и определения, используемые при описании сферы обезвреживания отходов термическим способом.

В разделе 1 дана общая информация о сфере обезвреживания отходов термическим способом: на основании предоставленных предприятиями анкет приведены обобщенные данные о технологиях и оборудовании, применяемых на предприятиях различных отраслей экономики Российской Федерации для термического обезвреживания отходов, содержащих в своем составе органические вещества, с целью снижения уровня их опасности и (или) уменьшения их массы, их географическом расположении, приводится краткий обзор экологических аспектов и связанных с ними основных экологических проблем в рассматриваемой сфере деятельности.

В разделе 2 приводится описание технологий и технологических процессов, используемых в настоящее время в сфере обезвреживания отходов термическим способом как в Российской Федерации, так и за рубежом, их основных эколого-энерготехнологических параметров, основных типов существующих реакторов, их преимуществ и недостатков.

В разделе 3 технологии термического обезвреживания отходов рассмотрены с точки зрения их воздействия на окружающую среду, приводятся показатели оценки технологий, в том числе маркерные загрязняющие вещества в выбросах в атмосферу, и текущие уровни эмиссии в окружающую среду.

В разделе 4 приводится общая методология определения технологии термического обезвреживания отходов в качестве наилучшей доступной технологии, в том числе с использованием методов, позволяющих пошагово рассмотреть несколько технологий и выбрать наилучшую доступную технологию.

В разделе 5 приводятся общие технологические схемы на основе наиболее распространенных методов термического обезвреживания отходов — сжигания, пиролиза, газификации; перечень НДТ с описанием основного технологического оборудования,

вариантов технологических процессов, технических аспектов; технологические показатели НДТ.

В разделе 6 рассмотрены экономические аспекты реализации НДТ, приводятся экономические показатели, характеризующие НДТ, — капитальные и эксплуатационные затраты, рассмотрена их структура, способы получения и обработки информации экономического характера, оценки затрат и получаемых выгод.

В разделе 7 рассмотрены новейшие технологии, отвечающие требованиям НДТ, которые находятся на стадии научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ или опытно-промышленного внедрения, представлены их перспективные преимущества и существующие проблемы для внедрения.

При составлении настоящего справочника НДТ были учтены положения Федерального закона от 10 января 2002 г. № 7-ФЗ «Об охране окружающей среды», Федерального закона от 24 июня 1998 г. № 89-ФЗ «Об отходах производства и потребления» (с изменениями на 29 декабря 2014 г., редакция, действующая с 1 июля 2015 г.), Федерального закона от 30 марта 1999 г. № 52-ФЗ «О санитарно-эпидемиологическом благополучии населения» (с изменениями на 29 декабря 2014 г., редакция, действующая с 1 июля 2015 г.), Федерального закона от 23 ноября 1995 г. № 174-ФЗ «Об экологической экспертизе» (с изменениями на 29 декабря 2014 г., редакция, действующая с 1 июля 2015 г.), Федерального закона от 4 мая 1999 г. № 96-ФЗ «Об охране атмосферного воздуха» (с изменениями на 29 декабря 2014 г.).

Предисловие

Цели, основные принципы и порядок разработки справочника установлены постановлением Правительства Российской Федерации от 23 декабря 2014 г. № 1458 «О порядке определения технологии в качестве наилучшей доступной технологии, а также разработки, актуализации и опубликования информационно-технических справочников по наилучшим доступным технологиям».

1 Статус документа

Настоящий информационно-технический справочник по наилучшим доступным технологиям (далее — справочник НДТ) является документом по стандартизации.

2 Информация о разработчиках

Справочник НДТ разработан технической рабочей группой № 9 «Обезвреживание отходов термическим способом (сжигание отходов)» (ТРГ-9), созданной приказом Росстандарта от 17 июля 2015 г. №836 (ред. от 18.11.2015 г.).

Дополнительная информация о разработчиках приведена в разделе «Заключительные положения и рекомендации».

Справочник НДТ представлен на утверждение Бюро наилучших доступных технологий (далее — Бюро НДТ) (gost.e-ecolog.ru

3 Краткая характеристика

Справочник НДТ содержит описание применяемых в сфере обезвреживания отходов термическим способом технологических процессов, оборудования, технических способов, методов, в том числе позволяющих снизить негативное воздействие на окружающую среду, водопотребление, повысить энергоэффективность, ресурсосбережение. Из описанных технологических процессов, оборудования, технических способов, методов определены решения, являющиеся наилучшими доступными технологиями. Для НДТ в справочнике НДТ установлены соответствующие технологические показатели.

4 Взаимосвязь с международными, региональными аналогами

Справочник НДТ разработан с учетом следующих справочников Европейского союза по наилучшим доступным технологиям:

- справочник ЕС по наилучшим доступным технологиям «Европейская комиссия. Комплексное предупреждение и контроль загрязнений. Справочное руководство по наилучшим доступным технологиям. Сжигание отходов. Август 2006 г.» (European

Commission. Integrated Pollution Prevention and Control. Reference Document on Best Available Techniques for the Waste Incineration. August 2006);

- справочник ЕС по наилучшим доступным технологиям «Европейская комиссия. Комплексное предупреждение и контроль загрязнений. Справочное руководство по наилучшим доступным технологиям. Обработка отходов. Август 2006 г.» (European Commission. Integrated Pollution Prevention and Control. Reference Document on Best Available Techniques for the Waste Treatments Industries. August 2006).

Информация из справочников использовалась с учетом особенностей обезвреживания отходов термическим способом в Российской Федерации.

5 Сбор данных

Информация о технологических процессах, оборудовании, технических способах, методах, применяемых в сфере обезвреживания отходов термическим способом в Российской Федерации, была собрана в процессе разработки справочника НДТ в соответствии с Порядком сбора данных, необходимых для разработки справочника НДТ и анализа приоритетных проблем отрасли, утвержденным приказом Росстандарта от 23 июля 2015 г. № 863.

6 Взаимосвязь с другими справочниками НДТ

Взаимосвязь настоящего справочника НДТ с другими справочниками НДТ, разрабатываемыми в соответствии с распоряжением Правительства Российской Федерации от 31 октября 2014 г. № 2178-р, приведена в разделе «Область применения».

7 Информация об утверждении, опубликовании и введении в действие

Справочник НДТ утвержден приказом Росстандарта от 15 декабря 2015 г. № 1579.

Справочник НДТ введен в действие с 1 июля 2016 г., официально опубликован в информационной системе общего пользования — на официальном сайте Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии в сети Интернет (gost.e-ecolog.ru

ИНФОРМАЦИОННО-ТЕХНИЧЕСКИЙ СПРАВОЧНИК ПО НАИЛУЧШИМ ДОСТУПНЫМ ТЕХНОЛОГИЯМ

ОБЕЗВРЕЖИВАНИЕ ОТХОДОВ ТЕРМИЧЕСКИМ СПОСОБОМ (СЖИГАНИЕ ОТХОДОВ)

Neutralization waste thermal processes (waste incineration)

Дата введения — 2016-07-01

Область применения

Настоящий справочник НДТ распространяется на основной вид деятельности — обезвреживание отходов, содержащих в своем составе органические вещества, термическим способом с использованием методов сжигания, пиролиза, газификации.

Данному виду деятельности частично соответствует код ОКПД 38.21.23 «Услуги по сжиганию неопасных отходов». Соответствующие данному виду деятельности коды ОКВЭД отсутствуют.

Справочник НДТ также распространяется на процессы, непосредственно связанные с основным видом деятельности, которые могут оказать влияние на объемы эмиссий или масштабы загрязнения окружающей среды:

- накопление (хранение) и предварительная подготовка обезвреживаемых отходов;
- выбор и подготовка потребляемых материалов и топлива;
- методы предотвращения и сокращения эмиссий и образования отходов;
- способы утилизации вторичных энергетических ресурсов.

Справочник НДТ не распространяется на:

- технологии обезвреживания отходов, в процессе которых используются методы термического воздействия, не приводящие к деструкции обезвреживаемых отходов (сушка, дистилляция и т. п.);
- технологии термического обезвреживания отходов, являющиеся неотъемлемым подпроцессом технологического процесса производства отраслевой продукции на предприятиях;
- специальные технологии термического обезвреживания биологических и медицинских отходов;

- технологии термической утилизации отходов, основной целью которых является использование отходов в качестве альтернативных источников топлива для получения тепла и энергии и (или) производства продукции;

- вопросы, касающиеся исключительно обеспечения промышленной безопасности или охраны труда.

Дополнительные виды деятельности при обезвреживании отходов термическим способом и соответствующие им справочники НДТ (по распоряжению Правительства Российской Федерации от 31 октября 2014 г. № 2178-р) приведены в таблице 1.

Таблица 1 Дополнительные виды деятельности при обезвреживании отходов термическим способом и соответствующие им справочники НДТ

Вид деятельности	Соответствующий справочник НДТ
Обезвреживание отходов другими способами	Справочник НДТ «Обезвреживание отходов»
Захоронение отходов	Справочник НДТ «Захоронение отходов производства и потребления»

Раздел 1. Общая информация о сфере обезвреживания отходов термическим способом

1.1 Общая информация о сфере деятельности

В настоящем разделе на основании предоставленных предприятиями анкет представлены технологии и оборудование, применяемые на предприятиях различных отраслей экономики Российской Федерации для термического обезвреживания отходов, содержащих в своем составе органические вещества, с целью снижения уровня их опасности и (или) уменьшения их массы. Специализация рассматриваемых технологий не зависит от специфики отраслей экономики, в которых они могут применяться, а ориентирована на группы видов отходов, содержащих в своем составе органические вещества и подлежащих термическому обезвреживанию.

Источниками образования отходов, содержащих в своем составе органические вещества, является как жизнедеятельность населения, так и производственная и административно-хозяйственная деятельность предприятий. Примерами таких отходов являются: твердые коммунальные отходы (ТКО); загрязненные органическими веществами грунты; пришедшие в негодность и запрещенные пестициды; стойкие органически загрязнители, в том числе полихлорированные бифенилы; нефтешламы; отходы

хлорорганических производств химической промышленности; отходы производства минеральных удобрений и химических средств защиты растений; отходы производства органического синтеза (кислот, альдегидов, кетонов, спиртов и др.); некондиционное ракетное топливо; осадки сточных вод и многие другие [1].

Для выбора оптимальных технологических и конструктивных характеристик используемых термических установок и оборудования необходимо исходить из конкретных видов отходов, подвергаемых термическому обезвреживанию, на основе классификации отходов, приведенной в таблице 1.1 [1].

Таблица 1.1 — Классификация отходов применительно к термическому обезвреживанию [1]

Агрегатное состояние (физическая форма)	Горючесть отхода	Состав веществ	Тип нейтрализующего реагента системы очистки газов	Летучесть органических примесей	Возможность возгонки минеральных продуктов обезвреживания	Температура жидкоплавкого состояния минеральных продуктов обезвреживания
Жидкие отходы	Горючие отходы, для которых $\Delta T_{макс} \geq 0$ °С	Отходы, содержащие только органические и неорганические вещества, при окислительной обработке которых образуются CO_2, H_2O, N_2	В качестве нейтрализующего реагента используются щелочные реагенты (NaOH, Na_2CO_3, KOH, K_2CO_3)	Легколетучие	Полностью возгоняющиеся вещества	Вещества с температурой жидкоплавкого состояния, значительно превышающей t_{or}
Твердые отходы	Негорючие отходы, для которых $\Delta T_{макс} < 0$ °С	Отходы, содержащие органические и минеральные соединения азота, при окислительной обработке которых образуются оксиды азота (NO_x)	В качестве нейтрализующих реагентов используются щелочноземельные реагенты ($Ca(OH)_2$, CaO, $CaCO_3$) и аммиачная вода	Летучие	Практически невозгоняющиеся вещества	Вещества с температурой жидкоплавкого состояния, близкой к рабочей температуре процесса обезвреживания t_{or}

Агрегатное состояние (физическая форма)	Горючесть отхода	Состав веществ	Тип нейтрализующего реагента системы очистки газов	Летучесть органических примесей	Возможность возгонки минеральных продуктов обезвреживания	Температура жидкоплавкого состояния минеральных продуктов обезвреживания
Пастообразные отходы (шламы, илы, осадки)		Отходы, содержащие органические соединения элементов S, P, Cl, F, при окислительной обработке которых образуются газообразные кислоты или окислы (SO_2, P_4O_{10}, HCl, HF)	В качестве нейтрализующего реагента используются щелочные и щелочноземельные реагенты	Малолетучие	Частично возгоняющиеся вещества	Вещества с температурой жидкоплавкого состояния, значительно меньшей t_{or}
		Отходы, содержащие органические, минеральные вещества или органические соединения элементов Na, K, при окислительной обработке которых образуются минеральные соли (NaCl, Na_2SO_4, $Na_4P_2O_7$, Na_2CO_3, KCl)	Без нейтрализации дымовых газов	Нелетучие (жидкий остаток)		
		Отходы, содержащие органические вещества, элементы, их окислы, соли или органические соединения элементов, при окислительной обработке которых образуются элементы или окислы (CuO, Cu_2O, TiO_2, NiO, ZnO, Fe_2O_3, Cr_2O_3)		Нелетучие (твердый остаток)		

Классификация отходов, подвергаемых термическому обезвреживанию, объединяет семь основных показателей.

1) По агрегатному состоянию и физической форме отходы разделяются на 3 группы: жидкие, твердые и пастообразные.

В соответствии с ФККО-2014 отходы по агрегатному состоянию и физической форме подразделяются следующим образом (девятый и десятый знаки кода): жидкое (10); твердое (20); дисперсные системы (30); твердые сыпучие материалы (40); изделия из твердых материалов, за исключением волокон (50); изделия из волокон (60); смеси твердых материалов и изделий (70).

2) По горючести отходы разделяются на два класса: горючие и негорючие.

Горючие отходы при комнатной температуре горят самостоятельно, без затрат дополнительного топлива.

Для термического обезвреживания негорючих отходов при комнатной температуре необходимы затраты дополнительного топлива.

3) По составу веществ отходы подразделяются на 5 групп.

К первой группе относятся отходы, содержащие в своем составе органические и неорганические вещества, при окислительной переработке которых образуются безвредные дымовые газы (CO_2, H_2O, N_2), не требующие никакой очистки.

Во вторую группу отнесены отходы, которые кроме веществ первой группы содержат соединения азота, при огневом обезвреживании которых образуется оксид азота (NO).

К третьей группе относятся отходы, содержащие органические соединения элементов S, P, Cl, F, при окислительной обработке которых образуются газообразные кислоты и окислы (SO_2, P_4O_{10}, HCl, HF).

К четвертой группе относятся отходы, при обезвреживании которых образуются NaCl, Na_2SO_4, $Na_4P_2O_7$, Na_2CO_3, KCl.

К пятой группе относятся отходы, содержащие органические вещества, элементы, их окислы, соли или органические соединения элементов, при окислительной обработке которых образуются элементы или окислы (CuO, Cu_2O, TiO_2, NiO, ZnO, Fe_2O_3, Cr_2O_3, HgO, As_2O_3).

4) По типу нейтрализующего реагента системы очистки газов отходы разделяются на 4 группы.

К первой группе относятся отходы, для обезвреживания которых в качестве нейтрализующего реагента используются щелочные реагенты (NaOH, Na_2CO_3, KOH,

K_2CO_3). Эти реагенты используются при повышенной температуре рабочего процесса и возможности протекания газофазной реакции нейтрализации.

Ко второй группе относятся отходы, для обезвреживания которых в качестве нейтрализующего реагента используются щелочноземельные реагенты ($Ca(OH)_2$, CaO, $CaCO_3$). Эти реагенты применяются при относительно низкой температуре рабочего процесса и возможности протекания гетерофазной реакции нейтрализации.

К третьей группе относятся отходы, при обезвреживании которых в качестве нейтрализующего реагента используются щелочные и щелочноземельные реагенты.

К четвертой группе относятся отходы, при термическом обезвреживании которых не требуется применение нейтрализующих реагентов.

5) По летучести органических примесей отходы разделяются на 5 групп. При оценке летучести веществ сопоставляют температуру их кипения $t_{кип}$ с равновесной температурой испарения воды $t_{равн}$ в распыленном состоянии в контакте с дымовыми газами или с температурой кипения воды при атмосферном давлении. В зависимости от летучести все вещества, содержащиеся в отходах, подразделяют на легколетучие, летучие, малолетучие, нелетучие (в виде жидкого или твердого остатка).

Условно к легколетучим веществам относят вещества с температурой кипения ниже 85 °С, вещества с температурой кипения 85 °С < $t_{кип}$ < 100 °С относят к летучим, к малолетучим относят вещества с высокой температурой кипения $t_{кип}$ > 200 °С, к нелетучим — вещества, которые практически не испаряются.

6) По температуре жидкоплавкого состояния минеральных продуктов отходы подразделяются на три группы:

а) отходы с температурой начала спекания золы, значительно превышающей температуру процесса обезвреживания;

б) отходы с температурой начала спекания золы, близкой к рабочей температуре процесса обезвреживания;

в) отходы с температурой начала спекания золы, значительно меньшей, чем температура процесса обезвреживания.

7) По возможности возгонки минеральных продуктов процесса термического обезвреживания отходы подразделяются на три типа:

а) полностью возгоняющиеся вещества;

б) частично возгоняющиеся вещества;

в) практически не возгоняющиеся вещества.

В практике высокотемпературного обезвреживания отходов, содержащих органические вещества, нашли широкое применение три основных метода [2]:

а) Высокотемпературный окислительный метод (сжигание). Его сущность заключается в сжигании горючих отходов или термической (огневой) обработке негорючих отходов высокотемпературным теплоносителем (продуктами сгорания топлива, плазменной струей, расплавом и др.). При использовании этого метода токсичные компоненты подвергаются термическому разложению, окислению и другим химическим превращениям с образованием газов и твердых продуктов или расплава (оксидов металлов, солей и др.).

б) Пиролиз — процесс термического разложения отходов, содержащих органические вещества, при недостатке или отсутствии окислителя, в результате чего образуются твердый углеподобный остаток и пиролизный газ, содержащий высококипящие смолообразные вещества. Теплота сгорания газа ~13–21 МДж/м^3. При низких температурах пиролиза (~400 °С — 600 °С) больше доля образующихся жидких смолообразных продуктов, а при высоких (~700 °С — 1050 °С) — больше доля газообразных продуктов.

Окислительный пиролиз — это процесс термического разложения отходов при их частичном сжигании или непосредственном контакте с продуктами сгорания топлива. Газообразные продукты разложения отходов смешиваются с продуктами сгорания топлива или части отходов, поэтому на выходе из реактора они имеют низкую теплоту сгорания, но повышенную температуру. Затем смесь газов сжигают в обычных топочных устройствах. В процессе окислительного пиролиза образуется твердый углеродистый остаток (кокс). В дальнейшем кокс можно использовать в качестве твердого топлива или в других целях.

Под сухим пиролизом понимают процесс термического разложения отходов, твердого и жидкого топлива без доступа окислителя. В результате сухого пиролиза отходов образуются пиролизный газ с высокой теплотой сгорания, жидкие продукты и твердый углеродистый остаток. Количество и качество продуктов сухого пиролиза зависят от состава отходов и температуры процесса. В зависимости от температуры различают три вида сухого пиролиза:

- низкотемпературный пиролиз, или полукоксование (450 °С — 550 °С), при котором максимален выход жидких продуктов и твердого остатка (полукокса) и минимален выход пиролизного газа с максимальной теплотой сгорания;

- среднетемпературный пиролиз, или среднетемпературное коксование (до 800 °С), при котором выход газа увеличивается при уменьшении его теплоты сгорания, а выход жидких продуктов и коксового остатка уменьшается;

- высокотемпературный пиролиз, или коксование (900 °С — 1050 °С), при котором минимален выход жидких продуктов и твердого остатка и максимален выход пиролизных газов с минимальной теплотой сгорания.

в) Газификация — процесс термической обработки отходов, содержащих органические вещества, окислителем (воздухом, кислородом, водяным паром, углекислым газом или их смесью) с расходом ниже стехиометрического, с получением генераторного газа (синтез-газа) и твердого или расплавленного минерального продукта. Переработка отходов газификацией имеет следующие преимущества по сравнению с методом сжигания:

- получаемые горючие газы могут быть использованы в качестве энергетического и технологического топлива, в то время как при сжигании практически возможно только энергетическое использование теплоты отходов (получение водяного пара или горячей воды);

- получаемая смола может быть использована как жидкое топливо и как химическое сырье;

- сокращаются выбросы золы и сернистых соединений в атмосферу.

Результаты систематизации применяемого в России оборудования для термического обезвреживания конкретных типов отходов по представленной предприятиями информации в анкетах приведены в таблицах 1.2, 1.3, 1.4, 1.5, 1.6, 1.7 по разделам: сжигание, пиролиз и газификация. Представленные технологии и оборудование систематизированы:

- по группам обезвреживаемых отходов (коды ФККО-2014) [3];

- по производительности;

- по применяемой технологии термического обезвреживания;

- по системам очистки газов;

- по генерации энергии;

- по образующимся отходам;

- по степени внедрения;

- по наличию разрешений на применение, заключений ГЭЭ;

- по объектам внедрения.

Рассматриваемое оборудование имеет проектную техническую документацию на новую технику и технологию, получившую положительные заключения государственной экологической экспертизы. В основу этой информации положены данные, представленные письмом Росприроднадзора от 22 января 2015 г. № ВС-08-01-28/721, содержащиеся в реестре выданных Росприроднадзором и его территориальными органами по-

ложительных заключений государственной экологической экспертизы по проектам технической документации на новую технику и технологию за 2011–2014 гг., размещенном на официальном сайте Росприроднадзора gost.e-ecolog.ru анкетах предприятий.

По количеству внедренного в России оборудования по тем или иным технологиям термического обезвреживания получить полную информацию не представилось возможным, так как многие предприятия не ответили на запрос о представлении ими анкет. На основании полученных анкет можно констатировать, что наибольшее распространение получили инсинераторы и установки типа «Форсаж», «ИН» и «КТО».

Таблица 1.7 отражает географическое распределение оборудования по обезвреживанию отходов термическим способом по федеральным округам Российской Федерации. Как следует из данных таблицы, технологии термического обезвреживания и оборудование по сжиганию отходов размещены практически во всех федеральных округах. В значительно меньшей степени распространены по стране установки пиролиза и газификации.

Таблица 1.2 — Результаты систематизации технологий термического обезвреживания отходов на основании предоставленных предприятиями анкет

№ п/п	Код и наименование блока и типа отходов по ФККО-2014 Вид отхода	Оборудование	Производительность, т/час	Технология	Система очистки газов	Генерация энергии	Образующиеся отходы	Степень внедрения	Наличие разрешения на применение	Применение на предприятиях
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
СЖИГАНИЕ										
1	7.30 — ОТХОДЫ КОММУНАЛЬНЫЕ, ПОДОБНЫЕ КОММУНАЛЬНЫМ НА ПРОИЗВОДСТВЕ, ОТХОДЫ ПРИ ПРЕДОСТАВЛЕНИИ УСЛУГ НАСЕЛЕНИЮ Твердые коммунальные отходы (ТКО)	Технологическая линия по сжиганию Твердых коммунальных отходов (три линии)	8,33 т/час (8,33х3 = = 25 т/час)	Сжигание на обратно-перетал-кивающей колосниковой решетке	Мокро-сухой абсорбер (известковое молоко + активированный уголь), рукавный фильтр	Выработка электро-энергии 1,2·3=3,6 МВт	Шлак и зола от сжигания	Промышленный образец	Есть, заключение ГЭЭ не предоставлено	Спецзавод № 2, ГУП «Экотехпром», г. Москва
2	7.30 — ОТХОДЫ КОММУНАЛЬНЫЕ, ПОДОБНЫЕ КОММУНАЛЬНЫМ НА ПРОИЗВОДСТВЕ, ОТХОДЫ ПРИ ПРЕДОСТАВЛЕНИИ УСЛУГ НАСЕЛЕНИЮ ТКО	Технологическая линия по сжиганию Твердых коммунальных отходов (две линии)	24 т/ч (24х2 = = 48 т/ч)	Сжигание на наклонно-перетал-кивающей колосниковой решетке	Распределительный абсорбер, рукавный фильтр, система СКВ	Выработка электро-энергии 11 МВт	Шлак и зола от сжигания	Промышленный образец	Есть, заключение ГЭЭ не предоставлено	ООО «ЕФН-Экотехпром МСЗ № 3», г. Москва.
3	7.30 — ОТХОДЫ КОММУНАЛЬНЫЕ, ПОДОБНЫЕ КОММУНАЛЬНЫМ НА ПРОИЗВОДСТВЕ, ОТХОДЫ ПРИ ПРЕДОСТАВЛЕНИИ УСЛУГ НАСЕЛЕНИЮ ТКО	Технологическая линия по сжиганию Твердых коммунальных отходов (три линии)	13,5 т/час (13,5х2 = = 27 т/ч, одна линия в резерве)	Сжигание в вихревом кипящем слое	Мокро-сухой абсорбер (известковое молок + активированный уголь), рукавный фильтр, циклон	Выработка электро-энергии 6·2=12 МВт	Шлак и зола от сжигания	Промышленный образец	Есть, заключение ГЭЭ не предоставлено	Спецзавод № 4, Комплекс по ТБ и БО, ГУП «Экотехпром», г. Москва

№ п/п	Код и наименование блока и типа отходов по ФККО-2014 Вид отхода	Оборудование	Производительность, т/час	Технология	Система очистки газов	Генерация энергии	Образующиеся отходы	Степень внедрения	Наличие разрешения на применение	Применение на предприятиях
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
4	7.30 — ОТХОДЫ КОММУНАЛЬНЫЕ, ПОДОБНЫЕ КОММУНАЛЬНЫМ НА ПРОИЗВОДСТВЕ, ОТХОДЫ ПРИ ПРЕДОСТАВЛЕНИИ УСЛУГ НАСЕЛЕНИЮ ТКО	Технологическая линия по сжиганию Твердых коммунальных отходов (три линии)	6 т/час (6·3 = = 18 т/час)	Сжигание на обратно-перетал-кивающей колосниковой решетке	Осадительная камера, батарейный циклон	Отпуск тепла	Шлак и зола от сжигания	Промышленный образец	Есть, заключение ГЭЭ не предоставлено	МУПВ «Спецзавод № 1», г. Владивосток
5	7.30 — ОТХОДЫ КОММУНАЛЬНЫЕ, ПОДОБНЫЕ КОММУНАЛЬНЫМ НА ПРОИЗВОДСТВЕ, ОТХОДЫ ПРИ ПРЕДОСТАВЛЕНИИ УСЛУГ НАСЕЛЕНИЮ ТКО	Технологическая линия по сжиганию Твердых коммунальных отходов (две линии)	15 т/час (15·2 = = 30 т/час)	Сжигание на валковой колосниковой решетке	Электрофильтр	Отпуск тепла	Шлак и зола от сжигания	Промышленный образец	Есть, заключение ГЭЭ не предоставлено	ОАО «Завод ТО ТБО», г. Мурманск
6	7.30 — ОТХОДЫ КОММУНАЛЬНЫЕ, ПОДОБНЫЕ КОММУНАЛЬНЫМ НА ПРОИЗВОДСТВЕ, ОТХОДЫ ПРИ ПРЕДОСТАВЛЕНИИ УСЛУГ НАСЕЛЕНИЮ ТКО	Технологическая линия по сжиганию Твердых коммунальных отходов (три линии)	15 т/час (15·2 = = 45 т/час)	Сжигание на валковой колосниковой решетке	Электрофильтр	Отпуск тепла	Шлак и зола от сжигания	Промышленный образец	Есть, заключение ГЭЭ не предоставлено	Пятигорский теплоэнергетический комплекс
7	7.30 — ОТХОДЫ КОММУНАЛЬНЫЕ, ПОДОБНЫЕ КОММУНАЛЬНЫМ НА ПРОИЗВОДСТВЕ, ОТХОДЫ ПРИ ПРЕДОСТАВЛЕНИИ УСЛУГ НАСЕЛЕНИЮ ТКО	Технологическая линия по сжиганию Твердых коммунальных отходов (две линии)	1,5 т/час (1,5·2 = = 3,0 т/час)	Слоевое сжигание с подвижным подом	Камера дожигания, подача известняка и угля, рукавный фильтр	Отпуск тепла	Шлак и зола от сжигания	Промышленный образец	Есть, заключение ГЭЭ не предоставлено	Череповецкий завод для комплексной переработки ТБО

№ п/п	Код и наименование блока и типа отходов по ФККО-2014 Вид отхода	Оборудование	Производительность, т/час	Технология	Система очистки газов	Генерация энергии	Образующиеся отходы	Степень внедрения	Наличие разрешения на применение	Применение на предприятиях
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
8	7.30 — ОТХОДЫ КОММУНАЛЬНЫЕ, ПОДОБНЫЕ КОММУНАЛЬНЫМ НА ПРОИЗВОДСТВЕ, ОТХОДЫ ПРИ ПРЕДОСТАВЛЕНИИ УСЛУГ НАСЕЛЕНИЮ ТКО	Технологическая линия по сжиганию Твердых коммунальных отходов	20–24 т/час	Сжигание на механической колосниковой решетке	реактор со смесителем-увлажнителем и рукавный фильтр	Выработка электроэнергии на паровой турбине 24 Мвт	Шлак и зола от сжигания	НИОКР	Есть, заключение ГЭЭ не предоставлено	нет
9	2.10 — ОТХОДЫ ДОБЫЧИ ТОПЛИВНО-ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ Замазученные грунты, буровые шламы, окалина и пропанты	УЗГ-1м	6 т/час	Сжигание во вращающейся печи	скруббер	нет	Зола от сжигания	Промышленный образец	Есть, ГЭЭ № 292–08/ХМЭ-0242/02 от 14.07.2008г.	ООО «ЭКО Плюс», г. Лангепас, ПАО «ЛУКОЙЛ»

№ п/п	Код и наименование блока и типа отходов по ФККО-2014 Вид отхода	Оборудование	Производительность, т/час	Технология	Система очистки газов	Генерация энергии	Образующиеся отходы	Степень внедрения	Наличие разрешения на применение	Применение на предприятиях
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
10	3 — ОТХОДЫ ОБРАБАТЫВАЮЩЕЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ; 4- ОТХОДЫ ПОТРЕБЛЕНИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННЫЕ И НЕПРОИЗВОДСТВЕННЫЕ; МАТЕРИАЛЫ, ИЗДЕЛИЯ, УТРАТИВШИЕ ПОТРЕБИТЕЛЬСКИЕ СВОЙСТВА, НЕ ВОШЕДШИЕ В БЛОКИ 1–3, 6–9; 7- ОТХОДЫ ПРИ ВОДОСНАБЖЕНИИ, ВОДООТВЕДЕНИИ, ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ПО СБОРУ И ОБРАБОТКЕ ОТХОДОВ; 9- ОТХОДЫ ПРИ ВЫПОЛНЕНИИ ПРОЧИХ ВИДОВ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ, НЕ ВОШЕДШИЕ В БЛОКИ 1–3, 6–8 Отходы 3–5 классов опасности, в том числе содержащие нефтепродукты, медицинские и биологические отходы, отходы химпроизводства	Инсинератор ИН 50 Турмалин	50–5000 кг/час	Сжигание в подовой печи	Камера дожига газов, циклон, скруббер (сухой/ мокрый)	Возможно комплектация водогрейным утилизатором (теплообменником)	Зола от сжигания	Промышленный образец	Есть, ГЭЭ № 202 от 12 апреля 2013 г.	175 предприятий на территории Российской Федерации
11	7.20 — ОТХОДЫ ПРИ СБОРЕ И ОБРАБОТКЕ СТОЧНЫХ ВОД	Импортное оборудование	3,4 т/час	Сжигание в печи кипящего слоя	Электрофильтр, 2-х ступенчатый	Есть, вырабатывается элек-	Зола от сжигания	Промышлен-	Есть, заключение ГЭЭ	ГУП " Водоканал Санкт-Петербурга", за-

№ п/п	Код и наименование блока и типа отходов по ФККО-2014 Вид отхода	Оборудование	Производительность, т/час	Технология	Система очистки газов	Генерация энергии	Образующиеся отходы	Степень внедрения	Наличие разрешения на применение	Применение на предприятиях
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
	Обезвоженный осадок смеси сырого осадка сточных вод и избыточного уплотненного ила.				скруббер	троэнергия на паровой турбине		ный образец	не предоставлено	вод сжигания осадка сточных вод Юго-Западных ОС.
12	3.01 — ОТХОДЫ ПРОИЗВОДСТВА ПИЩЕВЫХ ПРОДУКТОВ, НАПИТКОВ, ТАБАЧНЫХ ИЗДЕЛИЙ 4- ОТХОДЫ ПОТРЕБЛЕНИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННЫЕ И НЕПРОИЗВОДСТВЕННЫЕ; МАТЕРИАЛЫ, ИЗДЕЛИЯ, УТРАТИВШИЕ ПОТРЕБИТЕЛЬСКИЕ СВОЙСТВА, НЕ ВОШЕДШИЕ В БЛОКИ 1–3, 6–9 Отходы, содержащие нефтепродукты, растительные и животные жиры, спиртосодержащие отходы.	Печь УУН 0,8	0,5–2 т/час	Сжигание в печи барабанного типа	1.Фильтр грубой очистки (Циклон) 2.Фильтр тонкой очистки (Скруббер с водяной очисткой) (10 % щелочной раствор NaOH)	нет	Зола от сжигания Грунт технологический	Промышленный образец	Есть, заключение ГЭЭ не предоставлено	ООО «Агентство Ртутная Безопасность», Краснодарский край

№ п/п	Код и наименование блока и типа отходов по ФККО-2014 Вид отхода	Оборудование	Производительность, т/час	Технология	Система очистки газов	Генерация энергии	Образующиеся отходы	Степень внедрения	Наличие разрешения на применение	Применение на предприятиях
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
13	3 — ОТХОДЫ ОБРАБАТЫВАЮЩЕЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ; 4- ОТХОДЫ ПОТРЕБЛЕНИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННЫЕ И НЕПРОИЗВОДСТВЕННЫЕ; МАТЕРИАЛЫ, ИЗДЕЛИЯ, УТРАТИВШИЕ ПОТРЕБИТЕЛЬСКИЕ СВОЙСТВА, НЕ ВОШЕДШИЕ В БЛОКИ 1–3, 6–9; 7- ОТХОДЫ ПРИ ВОДОСНАБЖЕНИИ, ВОДООТВЕДЕНИИ, ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ПО СБОРУ И ОБРАБОТКЕ ОТХОДОВ; 9- ОТХОДЫ ПРИ ВЫПОЛНЕНИИ ПРОЧИХ ВИДОВ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ, НЕ ВОШЕДШИЕ В БЛОКИ 1–3, 6–8 ТКО, нефтесодержащие отходы, деревянные шпалы, медицинские и биологические отходы	КТО-1000.3.В / КТО-1000.Ш	1 т/час	Сжигание во вращающейся печи	Камера дожига газов, Механическая очистка газов (рукавный фильтр, керамический патронный фильтр, мокрое пылеулавливание) Химическая очистка газов (сухой, полусухой, мокрый скруббер)	Есть, вырабатывается тепловая энергия в виде горячей воды или пара 2,5–3 Квт	Зола от сжигания	Промышленный образец	Есть, ГЭЭ № 677 от 28 октября 2014 г.	1) ООО «ТК «НефтеХимГаз» г. Москва 2) ОАО "РЖД" г. Москва
14	7.20 — ОТХОДЫ ПРИ СБОРЕ И ОБРАБОТКЕ СТОЧНЫХ ВОД	КТО-1000.БМ.КСЖ / КТО-1000.БМ	1 т/час	Сжигание в циклонном реакторе	Камера дожига газов, мехочистка	Есть, вырабатывается тепло-	Зола от сжигания	Промышлен-	Есть, ГЭЭ № 677 от	1) ООО «Газпром инвест Запад», КС «Портовая»

№ п/п	Код и наименование блока и типа отходов по ФККО-2014 Вид отхода	Оборудование	Производительность, т/час	Технология	Система очистки газов	Генерация энергии	Образующиеся отходы	Степень внедрения	Наличие разрешения на применение	Применение на предприятиях
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
	Осадки промышленных сточных вод, в т. ч. метанольный раствор	.Ц			газов (фильтры рукавный, керамический патронный, мокрое пылеулавливание), химочистка газов (сухой, полусухой, мокрый скруббер)	вая энергия в виде горячей воды или пара 1,5–2 Квт		ный образец	28 октября 2014 г.	СПб, 2) ООО «Газпром добыча Надым», Бованенковское НГКМ ЯНАО, г. Надым 3) ОАО «Выксунский металлургический завод» Нижегородская область, г. Выкса 4) ООО «Газпром инвест запад» КС «Киринская» СПб
15	3 — ОТХОДЫ ОБРАБАТЫВАЮЩЕЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ; 4- ОТХОДЫ ПОТРЕБЛЕНИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННЫЕ И НЕПРОИЗВОДСТВЕННЫЕ; МАТЕРИАЛЫ, ИЗДЕЛИЯ, УТРАТИВШИЕ ПОТРЕБИТЕЛЬСКИЕ СВОЙСТВА, НЕ ВОШЕДШИЕ В БЛОКИ 1–3, 6–9; 7- ОТХОДЫ ПРИ ВОДОСНАБЖЕНИИ, ВОДООТВЕДЕНИИ, ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ПО СБОРУ И ОБРАБОТКЕ ОТХОДОВ;	Мусоросжигательная установка СВ 128SW-L	0,3 т/час	Сжигание в камерной печи сжигания, оборудованная системой поддувал	Камера дожига газов	нет	Зола от сжигания	Промышленный образец	Есть ГЭЭ № 180 от 18 декабря 2014 г.	АО «ЧГГК», г. Анадырь

№ п/п	Код и наименование блока и типа отходов по ФККО-2014 Вид отхода	Оборудование	Производительность, т/час	Технология	Система очистки газов	Генерация энергии	Образующиеся отходы	Степень внедрения	Наличие разрешения на применение	Применение на предприятиях
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
	ТБО, промышленные, в т.ч. нефтесодержащие, отходы									
16	3 — ОТХОДЫ ОБРАБАТЫВАЮЩЕЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ; 7.30 — ОТХОДЫ КОММУНАЛЬНЫЕ, ПОДОБНЫЕ КОММУНАЛЬНЫМ НА ПРОИЗВОДСТВЕ, ОТХОДЫ ПРИ ПРЕДОСТАВЛЕНИИ УСЛУГ НАСЕЛЕНИЮ ТБО, промышленные, в т.ч. нефтесодержащие, отходы	Установка «Форсаж-2М»	180 кг/час	Сжигание в камере сгорания (бочке)	Камера дожига газов	нет	Зола от сжигания	Промышленный образец	Есть, ГЭЭ № 273 от 24 ноября 2004 г.	ООО «УНР-17» Владимирская обл.
17	7.30 — ОТХОДЫ КОММУНАЛЬНЫЕ, ПОДОБНЫЕ КОММУНАЛЬНЫМ НА ПРОИЗВОДСТВЕ, ОТХОДЫ ПРИ ПРЕДОСТАВЛЕНИИ УСЛУГ НАСЕЛЕНИЮ 9- ОТХОДЫ ПРИ ВЫПОЛНЕНИИ ПРОЧИХ ВИДОВ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ, НЕ ВОШЕДШИЕ В БЛОКИ 1–3, 6–8	Инсинераторная установка ИУ-80	0,18 т/час	Сжигание в печи	Камера дожига газов	нет	Зола от сжигания	Промышленный образец	Есть, ГЭЭ не предоставлено	МУП МО «НР» «Переработчик» г. Нерюнгри

№ п/п	Код и наименование блока и типа отходов по ФККО-2014 Вид отхода	Оборудование	Производительность, т/час	Технология	Система очистки газов	Генерация энергии	Образующиеся отходы	Степень внедрения	Наличие разрешения на применение	Применение на предприятиях
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
	Отходы пищевой продукции, нефтесодержащие отходы, отходы целлюлозно-бумажного производства, органические отходы, отходы медицинских учреждений.									
18	3 — ОТХОДЫ ОБРАБАТЫВАЮЩЕЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ; 4- ОТХОДЫ ПОТРЕБЛЕНИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННЫЕ И НЕПРОИЗВОДСТВЕННЫЕ; МАТЕРИАЛЫ, ИЗДЕЛИЯ, УТРАТИВШИЕ ПОТРЕБИТЕЛЬСКИЕ СВОЙСТВА, НЕ ВОШЕДШИЕ В БЛОКИ 1–3, 6–9; 7- ОТХОДЫ ПРИ ВОДОСНАБЖЕНИИ, ВОДООТВЕДЕНИИ, ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ПО СБОРУ И ОБРАБОТКЕ ОТХОДОВ; 9- ОТХОДЫ ПРИ ВЫПОЛНЕНИИ ПРОЧИХ ВИДОВ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ, НЕ ВОШЕДШИЕ В БЛОКИ 1–3, 6–8	КТО-50.К20.П КТО-50.К40.П КТО-50.БМ.П КТО-100.К40.П КТО-100.МК КТО-150.3.П КТО-150.БМ.П	Кто50 (0,05 т/час) Кто100 (0,1 т/час) Кто150 (0.15 т/час)	Сжигание в подовой печи	Камера дожига газов, Механическая очистка газов (рукавный фильтр, керамический патронный фильтр, мокрое пылеулавливание) Химическая очистка газов (сухой, полусухой, мокрый скруббер)	Есть, для КТО 150 вырабатывается тепловая энергия в виде горячей воды или пара 0,3–0,4 Квт	Зола от сжигания	Промышленный образец	Есть, ГЭЭ № 677 от 28 октября 2014 г.	20 предприятий на территории Российской Федерации

№ п/п	Код и наименование блока и типа отходов по ФККО-2014 Вид отхода	Оборудование	Производительность, т/час	Технология	Система очистки газов	Генерация энергии	Образующиеся отходы	Степень внедрения	Наличие разрешения на применение	Применение на предприятиях
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
	ТБО, промышленные (в том числе нефтесодержащие), медицинские, биологические отходы									
19	3 — ОТХОДЫ ОБРАБАТЫВАЮЩЕЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ; 4- ОТХОДЫ ПОТРЕБЛЕНИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННЫЕ И НЕПРОИЗВОДСТВЕННЫЕ; МАТЕРИАЛЫ, ИЗДЕЛИЯ, УТРАТИВШИЕ ПОТРЕБИТЕЛЬСКИЕ СВОЙСТВА, НЕ ВОШЕДШИЕ В БЛОКИ 1–3, 6–9; 9- ОТХОДЫ ПРИ ВЫПОЛНЕНИИ ПРОЧИХ ВИДОВ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ, НЕ ВОШЕДШИЕ В БЛОКИ 1–3, 6–8 Промышленные, медицинские, биоорганические отходы	Мобильный инсинератор «Hurikan-150»	50–75 кг/час	Сжигание в камернойпеч	Камера дожига газов	нет	Зола от сжигания	Промышленный образец	Есть, заключение ГЭЭ не предоставлено	ООО «Агентство Ртутная Безопасность» Краснодарский край

№ п/п	Код и наименование блока и типа отходов по ФККО-2014 Вид отхода	Оборудование	Производительность, т/час	Технология	Система очистки газов	Генерация энергии	Образующиеся отходы	Степень внедрения	Наличие разрешения на применение	Применение на предприятиях
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
20	4- ОТХОДЫ ПОТРЕБЛЕНИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННЫЕ И НЕПРОИЗВОДСТВЕННЫЕ; МАТЕРИАЛЫ, ИЗДЕЛИЯ, УТРАТИВШИЕ ПОТРЕБИТЕЛЬСКИЕ СВОЙСТВА, НЕ ВОШЕДШИЕ В БЛОКИ 1–3, 6–9; Нефтесодержащие отходы, отработанные фильтры; промасленная ветошь, опилки; отработанные сорбенты.	Установка «Форсаж-1»	0,05т/час	Сжигание в камере сгорания (бочке)	Камера дожига газов	нет	Зола от сжигания	Промышленный образец	Есть, ГЭЭ № 77.01.30.312.Л.07782.04.3 от 3 апреля 2003 г.	более 10 предприятий на территории Российской Федерации
ПИРОЛИЗ										
21	2.10 — ОТХОДЫ ДОБЫЧИ ТОПЛИВНО-ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ Нефтешламы, отходы бурения	УТД-2	800–1500 кг/час	Низкотемпературный пиролиз, без доступа кислорода в реакторе	Фильтр пиролизных газов	Есть, дополнительно комплектуется системой рекуперации тепла и выработки электричества	Пиролизное топливо, пиролизный газ, песок	Промышленный образец	Есть, ГЭЭ № 576 от18.09.2014 г.	ООО НПП "Союзгазтехнология» г. Тюмень.
22	3 — ОТХОДЫ ОБРАБАТЫВАЮЩЕЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ Резиносодержащие и полимерсодержащие отходы	Установка пиролиза FORTAN-2	345 кг/час	Низкотемпературный пиролиз в ретортной печи	Нет Планируется дооснащение пенным аппаратом для очистки газов	нет	пиролизное масло/ технический углерод/ металлокорд	Промышленный образец	Есть, заключение ГЭЭ не предоставлено	ООО «ТТ ГРУПП», Краснодарский край

№ п/п	Код и наименование блока и типа отходов по ФККО-2014 Вид отхода	Оборудование	Производительность, т/час	Технология	Система очистки газов	Генерация энергии	Образующиеся отходы	Степень внедрения	Наличие разрешения на применение	Применение на предприятиях
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
23	2.10 — ОТХОДЫ ДОБЫЧИ ТОПЛИВНО-ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ Нефтяные шламы	Опытный образец оборудования термической переработки нефтяных шламов	0,3 т/час	Низкотемпературный пиролиз нефтяных шламов в паровой среде	Скруббер	Тепловая энергия в виде горячей воды	Жидкие углеводороды, Неорганические материалы (песок, оксиды железа, глина, гравий и др.)	Опытный образец	Есть, заключение ГЭЭ не предоставлено	нет
24	3 — ОТХОДЫ ОБРАБАТЫВАЮЩЕЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ; 4- ОТХОДЫ ПОТРЕБЛЕНИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННЫЕ И НЕПРОИЗВОДСТВЕННЫЕ; МАТЕРИАЛЫ, ИЗДЕЛИЯ, УТРАТИВШИЕ ПОТРЕБИТЕЛЬСКИЕ СВОЙСТВА, НЕ ВОШЕДШИЕ В БЛОКИ 1–3, 6–9; 7- ОТХОДЫ ПРИ ВОДОСНАБЖЕНИИ, ВОДООТВЕДЕНИИ, ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ПО СБОРУ И ОБРАБОТКЕ ОТХОДОВ; ТБО, резинотех. изделия, отходы пластмассы, ЦБК, органические, медицинские.	Установка переработки отходов ЭКОМАШ-01/ Комплекс EcoMachine AMR-100	250 кг/час	Низкотемпературный пиролиз в шахтном реакторе вертикальном	Трехступенчатая очистка газов	Есть Вырабатывается генераторный газ для газопоршневого генератора	Синтетический (пиролизный газ). Пиролизная жидкость, зола (сажа)	Промышленный образец	Есть, заключение ГЭЭ не предоставлено	Оренбург, Пермь, Ярославль, Тверь,

№ п/п	Код и наименование блока и типа отходов по ФККО-2014 Вид отхода	Оборудование	Производительность, т/час	Технология	Система очистки газов	Генерация энергии	Образующиеся отходы	Степень внедрения	Наличие разрешения на применение	Применение на предприятиях
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
25	4- ОТХОДЫ ПОТРЕБЛЕНИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННЫЕ И НЕПРОИЗВОДСТВЕННЫЕ; МАТЕРИАЛЫ, ИЗДЕЛИЯ, УТРАТИВШИЕ ПОТРЕБИТЕЛЬСКИЕ СВОЙСТВА, НЕ ВОШЕДШИЕ В БЛОКИ 1–3, 6–9; Резиносодержащие отходы и ветошь	УПОР-1ш	250 кг/час	Пиролиз в реакторе	Центробежный сепаратор аэрозолей	нет	Пиролизное топливо, металлолом, зола	Промышленный образец	Есть, ГЭЭ № 292–08/ХМЭ-0242/02 от 14 июля 2008 г.	ООО «ЭКО Плюс», г. Лангепас
26	4- ОТХОДЫ ПОТРЕБЛЕНИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННЫЕ И НЕПРОИЗВОДСТВЕННЫЕ; МАТЕРИАЛЫ, ИЗДЕЛИЯ, УТРАТИВШИЕ ПОТРЕБИТЕЛЬСКИЕ СВОЙСТВА, НЕ ВОШЕДШИЕ В БЛОКИ 1–3, 6–9; Резинотехнические отходы, шины	УТД-1	100 кг/час	Низкотемпературный пиролиз, без доступа кислорода в реакторе	Фильтр пиролизных газов	Есть, дополнительно комплектуется системой рекуперации тепла и выработки электричества	Пиролизное топливо, пиролизный газ, металлолом, зола	Промышленный образец	Есть, ГЭЭ № 576 от18.09.2014 г.	1) ГУП Калининградской области «Единая система обращения с отходами», г. Калининград. 2) ООО НПП "Союзгазтехнология» г. Тюмень.

№ п/п	Код и наименование блока и типа отходов по ФККО-2014 Вид отхода	Оборудование	Производительность, т/час	Технология	Система очистки газов	Генерация энергии	Образующиеся отходы	Степень внедрения	Наличие разрешения на применение	Применение на предприятиях
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
27	3 — ОТХОДЫ ОБРАБАТЫВАЮЩЕЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ; 4- ОТХОДЫ ПОТРЕБЛЕНИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННЫЕ И НЕПРОИЗВОДСТВЕННЫЕ; МАТЕРИАЛЫ, ИЗДЕЛИЯ, УТРАТИВШИЕ ПОТРЕБИТЕЛЬСКИЕ СВОЙСТВА, НЕ ВОШЕДШИЕ В БЛОКИ 1–3, 6–9; 7- ОТХОДЫ ПРИ ВОДОСНАБЖЕНИИ, ВОДООТВЕДЕНИИ, ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ПО СБОРУ И ОБРАБОТКЕ ОТХОДОВ; 9- ОТХОДЫ ПРИ ВЫПОЛНЕНИИ ПРОЧИХ ВИДОВ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ, НЕ ВОШЕДШИЕ В БЛОКИ 1–3, 6–8	Инсинератор «Мюллер» С.Р.50	0,05 т/час	Высокотемпературный пиролиз в камерной печи	Камера дожига газов, «сухая» очистка газов, на основе реагентов в виде камней кальция и активированного угля	Есть, тепловая энергия для обогрева воды	Зола от сжигания	Промышленный образец	Есть, заключение ГЭЭ не предоставлено	ООО «Биопотенциал», г. Краснодар

№ п/п	Код и наименование блока и типа отходов по ФККО-2014 Вид отхода	Оборудование	Производительность, т/час	Технология	Система очистки газов	Генерация энергии	Образующиеся отходы	Степень внедрения	Наличие разрешения на применение	Применение на предприятиях
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
	СОЗ, сельскохозяйственные ядохимикаты, отходы производства, включая пластики, содержащие хлорированные углеводороды; жидкие, в том числе содержащие нефтепродукты, осадки сточных вод, «хвосты» ТБО, отходы медицинские и биологические, пищевой и фармацевтической промышленности.									
ГАЗИФИКАЦИЯ										
28	7.40 — ОТХОДЫ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ПО ОБРАБОТКЕ ОТХОДОВ Хвосты ТБО	Вихревой газогенератор ГГВ-3000	1000–1200 кг/час	термическая конверсия при недостатке кислорода	скрубберы с теплообменниками	Вырабатывается генераторный газ для газопоршневого генератора	Зола от сжигания	Промышленный образец	Есть, заключение ГЭЭ не предоставлено	
29	7.40 — ОТХОДЫ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ПО ОБРАБОТКЕ ОТХОДОВ	Дожигатель газов регенеративный	500 м3/ч	Дожиг. газов в камере сгора-	есть	(ДРГ 0,5 нет) ДРГ-5–20	Зола от сжигания 4,3 %	(ДРГ 0,5 НИОК	Есть, заключение	

№ п/п	Код и наименование блока и типа отходов по ФККО-2014 Вид отхода	Оборудование	Производительность, т/час	Технология	Система очистки газов	Генерация энергии	Образующиеся отходы	Степень внедрения	Наличие разрешения на применение	Применение на предприятиях
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
	Загрязненные газообразные отходы	ДГР-0,5 ДРГ-5, ДРГ-10, ДРГ-20		ния, 2-х регенеративных камерах с газопроницаемой теплообменной насадкой в усл. интенсивного перемешивания		горячая вода		Р) ДРГ-5–20 Промышленный образец	ГЭЭ не предоставлено	
30	7- ОТХОДЫ ПРИ ВОДОСНАБЖЕНИИ, ВОДООТВЕДЕНИИ, ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ПО СБОРУ И ОБРАБОТКЕ ОТХОДОВ; Жидкая фаза отходов бурения	Установка термической ликвидации сточных вод УТЛСВ	10 м3/час	Распыление в парообразном состоянии в пламя газового факела	нет	нет	Зола от сжигания	Промышленный образец	Есть, ГЭЭ № 576 от18.09. 2014 г.	НПП «СГТ», г. Тюмень

№ п/п	Код и наименование блока и типа отходов по ФККО-2014 Вид отхода	Оборудование	Производительность, т/час	Технология	Система очистки газов	Генерация энергии	Образующиеся отходы	Степень внедрения	Наличие разрешения на применение	Применение на предприятиях
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
31	4- ОТХОДЫ ПОТРЕБЛЕНИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННЫЕ И НЕПРОИЗВОДСТВЕННЫЕ; МАТЕРИАЛЫ, ИЗДЕЛИЯ, УТРАТИВШИЕ ПОТРЕБИТЕЛЬСКИЕ СВОЙСТВА, НЕ ВОШЕДШИЕ В БЛОКИ 1–3, 6–9; 7- ОТХОДЫ ПРИ ВОДОСНАБЖЕНИИ, ВОДООТВЕДЕНИИ, ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ПО СБОРУ И ОБРАБОТКЕ ОТХОДОВ; Отработанное компрессорное и машинное масло, танковые и продувочные газы, кубовый остаток, воздух от местных отсосов	Печь сжигания отходов производства	6,30 м3/ч	термическое уничтожение разнообразных отходов производства в пламене природного газ.	Не указано	нет	Не указано	Промышленный образец	Есть, ГЭЭ № 576 от18.09. 2014 г.	Филиал «Азот» ОАО «Объединенная химическая компания «УРАЛХИМ», г. Березники

Таблица 1.3 — Предприятия, на которых применяются инсинераторы ИН 50

№	Наименование, местонахождение
1	ОАО «МРТС-Восток», г. Южно-Сахалинск
2	ТОО «Minertools (Майнэртулс)»
3	ООО «Мед-Экология», г. Сыктывкар
4	Департамент имущественных отношений Администрации города Новый Уренгой, г. Новый Уренгой
5	ФГКУ «Росгранстрой»
6	ООО «Строительная инвестиционная группа», Белгородская область
7	Находкинская городская больница ООО «ДИС», г. Находка
8	Аэропорт Улан-Удэ
9	ООО «ТЕЛР°С Интеграция», г. Санкт-Петербург
10	Аэропорт Томск
11	ООО «ТЕЛР°С Интеграция», г. Санкт-Петербург
12	ЗАО «Золотодобывающая компания «Полюс», Красноярский край
13	ООО «ЭкоТрансСервис», г. Череповец
14	БУЗ «Воронежский областной центр по профилактике и борьбе со СПИД и инфекционными заболеваниями», г. Воронеж
15	Полигон ТБО, г. Нальчик
16	ООО «Экологические системы», г. Новосибирск
17	ООО «Центр утилизации», г. Томск
18	ОАО «Морской торговый порт «Усть-Луга», ФГУП «Росморпорт», Ленинградская обл.
19	ООО «Блюм Кениг» ОГУП «Единая система обращения с отходами» (ЕСОО), г. Калининград
20	ГУЗ Читинский областной онкологический диспансер, г. Чита
21	ООО «Эк°Сервис», г. Барнаул
22	ООО «Промэкология», г. Екатеринбург

№	Наименование, местонахождение
23	ООО «ЭкоТехнологии», г. Омск
24	ОАО «ТНК-ВР»
25	ООО «ТНК-Уват» Тюменская обл., месторождения: Тямкинское, Урненское, Усть-Тегусское, Южно-Петьегское. Эксплуатирующее предприятие ООО «Универсал-Сервис»
26	ОАО «Газпром», п/о Ямал, ДОАО «Спецгазавтотранс», Лабытнанги
27	Производственный участок на Бованенковском месторождении, г. Ижевск, Удмуртия, НК «Роснефть»
28	ЗАО «Ванкорнефть» Красноярский край, п. Туруханск
29	ОАО «Транснефть
30	ООО «СМНП «Козьмино» Приморский край, г. Находка
31	ЗАО «Трест Коксохиммонтаж», г. Москва
32	ОАО «Боксит Тимана», г. Ухта Вахтовый поселок Средне-Тиманского рудника
33	Российская антарктическая экспедиция Антарктическая станция «Прогресс- 2», Антарктическая станция «Новолазаревская»
34	Поселок военной базы о. Александры, Земля Франца-Иосифа (Северный полюс)
35	ООО «ЭЛЕКТРО-ЛТ», г. Москва
36	Служба внешней разведки России в/ч 55240, г. Москва
37	ООО «Утилитсервис», Тюменская обл.: г. Сургут, г. Тюмень
38	ООО «Утилитсервис», г. Новосибирск
39	ТОО «Олжас», Казахстан: г. Алматы, г. Актобе, г. Астана, г. Караганда, г. Тараз
40	Федеральная таможенная служба России Таможенный пост и пункт пропуска «Адлер», Станция Веселое, г. Сочи
41	ООО «РСУ № 5», Санкт-Петербург
42	Федеральная таможенная служба России, МАПП «Верхний Ларс», г. Владикавказ
43	ООО «Дирекция по строительству МАПП»
44	ФГУП «Государственный завод медицинских препаратов», г. Москва

№	Наименование, местонахождение
45	Центральный банк Российской Федерации, Технологический центр «Нудоль», п. Нарынка, Московская обл.
46	ООО «Экологическая инициатива», г. Киров,
47	Полигон ТБО, п. Костино
48	ООО «Сахалинская компания по утилизации отходов «Эк°Сервис», г. Южно-Сахалинск
49	ООО «Центр управления медицинскими отходами», г. Курган
50	ООО «Центр управления медицинскими отходами», Пермский край, Полигон ТБО в ЗАТО «Звездный»
51	Министерство обороны Российской Федерации, Военный госпиталь ВДВ, г. Краснознаменск
52	Министерство обороны Российской Федерации, Военный госпиталь ВДВ, г. Тула
53	Министерство обороны Российской Федерации, Военный госпиталь ЛенВО, г. Выборг, Ленинградская обл.
54	Гарнизонный госпиталь п. Рыбачий, ЗАТО «Вилючинск», Камчатская обл.
55	ФГУП «ГУСС Дальспецстрой», г. Хабаровск
56	Министерство обороны Российской Федерации, Поликлинический консультативно-диагностический Центр, г. Камбарка, республика Удмуртия
57	ЗАО «ПКО «Тюмень-Универсал»
58	Правительство республики Удмуртия
59	ГУЗ «Республиканский клинический онкологический диспансер»,
60	ГУ «УКС Правительства Удмуртской Республики», г. Ижевск
61	ФГУЗ ЦМСЧ № 38 ФМБА России, г. Сосновый Бор, Ленинградская обл.
62	Ангарская городская больница № 1, г. Ангарск
63	ООО «Клиника XXI века — современный медицинский центр им. Х. М. Совмена», республика Адыгея, аул Афипсип, Тахтамукайский р-н
64	Мэрия города Ольсбург, Дания, ЕС (Программа ТАСИС)
65	Мэрия города Калининграда, МУЗ «Городская многопрофильная больница», г. Калининград

№	Наименование, местонахождение
66	Правительство Санкт-Петербурга, ГУЗ «Городская туберкулезная больница № 2», г. Санкт-Петербург
67	Администрация Иркутской области, ОГУЗ «Иркутская областная психиатрическая больница № 3», д. Сосновый Бор, Иркутская обл.
68	Родильный дом при МУЗ «Красногвардейская центральная больница», с. Красногвардейское, Ставропольский край
69	Родильный дом г. Балаково, Саратовская обл.
70	Ветеринарная корпорация ООО «Вит-Джоржия», г. Тбилиси, Грузия
71	ООО «Геракл», г. Котлас, Архангельская обл.
72	Аэропорт «Нижневартовск», ОАО «Нижневартовск-Авиа», г. Нижневартовск
73	Аэропорт «Ханты-Мансийск», ОАО «Югра-Авиа», ХМАО
74	Администрация города Уфы, МУП «Спецавтохозяйство по уборке города», г. Уфа, республика Башкирия
75	Администрация Архангельской области, СМУП «Спецавтохозяйство», г. Северодвинск
76	Администрация г. Магадана, МУ «Комбинат зеленого хозяйства», г. Магадан
77	ГМУП «Автотранспортное управление», ХМАО, г. Нижневартовск, г. Лангепас
78	МГУП «Промотходы», г. Москва
79	ЗАО «Завод «ТЭКОН», эксплуатирующее предприятие ООО «ЦУОО», г. Санкт-Петербург
80	ООО «Промстрой «СУ-1», г. Чайковский, Пермский край.
81	ООО «Пензавторсырье», г. Пенза
82	ООО «Видком», г. Санкт-Петербург
83	ТОО «Вест Дала», г. Атырау, Казахстан
84	ТОО «Барт Медиа», г. Алматы, Казахстан
85	ТОО «СпецСервис-Актау», г. Актау, Казахстан
86	ООО «ЮТА», Городской полигон ТБО, г. Нягань
87	Полигон ТБО, г. Березники, Пермский край

№	Наименование, местонахождение
88	ООО «Стимул», г. Липецк
89	ФГБУН Институт проблем химико-энергетических технологий РАН, г. Бийск
90	ГНЦ Российской Федерации ФГУП «ЦНИИХМ им. Д. И. Менделеева», г. Москва
91	ОАО «Газпром»
92	ЗАО «ЯмалГазИнвест»
93	ОАО «Гипроспецгаз», Санкт-Петербург — генпроектировщик Магистральный газопровод «СРТО-Торжок», КС «Вуктыльская», КС «Приводино», КС «Новогрязовецкая», КС «Новоюбилейная»
94	ОАО «АК «Транснефть»
95	AMERCO International LTD Великобритания
96	ООО «Спецморнефтепорт Приморск», Ленинградская обл.
97	НК «Лукойл»
98	ОАО «РПК «Высоцк-Лукойл-2», Нефтепорт «Высоцк», Ленинградская обл.
99	ОАО «РЖД», Управление Октябрьской ж/д, г. Санкт-Петербург
100	ТОО «Олжас», г. Алматы, Казахстан
101	Вахтовый поселок нефтепорта в пос. ДеКастри (Сахалин-1)
102	PoongLim, Co., Южная Корея — генподрядчик
103	Астраханский ГПЗ, г. Астрахань
104	ТОО «Иволга Холдинг», г. Костанай, Казахстан
105	ЗАО «РосПродИмпорт», г. Владивосток
106	ОАО «НИПИГазпереработка», г. Краснодар
107	ФГУП по производству бакпрепаратов НИИЭМ им. Пастера, г. Санкт-Петербург
108	ОАО «Можгинское строительное объединение», г. Можга, Удмуртская р-ка
109	Управление здравоохранения Архангельской области, г. Северодвинск, г. Новодвинск

№	Наименование, местонахождение
110	УНР Министерства обороны Российской Федерации, Окружной военный госпиталь СКВО МО Российской Федерации, 522 Центр приема, обработки и отправки погибших, г. Ростов-на-Дону • ИН-50.1 (50 кг/ч) · груз 200
111	Окружной социальный геронтологический центр и детский дом, п. Снежный, г. Сургут
112	СГМУП «Тепловик», г. Сургут, Тюменская обл.
113	МУ «Туберкулезная больница № 11», г. Солнечногорск, Московская обл.
114	ОАО «НК «Роснефть», Вахтовый поселок строителей опорной базы промысла «Ванкор», Красноярский край
115	ОАО «Морской порт, «Санкт-Петербург»
116	Детская база отдыха «Маяк»
117	ФГУП «Росморпорт», г. Москва Морской порт «Восточный-2», г. Находка, Приморский край
118	Правительство США, Fluor International Inc Raytheon Technical Services Company LLC
119	ФГУ «Федеральный центр охраны здоровья животных», г. Владимир.
120	ООО «Утилитсервис», Тюменская область, г. Тюмень, г. Сургут
121	ТОО «Олжас», Казахстан (для г. Чимкент), г. Алматы
122	Фабрика «Гознак,» г. Санкт-Петербург
123	Служба внешней разведки России в/ч 55240, г. Москва
124	ОАО «Нижфарм»/ г. Нижний Новгород
125	ОАО «Красный гидропресс»/ г. Таганрог
126	ОАО «Петрохолод»/ г. Санкт-Петербург
127	ЗАО «Моспромстрой»/ фирма «Мосстрой-16», г. Москва
128	Правительство Санкт-Петербурга, Государственный медицинский университет им. ак. И. П. Павлова, г. Санкт-Петербург
129	Управление ветеринарии Спб, Правительство Санкт-Петербурга, ГУ «Городской ветеринарный центр», г. Санкт-Петербург
130	Правительство Санкт-Петербурга, ГУЗ «Ленинградская областная детская клиническая больница», г. Санкт-Петербург
131	НМП «Чистый город», Полигон ТБО, г. Новокуйбышевск

№	Наименование, местонахождение
132	Унитарное муниципальное НПП по обращению с отходами «Экопол», Полигон ТБО, г. Воронеж
133	Завод по переработке резинотехнических изделий, г. Москва
134	Трамвайный парк, г. Санкт-Петербург
135	Цех деревообработки Управления ЖКХ Парголовского района, г. Санкт-Петербург
136	ИП Дьяконов Александр Александрович/ г. Южно-Сахалинск
137	ГУ «Бюро судмедэкспертизы Новосибирской области», г. Новосибирск
138	ГУ «Бюро судмедэкспертизы Ленинградской области», г. Тосно, Ленинградская обл.
139	ОАО «МРТС-Восток», г. Южно-Сахалинск
140	Госкорпорация «Росатом»
141	ФГУП «Комбинат «Электрохимприбор», г. Лесной (Свердловская область)
142	ЗАО «Уралоборудование», г. Екатеринбург
143	ФГУП «Росморпорт», г. Находка, Приморский край
144	ОАО «АК «Транснефтепродукт», Морской торговый порт, г. Приморск, Ленинградская обл.
145	ОАО «РЖД», ООО «Тихорецкий шпалопропиточный завод», Краснодарский край
146	НК «Лукойл», ООО «Лукойл-Калининградморнефть», г. Калининград
147	Федеральное агентство по атомной энергии, генпроектировщик: ФГУП «Государственный специализированный проектный институт», г. Москва
148	Правительство США, Fluor International Inc, Raytheon Technical Services Company LLC
149	ФГУ «Федеральный центр охраны здоровья животных», г. Владимир
150	ABB LummusGlobal, США
151	«Сахалин-1», Вахтовый поселок, месторождение Чайво
152	Управление по ОСС для управления по ветеринарии правительства Санкт-Петербурга, ГУ «Городской ветеринарный центр»
153	ГУП РМ «Саранский ветеринарно- санитарный утильзавод», г. Саранск

№	Наименование, местонахождение
154	Комитет городского хозяйства Администрации городского округа, Центр уничтожения бродячих животных, г. Калининград
155	ООО «Кольская корпоративная компания»/ пос. Кола, г. Мурманск
156	ООО «Чистый город», г. Благовещенск, Амурская обл.
157	ЗАО «Август-Бел», Минская обл., Беларусь
158	ОАО «Вурнарский завод смесевых препаратов», п. Вурнары, республика Чувашия
159	ООО «Утилитсервис», г. Тюмень, г. Сургут
160	ЗАО «РосПродИмпорт», г. Владивосток
161	ЗАО «Вологодский подшипниковый завод», г. Вологда
162	МУП «Спецавтобаза», г. Екатеринбург
163	ООО «Грин-Порт», г. Одесса, Украина
164	ООО «Экоресурс», г. Красноярск
165	ОАО «Газпром», КС «Портовая»
166	ЗАО «РусГазИнжиниринг», г. Выборг
167	ОАО «РЖД», Восточно-Сибирская ж/д, Цех утилизации отходов, ж/д станция Тагул, Иркутская обл.
168	ООО «Рошальский завод пластификаторов», г. Рошаль, Московская обл.
169	ООО «Пластойл», г. Пермь
170	ФГУАП «Пулково», г. Санкт-Петербург
171	ЗАО «Полигон ЛТД», г. Сургут, Тюменская обл.
172	ТОО «Вест Дала», г. Атырау, Казахстан
173	Месторождения: Мастерьельское, Северо-Мастерьельское, ОАО «Комнедра», республика Коми.
174	SHELL, Великобритания-Голландия, SalymPetroleumDevelopment N. V., г. Тюмень
175	ОАО «Морской порт «Санкт-Петербург» (III район)
176	ЗАО «РосПродИмпорт», г. Владивосток

№	Наименование, местонахождение
177	Месторождения: Мастерьельское, Северо-Мастерьельское, ОАО «Комнедра», республика Коми.
178	ТОО «Потенциал Ойл», г. Атырау (Казахстан)
179	УПСВ Октябрьская Правобережного ЦПТНГ, ОАО «Саратовнефтегаз», Саратовская обл.
180	ОАО «Концерн Энергоатом», УКС строящейся Ростовской АЭС, полигон токсичных отходов Волгодонского химического завода, г. Волгодонск, Ростовская область
181	ОАО «Морской торговый порт Усть-Луга», п. Усть-Луга, Ленинградская область
182	Спецплощадка полигона ТБО п. Костино, Кировская обл.
183	Федеральное агентство по науке и инновациям Российской Федерации, г. Москва
184	ООО «Экологическая инициатива», г. Киров
185	Месторождение «Песчаное» ОАО НАК «Аки-Отыр», ХМАО
186	Верхне-Салатское месторождение, Томская обл., ОАО «Томскнефть»

Таблица 1.4. Предприятия, на которых применяются установки КТО-50, КТО-100, КТО-150

№	Наименование, местонахождение
1	ЗАО «Ванкорнефть», г. Красноярск
2	ООО «РН-Северная нефть», г. Усинск
3	ООО «РН-Уватнефтегаз», г Тюмень
4	ООО "Иркутская нефтяная компания", г. Иркутск
5	ООО Фирма "ЭКОТРАК", г. Москва
6	ИП Карабанов А.В., Вологодская область, г. Череповец
7	ОАО "Приборный завод "Сигнал", Калужская область, г. Обнинск
8	ОАО «Первенец», Иркутская область, г. Бодайбо
9	ООО "ОКСА", ХМАО-Югра, г. Сургут
10	ООО "ГМК", Приморский край, г. Владивосток
11	ООО «Золотарь», г. Владивосток
12	ООО «Бумеранг», Приморский край, г. Уссурийск
13	"Эк°Сервис", Южно-Сахалинск, режимная зона аэропота г. Южно-Сахалинск
14	ТОО ЭТК "КазСланец", Казахстан, г. Усть-Каменогорск
15	МБУ УКС по застройке Нижневартовского района, ХМАО-Югра, г. Нижневартовск
16	ОАО «Акционерная нефтяная компания «Башнефть», республика Башкортостан, г.Уфа
17	ООО "Парамушир-град», Камчатский край, г. Петропавловск-Камчатский
18	Администрация ЗАТО Солнечный, Тверская область, р.п. Солнечный
19	Комитет по природопользованию и экологии Администрации г. Сургута, ХМАО, Сургут
20	Научно-производственный центр по охране окружающей среды — филиал ОАО «РЖД», г. Ярославль

Таблица 1.5 Предприятия, на которых применяются установки КТО-1000.БМ.КСЖ / КТО-1000.БМ.Ц

№	Наименование, местонахождение
1	ООО «Газпром инвест Запад», КС «Портовая», г. Санкт-Петербург
2	ООО «Газпром добыча Надым», Бованенковское НГКМ, ЯНАО, г. Надым
3	ОАО «Выксунский металлургический завод», Нижегородская область, г. Выкса
4	ООО «Газпром инвест запад», КС «Киринская», г. Санкт-Петербург

Таблица 1.6 Предприятия, на которых применяются установка «Форсаж-1»

№	Наименование, местонахождение
1	ОАО «Порт Троицы», п. Зарубино, Хасанского района, Приморского края
2	ООО Фирма «Эк°Свет», г. Краснодар
3	ООО «БСК «ГРАНД», Томская область, г.Томск
4	ООО «Интек Агро», г. Ярославль
5	ОАО «Сибирь-Полиметаллы», Алтайский край, Рубцовский район, п. Потеряевка
6	ОАО «МК» Оренбургская обл., г. Орск

Таблица 1.7 — Географическое расположение оборудования по обезвреживанию отходов термическим способом по Федеральным округам Российской Федерации

№	Наименование оборудования	ЦФО	ЮФО	СЗФО	ДФО	СФО	УФО	ПФО	СКФО	КФО
СЖИГАНИЕ										
1	Установка УЗГ-1м, (для утилизации замазученных грунтов, шламов)	-	-	-	-	V	V	V	-	-
2	Инсинератор ИН 50	V	V	V	V	V	V	V	V	
3	Завод сжигания осадка сточных вод	V	-	-	-	-	-	-	-	-
4	Установка сжигания нефтешламов УУН 0,8	-	V	-	-	-	-	-	-	-
5	Комплексы КТО-1000.З.В, КТО-1000.Ш, КТО-1000.БМ.КСЖ, КТО-1000.БМ.Ц	V	-	V	-	-	V	V	-	-
6	Мусоросжигательная установка СВ 128SW-L	-	-	-	-	-	V	-	-	-
7	Установка «Форсаж-2М»	V	-	-	-	-	-	-	-	-
8	Инсинераторная установка ИУ-80	-	-	-	-	-	-	V	-	-
9	Установки КТО-50.К20.П, КТО-50.К40.П; КТО-50.БМ.П; КТО-100.К40.П; КТО-100.МК; КТО-150.З.П; КТО-150.БМ.П	V	-	V	V	V	V	V	-	-
10	Мобильный инсинератор «Hurikan-150»	-	V	-	-	-	-	-	-	-
11	Установка «Форсаж-1»	V	V	-	V	V	-	V	-	-
ПИРОЛИЗ										
12	Установка термической деструкции УТД-2	-	-	-	-	-	V	-	-	-
13	Установка пиролиза FORTAN-2	-	V	-	-	-	-	-	-	-
14	Установка переработки отходов ЭКОМАШ-01/ Комплекс EcoMachineAMR-100	V	-	-	-	-	-	V	-	-

№	Наименование оборудования	ЦФО	ЮФО	СЗФО	ДФО	СФО	УФО	ПФО	СКФО	КФО
15	Установка УПОР-1ш	-	-	-	-	V	-	-	-	-
16	Установка УТД-1	-	-	V	-	-	V	-	-	-
17	Инсинератор «Мюллер» С.Р.50	-	V	-	-	-	-	-	-	-
ГАЗИФИКАЦИЯ										
18	Вихревой газогенератор ГГВ-3000	V	-	-	-	-	-	-	-	-
19	Дожигатель газогенераторный ДГР-0,5 ДРГ- 5, ДРГ-10, ДРГ-20	-	-	-	-	-	V	-	-	-
20	Установка термической ликвидации сточных вод УТЛСВ	-	-	-	-	V	-	-	-	-
21	Печь сжигания отходов производства ОАО «ОХК «УРАЛХИМ»	-	-	-	-	-	-	V		

1.2 Краткий обзор основных экологических проблем в сфере обезвреживания отходов термическим способом

1.2.1 Экологические аспекты

Экологические проблемы в сфере обезвреживания отходов термическим способом определяются экологическими аспектами, которые оказывают или могут оказать прямое воздействие на окружающую среду. Согласно ISO 14001 [4], экологический аспект — это элемент деятельности организации, ее продукции или услуг, который может взаимодействовать с окружающей средой.

При термическом обезвреживании отходов к экологическим аспектам, оказывающим прямое воздействие на окружающую среду и здоровье человека, относятся:

- выбросы в атмосферу;
- сбросы сточных вод;
- образование отходов;
- сбор и хранение (накопление) обезвреживаемых отходов и реагентов, в том числе опасных.

К экологическим аспектам, оказывающим косвенное воздействие на окружающую среду и здоровье человека, относятся:

- эффективность системы управления охраной окружающей среды;
- компетентность персонала в вопросах охраны окружающей среды;
- контроль и мониторинг воздействия на окружающую среду (наличие, достаточность, качество измерительного и контролирующего оборудования);
- потребление сырья и материалов;
- потребление энергоресурсов и др.

Сжиганием называется контролируемый процесс окисления твердых, пастообразных или жидких горючих отходов, содержащих органические вещества. При горении в основном образуются диоксид углерода, вода и зола. Сера и азот, содержащиеся в отходах, образуют при сжигании различные оксиды, а хлор восстанавливается до HCl. Помимо газообразных продуктов при сжигании отходов образуются и твердые частицы — металлы, стекло, шлаки и др., которые требуют дальнейшей утилизации или захоронения. При сжигании молекулы органических соединений разрушаются, а неорганические соединения превращаются в оксиды и карбонаты, которые выводятся вместе со шлаками и золой. Мелкодисперсные частицы оксидов и карбонатов, содержащиеся

в топочных газах, улавливаются в «мокрых» скрубберах или барботажных аппаратах [5], [6].

Термическое обезвреживание отходов на современном уровне развития науки и техники обеспечивает практически полное разрушение находящихся в отходах органических вредных веществ, что достигается с помощью высоких температур (более 1000 °С). Это относится и к диоксинам и фуранам, которые разрушаются более чем на 90 %. При температуре 850 °С диоксины расщепляются на их составные части. При охлаждении дымовых газов существует возможность того, что очень небольшая часть образовавшихся фрагментов снова соединится. Для их надежного отделения применяются рукавные фильтры в системе очистки дымовых газов с возможностью дополнительной подачи порошкообразного активированного угля и, тем самым, эффективной сепарации всех диоксинов и фуранов [7], [8], [9]. Эти технологические решения закладываются при создании целого ряда установок термического обезвреживания отходов методом сжигания и непосредственно реализуются на современных мусоросжигающих заводах. Для очистки дымовых газов на мусоросжигающих заводах по термическому обезвреживанию твердых бытовых отходов в России применяется оборудование, в основном импортное, с трехступенчатой системой очистки отходящих дымовых газов, адаптированной к использованию химических реагентов российского производства [10], [11], [12]. На первой ступени очистки в абсорбере происходит нейтрализация кислых компонентов дымовых газов известью в присутствии мелкодисперсных водяных капель. На второй ступени в рукавном фильтре осуществляется глубокая очистка от летучей золы и сорбция тяжелых металлов и диоксинов в процессе фильтрования дымовых газов через слой извести и активированного угля на фильтровальной ткани. На третьей ступени очистки осуществляется восстановление содержащихся в дымовых газах оксидов азота до молекулярного азота с использованием аммиачной воды. Неорганические вредные вещества, такие как тяжелые металлы, которые не обезвреживаются даже при высоких температурах, в многоступенчатой установке для очистки дымовых газов и при переработке остатков от сжигания должны выделяться в концентрированном виде, извлекаться и связываться. После этого обращение с ними должно осуществляться экологически безопасным способом. Образующиеся при сжигании малоопасные шлаки, похожие на горную породу, могут быть безопасно утилизированы. В Германии, Голландии и других странах они используются в том числе как заменитель дорожного щебня или для звукоизоляции стен [13], [14].

Технологии термического обезвреживания отходов методами пиролиза и газификации не получили широкого распространения по сравнению со сжиганием.

Термическое обезвреживание отходов по технологии пиролиза заключается в их необратимом химическом изменении под действием повышенной температуры без доступа или с ограниченным доступом кислорода с выделением горючего пиролизного газа (пирогаза) [2], [15]. Технологическая цепь этого способа утилизации состоит из четырех последовательных этапов: подготовка отходов; переработка подготовленных отходов в реакторе для получения пирогаза и побочных химических соединений хлора, азота, фтора; охлаждение и очистка пирогаза от загрязняющих веществ (соединений хлора, фтора, серы, цианидов) с целью повышения его экологических показателей и энергоемкости; сжигание очищенного пирогаза в топке котла-утилизатора для получения пара, горячей воды или электроэнергии. Термическая переработка без использования кислорода или с большим недостатком кислорода в условиях эндотермического процесса протекает с использованием внешней энергии, получаемой за счет сжигания пирогаза, который используется для поддержания процесса. Образующийся при этом коксовый остаток имеет высокую плотность, что резко уменьшает объем образующихся отходов.

Газификация — это процесс термической обработки отходов, содержащих в своем составе органические вещества, окислителем (воздухом, кислородом, водяным паром, углекислым газом или их смесью) с расходом ниже стехиометрического, с получением генераторного газа (синтез-газа) и твердого или расплавленного минерального продукта.

Таким образом, существенными экологическими аспектами термического обезвреживания отходов, определяющимися прежде всего технологическими процессами сжигания, являются:

- выбросы в атмосферу, состав и уровень которых существенно зависит от групп видов обезвреживаемых отходов;

- уровень потребления энергоресурсов, который также в значительной степени зависит от групп видов обезвреживаемых отходов.

При оценке соответствия рассматриваемых технологий и оборудования критериям НДТ существенное значение будет иметь определение перечня контролируемых маркерных загрязняющих веществ в выбросах в атмосферный воздух.

1.2.2 Основные экологические проблемы

Основные экологические проблемы, связанные с обезвреживанием отходов термическим способом, можно подразделить в зависимости от причин их возникновения следующим образом:

- организационно-правовые;
- ресурсосберегающие;
- технико-технологические;
- финансово-экономические;
- собственно экологические и санитарно-гигиенические;
- контроля и мониторинга;
- социально-психологические.

1.2.2.1 Организационно-правовые проблемы

В настоящее время в Российской Федерации отсутствует нормативный правовой документ федерального уровня, который бы осуществлял регулирование использования термических методов обезвреживания отходов, определял условия и устанавливал требования к осуществлению этой деятельности. Возможно, необходимы разработка и принятие соответствующего технического регламента.

Слабое развитие селективного сбора твердых коммунальных отходов, их сортировки с использованием современных сортировочных комплексов, исключающих вероятность попадания в поток направляемых на термическое обезвреживание отходов вторичных материальных ресурсов, опасных отходов потребления (ртутных ламп и других ртутьсодержащих приборов, батареек, аккумуляторов и др.), создает серьезные трудности для развития термического обезвреживания отходов, в том числе в части обеспечения допустимых уровней воздействия на окружающую среду. Принятие Федерального закона от 21 июля 2014 г. № 219-ФЗ «О внесении изменений в Федеральный закон «Об охране окружающей среды» и отдельные законодательные акты Российской Федерации» в значительной мере способствует решению указанных проблем при условии реализации его положений в полном объеме.

1.2.2.2 Проблемы ресурсосбережения

Серьезное внимание необходимо уделить не только созданию условий для извлечения из потоков отходов ценных вторичных материальных ресурсов и их дальнейшего эффективного использования, но и проблеме максимального использования

вторичных энергетических ресурсов, которые образуются в результате термического обезвреживания отходов. Данная проблема особенно актуальна для таких крупных объектов, как мусоросжигательные заводы, в том числе с точки зрения повышения их экономической эффективности.

1.2.2.3 Технико-технологические проблемы

Необходимо учитывать сложный и разноплановый характер производства по термическому обезвреживанию отходов, в которое входят такие участки, как:

- сбора и накопления обезвреживаемых отходов. Для ритмичной и бесперебойной работы основного оборудования по термическому обезвреживанию отходов, что обеспечивает, в том числе, и уровень допустимого воздействия на окружающую среду, необходимы достаточные по площади и соответственно оборудованные помещения (площадки). В целях обеспечения экологической, промышленной и пожарной безопасности должен быть организован эффективный входной контроль поступающих на обезвреживание отходов, а также постоянный производственный контроль;

- предварительной подготовки отходов к направлению на обезвреживание, что также требует и соответствующего технического оснащения, и постоянного производственного контроля;

- термического обезвреживания, что сопряжено с эксплуатацией сложного технологического оборудования, необходимостью четкого соблюдения технологических режимов, регулярным обслуживанием оборудования, необходимостью технического и технологического совершенствования процессов термического обезвреживания;

- обезвреживания выбросов, сбросов, образующихся в результате термического обезвреживания отходов, что требует серьезного технического оснащения и постоянного производственного контроля, в том числе аналитическими методами;

- сбора и накопления отходов, образующихся в результате термического обезвреживания отходов, в том числе от вспомогательной деятельности (обслуживание оборудования, проведение ремонтных работ, содержание производственной площадки, жизнедеятельность персонала и т. д.), что требует организации обращения с указанными отходами в соответствии с установленными требованиями;

- утилизации вторичных энергетических ресурсов.

При термическом обезвреживании отходов возникает необходимость соблюдения достаточно жестких условий осуществления термического процесса:

- необходимость сжигать отходы с большими избытками воздуха из-за широкого диапазона изменения теплоты сгорания и состава их компонентов;

- обязательная выдержка газообразных продуктов сгорания при температуре более 850 °С в течение 2 с и более для деструкции органических загрязнителей, в первую очередь полихлорированных дибензодиоксинов и фуранов;

- ограничение температуры дымовых газов на входе в конвективные поверхности (не более 750 °С) по условиям минимизации шлакования этих поверхностей;

- поддержание оптимальной для работы системы газоочистки температуры дымовых газов на выходе из котла (обычно 180 °С — 200 °С);

- обязательное применение многоступенчатой системы газоочистки.

Пиролиз и газификация и их высокотемпературная модификация — плазменная переработка [16], [17] — имеют определенные преимущества, но для полномасштабного обезвреживания твердых коммунальных отходов (ТКО) применяются в настоящее время сравнительно редко вследствие требований к измельчению отходов перед переработкой, низкой надежности либо повышенного энергопотребления. Так, существуют достаточно жесткие требования к подготовке ТКО, направляемых на пиролиз (газификацию):

- сортировка отходов с целью извлечения балластных фракций (стекло, металлы, камни, мелкая фракция);

- сушка отходов;

- предварительное дробление отходов.

Последнее требование приводит к снижению надежности мусороперерабатывающих предприятий, использующих технологию пиролиза, поскольку наличие крупных нераздробленных фракций, часто встречающихся, например, в ТКО, нарушает работу установки и выводит оборудование из строя.

Для условий России при создании предприятий и проектировании соответствующих установок необходимо в обязательном порядке учитывать следующие свойства, присущие российским ТКО:

- отходы крайне неоднородны по составу; состав значительно изменяется в зависимости от «партии» отходов, а также от времени: в осенне-зимний период в отходах наблюдаются максимальные влажность и плотность, в весенне-летний период — увеличение содержания полимерных отходов, органики и смета;

- влажность российских отходов на 15 % — 20 % выше, чем в странах Западной Европы;

- российским отходам свойственна структурная механическая связанность за счет волокнистых и влажных фракций;

- российские отходы отличаются слеживаемостью при хранении и транспортировке, выделением фильтрата;

- российские отходы отличаются повышенной абразивностью, которая связана с наличием фарфора, стекла, камня;

- высокие влажность и содержание различных солей в отходах способствуют коррозионному воздействию на металл при длительном контакте;

- наблюдается эпизодическое попадание тяжелых, трудно дробимых предметов, выводящих из строя перерабатывающее оборудование.

Эти факты могут создавать определенные проблемы при адаптации зарубежных технологий термообезвреживания отходов.

Предприятия, занимающиеся сжиганием опасных отходов, постоянно сталкиваются с проблемой превышения содержания оксидов азота, серы и углерода, а также диоксинов, бензапирена и т. п. в газовых выбросах над предельно допустимыми нормативами. Повышенные вредные выбросы появляются в основном при загрузке новой порции отходов и резком понижении концентрации кислорода в реакторе или из-за недостаточного перемешивания горючей массы, и, следовательно, низкой теплопередачи. Для борьбы с этим эффектом реактор печи необходимо оборудовать системами остановки подачи отходов до момента восстановления концентрации кислорода до оптимальной или дополнительной инжекции кислорода в зону горения.

Присутствие в отходящих газах диоксинов и дифенилов значительно осложняет их очистку прежде всего из-за малой концентрации этих высокотоксичных соединений (имеющих, к тому же, чрезвычайно малые уровни ПДК); требует создания современных и дорогостоящих многоступенчатых (обычно трехступенчатых) систем очистки.

Все вышесказанное требует соответствующих технологических решений, достаточной квалификации обслуживающего персонала и материально-финансовых затрат.

1.2.2.4 Финансово-экономические проблемы

Во-первых, создание и функционирование предприятий по сжиганию, прежде всего ТКО, требует немалых финансовых вложений, которые имеют значительные сроки окупаемости.

Во-вторых, обезвреживание отходов и организация производственного экологического контроля данных производственных процессов приводит к относительно высоким и непроизводительным затратам в отсутствие эффективного механизма стимулирования этой деятельности.

1.2.2.5 Экологические и санитарно-гигиенические проблемы

Сжигание отходов является отчасти не полностью контролируемым процессом с выделением (в том числе неучтенных) побочных продуктов, многие из которых наносят вред окружающей среде и здоровью людей. В большинстве случаев в результате сгорания отходов образуется (эмитирует в окружающий воздух) значительная группа загрязняющих веществ. Как уже отмечалось выше, для подавления вредных выбросов необходимо использование достаточно сложных и дорогостоящих систем очистки отходящих газов.

Любое сжигание является источником выбросов парниковых газов, регулируемых (ограничиваемых) рядом международных соглашений.

Технологические (сточные) воды также требуют соответствующих систем очистки.

Зола (уловленная) и шлак, образующиеся при сгорании отходов, в силу своих физических и химических свойств (содержат тяжелые металлы, нередко в достаточно высоких концентрациях) не могут быть захоронены на полигонах ТКО или использоваться в производстве строительных материалов, а требуют захоронения на специальных полигонах или в специальных хранилищах (с контролем и очисткой стоков), что создает определенные организационные и экологические проблемы. Операторы и рабочие, отвечающие за сбор и транспортировку золы, представляют особую группу риска.

Шлаки мусоросжигательных заводов обычно не рассматриваются в качестве опасных отходов. Однако они тоже содержат токсичные вещества, которые могут вымываться из мест их захоронения и наносить существенный вред окружающей среде.

Особую проблему (особенно для обслуживающего персонала) могут создавать неорганизованные выбросы из установок и оборудования, от мест хранения отходов, в некоторых случаях — запах, технологический шум и вибрация, биологическое загрязнение «свежих» отходов.

1.2.2.6 Проблемы контроля и мониторинга

Функционирование предприятий (заводов и установок) по термическому обезвреживанию отходов обусловливает необходимость организации систем экологического производственного контроля и экологического мониторинга за их деятельностью. Это, в свою очередь, определяет необходимость приобретения как предприятием, так и контролирующими органами специальных (обычно дорогостоящих) средств контроля и использования специальных химико-аналитических приборов и аттестованных методик (при наличии соответствующих специалистов).

Например, Директива Европейского парламента и Совета Европейского союза № 2000/76/ЕС от 4 декабря 2000 г. «О сжигании отходов» регламентирует в выбросах соответствующих предприятий (установок) следующие вещества: летучая зола и пыль, органические вещества, хлористый водород, фтористый водород, сернистый ангидрид, оксиды азота, оксид углерода, аммиак, кадмий, таллий, ртуть, кобальт, хром, марганец, никель, мышьяк, медь, свинец, сурьма, ванадий, диоксины, фураны. В этот перечень следует добавить бензапирен.

1.2.2.7 Социально-психологические проблемы

Население в значительной своей части негативно относится к данному способу обезвреживания отходов, особенно в тех случаях, когда специальные заводы и установки по термическому обезвреживанию отходов размещаются в непосредственной близости от селитебных, рекреационных и природно-значимых территорий.

Обычно противники сжигания отходов апеллируют к тому, что оно противоречит трем принципам международного законодательства: предосторожности, предотвращению и ограничению трансграничных эффектов.

Отмечается также, что существующая идея получения электрической энергии при сжигании бытовых отходов не внесет существенного вклада в решение проблемы энергоресурсов, так как не менее 80 % произведенной энергии используется на собственные нужды завода. Согласно анализу, выполненному в 2001 году Лондонской школой экономики, энергия, получаемая при сжигании ТКО составляет лишь 5 % от энергетических затрат, использованных для производства материалов, составляющих ТКО.

Кроме того, согласно Стокгольмской конвенции о стойких органических загрязнителях, к которой Россия присоединилась в 2002 году, отходы должны удаляться таким образом, чтобы содержащиеся в них стойкие органические загрязнители уничтожались или необратимо преобразовывались и не проявляли свойств стойких органических загрязнителей. Соблюдение этого требования требует больших материально-технических и финансовых затрат.

Раздел 2. Описание технологических процессов используемых в настоящее время в сфере обезвреживания отходов термическим способом

2.1 Общие положения

В общем виде технологическая схема комплексной установки высокотемпературного обезвреживания отходов, содержащих органические вещества, включает в себя [7] следующие стадии (блоки):

- блок предварительной, в том числе реагентной, обработки отходов;

- блок собственно термической (высокотемпературной, огневой) обработки отходов;

- блок теплоиспользования (в простейшем виде блок охлаждения высокотемпературных газообразных продуктов обезвреживания водой или воздухом);

- блок получения побочных органических продуктов (синтез-газ, жидкое топливо, кокс);

- блок получения побочных минеральных продуктов (керамика, цемент, минеральные соли, кислоты, металлы и др.);

- блок многоступенчатой очистки и обезвреживания отходящих газов перед их выбросом в атмосферу.

Исходные данные для разработки установки высокотемпературного обезвреживания должны обязательно включать характеристику обезвреживаемых отходов в соответствии с приведенной в разделе 1 классификацией отходов и агрегатную мощность (нагрузку). По агрегатной мощности можно выделить:

- локальные стационарные или передвижные, мобильные (размещенные в том числе на автотранспорте или на железнодорожной платформе) установки малой мощности (10–500 кг/ч);

- установки средней мощности, в том числе транспортабельные (т. е. способные к перебазированию на новую площадку) с агрегатной нагрузкой 500–2000 кг/ч;

- централизованные, региональные установки — станции большой агрегатной мощности (2000–10000 кг/ч).

В рамках создания НДТ возможна реализация различных технологических схем, предусматривающих максимальное энергосбережение или выработку энергии и получение побочных минеральных и органических продуктов. Все технические решения базируются на основе Методических рекомендаций определения технологии в качестве

наилучшей доступной технологии (приказ Минпромторга России от 31 марта 2015 г. № 665), учитывающих совокупность соответствующих критериев.

2.2 Основные эколого-энерготехнологические параметры [7]

Эколого-энерготехнологические параметры определяют экологическую и экономическую эффективности и надежность процесса обезвреживания отходов:

а) Температурный уровень процесса. По этому параметру термические процессы и реакторы можно подразделить на низкотемпературные (температура отходящих газов $t_{ог}$ = 400 °С — 600 °С); среднетемпературные ($t_{ог}$ = 600 °С — 1000 °С); высокотемпературные ($t_{ог}$ ≥ 1000 °С — 2000 °С и выше).

б) Время пребывания (без учета камеры дожигания) токсичных компонентов в рабочей зоне термического реактора $t_{преб}$. По времени пребывания термические реакторы можно разделить на следующие группы:

1) $t_{преб}$ < 0,1 с (малое отношение рабочего объема реактора $V_р$ ($м^3$) к объемному расходу газов $V_г$ ($м^3/с$);

2) $t_{преб}$ = 0,1–0,5 с (средняя величина $V_р/V_г$);

3) $t_{преб}$ = 0,5–2 с (повышенная величина $V_р/V_г$);

4) $t_{преб}$ > 2 с (сверхвысокая величина $V_р/V_г$).

в) Интенсивность перемешивания компонентов в рабочей зоне термического реактора. Различают два гидродинамических режима: ламинарный (при числах Рейнольдса, меньших критического значения $Re < Re_{крит}$); турбулентный (при $Re \geq Re_{крит}$).

г) Состав газовой атмосферы в термическом реакторе. Различают три режима:

1) окислительная атмосфера (коэффициент расхода окислителя $\alpha > 1$);

2) восстановительная атмосфера ($\alpha < 1$);

3) переменная по зонам реактора атмосфера (например, восстановительно-окислительная).

д) Принцип теплогенерации (тип внешнего, дополнительного источника энергии). На практике используется:

1) органическое топливо (газообразное, жидкое или твердое, а также горючие отходы);

2) электроэнергия (индукционный, электродуговой или плазменный источник);

3) комбинированный источник.

е) Тип окислителя. Применяется:

1) воздух;

2) технический кислород;

3) обогащенное кислородом воздушное дутье;

4) водяной пар;

5) двуокись углерода.

ж) Режим шлакоудаления. На практике используются режимы:

1) с жидким шлакоудалением;

2) с твердым шлакоудалением.

з) Способ нейтрализации образующихся при термическом обезвреживании отходов газообразных окислов и кислот (SO_2, SO_3, HCl, HF, P_4O_{10}). Применяются:

1) способы с предварительной, реагентной обработкой отходов;

2) способы с подачей реагентов непосредственно в термический реактор;

3) способы, характеризующиеся подачей реагентов на стадию охлаждения газообразных продуктов обезвреживания;

4) способы подачи реагентов на стадию низкотемпературной очистки газов.

Оптимизация эколого-энерготехнологических параметров позволяет выбрать соответствующий тип термического реактора для обезвреживания жидких, твердых и пастообразных отходов.

2.3 Основные типы существующих реакторов, использующих органическое топливо [18], [19]

2.3.1 Слоевые печи

В отечественной и зарубежной практике для высокотемпературного обезвреживания твердых и пастообразных отходов, содержащих органические вещества, наиболее широко используются слоевые печи.

В последние годы следует отметить большое количество российских разработок и зарубежных поставок локальных установок огневого обезвреживания отходов с использованием слоевых топок. Например, установки типа «Смарт Аш» (однокамерная) и «Медибурн» (двухкамерная) мощностью 22 кг/ч каждая (США) (см. рисунки 2.1, 2.2), установка «Форсаж-2», установка УСО-200 (Россия).



Рисунок 2.1 — Установка типа «Смарт Аш» (США) [19]



Рисунок 2.2 — Установка «Медибурн» (США) [19]

Во всех этих установках отсутствует система очистки отходящих газов.

Отдельные установки состоят из камеры сжигания, тягодутьевого оборудования, аппарата сухой газоочистки (циклон-золоуловитель) и основных соединительных трубопроводов. Загрузка отходов осуществляется в большинстве случаев вручную, а их горение происходит в неподвижном слое на футерованном сплошном поду.

Более современные усовершенствованные слоевые печи выпускаются с нагрузкой 170 и 340 кг/ч (Австрия), с нагрузкой от 12 до 250 кг/ч 10 типоразмеров (Германия),

с нагрузкой от 200 до 1000 кг/ч (Швейцария, Великобритания, Франция, Республика Корея), инсинератор «Мюллер» С.Р.50 (Франция) и др.

Аналогичные установки типа КТО (см. рисунок 2.3), ИН–50 (см. рисунок 2.4) и «ЭЧУТО» разработали российские производители. Последняя разработка предусматривает предварительное термическое разложение органической составляющей отходов в бескислородной атмосфере (пиролиз), после чего образовавшаяся парогазовая смесь направляется в камеру дожигания.



Рисунок 2.3 — Установка типа КТО [20]

Для сжигания ТКО широкое распространение нашли слоевые топки с колосниковыми решетками, в том числе водоохлаждаемыми. Наиболее часто при слоевом сжигании отходов применяют решетки трех типов: поступательно-переталкивающие, обратно-переталкивающие и решетки валкового типа.

При слоевом сжигании отходов температура на наклонной колосниковой решетке изменяется от температуры окружающей среды в верхней зоне загрузки до 1100 °С — 1200 °С в огневой (нижней) зоне. По мере продвижения материала происходит его постепенный прогрев, сопровождающийся процессами сушки, пиролиза, горения.



Рисунок 2.4 — Установка типа ИН-50 [21]

В целом необходимо отметить, что слоевые печи надежны в эксплуатации, просты при обслуживании (особенно топки с неподвижным подом) и имеют длительный ресурс рабочей кампании, однако пригодны для термического обезвреживания ограниченного класса отходов. Практически невозможно эффективно обезвреживать в этих печах отходы, содержащие легкоплавкие минеральные соединения и вещества в пластическом состоянии, так как происходит замазывание и зашлаковывание слоя.

Основной недостаток локальных слоевых печей — низкая экологическая эффективность термического обезвреживания отходов — повышенный механический недожог, т. е. наличие остаточных токсичных органических соединений в шлаке и выбросы с дымовыми газами супертоксикантов: хлористого водорода (HCl), молекулярного хлора (Cl_2), фосгена ($COCl_2$), полихлорированных дибензодиоксинов (ПХДД) и дибензофуранов (ПХДФ).

Низкие удельные нагрузки при обезвреживании отходов, громоздкость и металлоемкость, относительно высокие капитальные и эксплуатационные расходы и, главное, низкая экологическая эффективность не позволяют рекомендовать слоевые печи для термического обезвреживания органических отходов в локальных установках малой мощности.

Недостатками большинства действующих высокотемпературных установок со слоевыми печами также являются:

- проскоки токсичных компонентов, усугубленные периодической загрузкой относительно больших разовых объемов уничтожаемых отходов;

- образование токсичного шлака, содержащего растворимые соли тяжелых металлов и остатки органических компонентов.

2.3.2 Барабанные вращающиеся печи

Барабанные вращающиеся печи широко используют за рубежом для сжигания твердых и пастообразных промышленных, бытовых и медицинских отходов, а также обезвоженных осадков сточных вод. Обычно барабанная вращающаяся печь представляет собой стальной барабан, имеющий футеровку из огнеупорного кирпича, бетона или водоохлаждаемую, который вращается со скоростью 0,05–2 об/мин.

Барабанные печи устанавливаются с небольшим наклоном в направлении движения отходов. Температуру в барабанной печи в зависимости от вида сжигаемых отходов поддерживают в пределах 900 °С — 1400 °С. В случае необходимости дополнительное топливо или жидкие горючие отходы подаются через горелочное устройство, повышая температуру внутри печи. Поступившие отходы, перемешиваясь при вращении печи, подсушиваются, частично газифицируются и перемещаются в зону горения. Излучение от пламени в этой зоне раскаляет футеровку печи и способствует выгоранию органической части отходов и подсушки вновь поступивших. Отходы и топливо, а также окислитель (воздух) подаются со стороны загрузки, шлак выгружается с противоположного торца печи в твердом виде или в виде расплава.

В связи с малоэффективным перемешиванием отходов барабанные вращающиеся печи характеризуются низкой удельной тепловой и массовой нагрузкой топочного объема, громоздки, а в дымовых газах наблюдается повышенный химический недожог.

В то же время барабанные вращающиеся печи с жидким шлакоудалением, дополненные камерой дожигания газообразных продуктов обезвреживания, характеризуются высокой экологической эффективностью.

В Германии, США, Швейцарии, Финляндии и других странах накоплен большой опыт разработки централизованных станций термического обезвреживания с барабанными вращающимися печами. В настоящее время за рубежом успешно эксплуатируются барабанные вращающиеся печи для совместного сжигания твердых, пастообразных и жидких отходов с агрегатной нагрузкой от 2 до 6 т/ч [1].

В 1996 году в г. Брунсбюттель (Германия) фирмой Noell — KRC Energie und Umwelttachnik GmbH введена в эксплуатацию одна из самых больших в мире барабанных вращающихся печей с нагрузкой по твердым и пастообразным отходам — 40000 т/год. Диаметр печи — 4,8 м, длина — 12 м. Температура отходящих газов (на входе в камеру дожигания) — 1200 °С.

В апреле 1997 года в г. Измит (Турция) фирмой Lurgi AG пущен в эксплуатацию центр термического обезвреживания твердых и пастообразных отходов мощностью 35000 т/год. Стоимость центра составила 450 млн немецких марок. Нейтрализация хлористого водорода (HCl), образующегося при обезвреживании хлорорганических отходов, осуществляется в системе мокрой газоочистки путем впрыска соответствующих щелочных или щелочноземельных реагентов. Шлак из барабанной печи удаляется в жидком состоянии (в виде расплава).

В России также разрабатывают и реализуют барабанные вращающиеся печи (см. рисунок 2.5).

Необходимо подчеркнуть, что в технологическом отношении барабанные вращающиеся печи являются наиболее универсальными термическими реакторами для переработки крупнокусковых отходов переменного состава.

Следует заметить, что футеровка печей при вращении находится в условиях частой смены температур, что вызывает образование в ней трещин и быстрый выход из строя. Замена один раз в полгода внутренней футеровки печи — операция трудоемкая, сложная и дорогая, ее стоимость составляет около 10 % от стоимости печи. Использование дорогостоящих термостойких и химически стойких футеровок в барабанных печах приводит к существенному повышению стоимости агрегатов.



Рисунок 2.5 — Барабанная вращающаяся печь [20]

Для повышения долговечности печи иногда вместо футеровки применяют водяное охлаждение металлической стенки барабана (Япония) либо применяют охлаждение кирпичной футеровки печи (Финляндия).

Специальное сооружение экологически эффективной локальной установки малой мощности с барабанной вращающейся печью для термического обезвреживания органических отходов из-за высоких капитальных и эксплуатационных расходов целесообразно только для отдельных регионов. Такая установка, изготовленная в Чехии, внедрена в Свердловской области для обезвреживания медицинских отходов.

В то же время не вызывает сомнения техническая и экономическая целесообразность создания в регионах централизованных станций совместного термического обезвреживания токсичных твердых, пастообразных и жидких органических отходов с большой агрегатной нагрузкой на основе барабанных вращающихся печей.

В настоящем разделе не рассмотрен опыт высокотемпературного обезвреживания ТКО и промышленных органических отходов, отработанных автомобильных покрышек во вращающихся печах цементной индустрии.

2.3.3 Шахтные печи

В нашей стране и за рубежом разрабатываются и исследуются на опытных и демонстрационных установках процессы пиролиза и газификации твердых и пастообразных органических отходов в шахтных печах в фильтруемом плотном слое.

В России выполнены разработки шахтных газификаторов типа доменных печей с жидким шлакоудалением (процесс «Пурвокс»), однако эти разработки не реализованы в промышленности. Пока не внедрен в практику и шахтный пиролиз твердых бытовых отходов с плазменным нагревом («плазменный пиролиз и остеклование ТКО»).

НПО «Радон» внедрил шахтную печь с плазменным нагревом для термической переработки твердых радиоактивных отходов.

В России разработан процесс паровоздушной газификации отходов в шахтном газификаторе с последующим дожиганием горючих газов.

Процесс в шахтном газификаторе осуществляется следующим образом. В шахту загружается смесь инертного материала (шамота) и отходов. Загруженная масса снизу продувается паровоздушной смесью. Шамот выполняет функцию теплоносителя и создает оптимальные условия для процесса газификации. Продвижение рабочей массы в реакторе происходит под действием собственного веса. В верхней зоне реактора при температуре 100 °С — 200 °С происходит подсушка поступающего сырья, продуваемого синтез-газом. В бескислородной среде происходит термическое разложение и коксование органической массы. В средней части реактора при температурах 1000 °С — 1200 °С происходит процесс газификации коксового остатка с образованием CO и H_2.

В самой нижней зоне шахтной печи твердый остаток окончательно охлаждается до температуры 100 °С —150 °С (см. рисунок 2.6).

Полученный в шахтной печи горючий синтез-газ подвергается очистке от кислых газов, например, HCl, а затем сжигается в топке парового котла при избытке вторичного воздуха.

Поскольку процесс паровоздушной газификации проводится в плотном слое кускового материала при низких линейных скоростях потока, в выводимом из реактора синтез-газе практически отсутствует золоунос. Перемещаясь сверху вниз, смесь отходов и шамота последовательно проходит зоны подогрева, сушки, пиролиза и газификации. Получаемый в результате процесса шлак практически не содержит продукты механического недожога и после выгрузки из реактора подвергается грохочению для отделения шамота, используемого повторно.

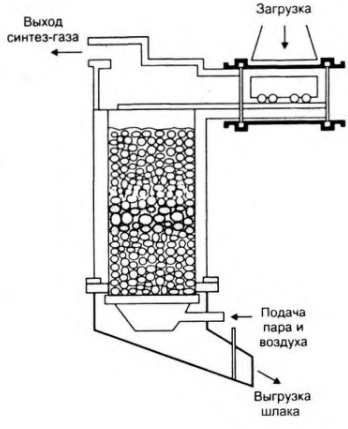


Рисунок 2.6 — Шахтная печь [19]

Усреднение состава горючих отходов и их равномерная подача в процесс термообработки являются необходимыми условиями обеспечения стабилизации термического процесса, повышения его эффективности и последующей газоочистки.

Преимуществами данного процесса обезвреживания отходов в шахтной печи являются: высокий энергетический КПД (до 95 %), позволяющий перерабатывать отходы с низким содержанием горючих веществ (зольность 90 %) или с высокой влажностью; сжигание синтез-газа в современных газовых горелках — наиболее чистый способ сжигания, при котором в дымовых газах отсутствует недожог.

В России на АО «Электростальтяжмаш» имеется опыт эксплуатации установки термического обезвреживания пастообразных отходов (закалочных масел).

Оценивая эколого-технологические показатели процесса газификации органических отходов в шахтной печи, стоит отметить следующие экологические преимущества по сравнению с другими термическими процессами:

- предотвращение золоуноса с газами и улавливание в своеобразном фильтре токсичных тяжелых металлов;

- температура отходящего из реактора горючего газа не превышает 150 °С, при этой температуре летучие тяжелые металлы (Cd, As, Pb, Zn) находятся в сконденсированном виде и практически фиксируются в шлаке.

В то же время процесс газификации в шахтных печах пригоден для термического обезвреживания ограниченного числа отходов, причем только дробленых, сыпучих, газопроницаемых. Пастообразные, крупногабаритные твердые отходы, плавящиеся при низких температурах, трудно перерабатывать методом газификации. Указанный главный недостаток процесса в фильтруемом плотном слое, приводивший к нарушению газопроницаемости и закупорке поперечного сечения реактора наблюдался на стендовых демонстрационных установках. В частности, попытка осуществления процесса газификации твердых отходов производства капролактама на стендовой установке Института проблем химической физики РАН (г. Черноголовка) окончилась полной неудачей — заплавлением поперечного сечения реактора.

2.3.4 Печи с жидкой ванной расплава

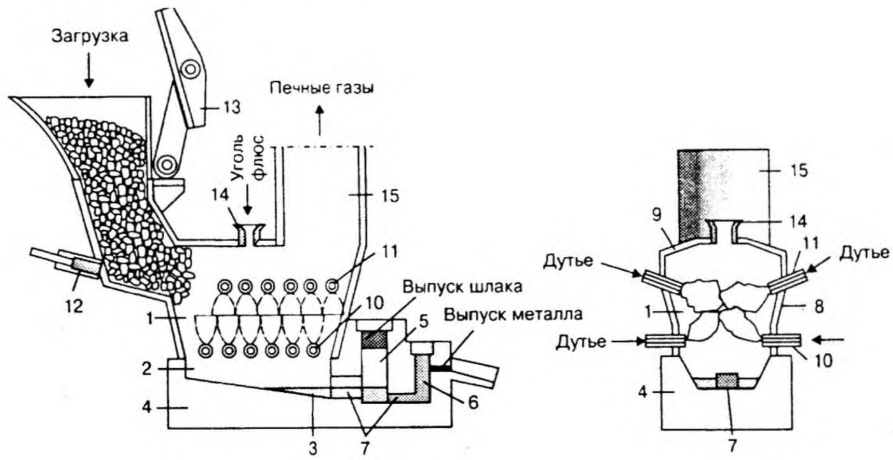
Среди многих предлагаемых технологий термического обезвреживания отходов своей оригинальностью выделяется технология уничтожения токсичных органических отходов в расплавах неорганических солей (США).

Сущность метода заключается в следующем. Дешевые неорганические соединения (например, соду или негашеную известь) расплавляют в керамическом реакторе при температурах 800 °С — 1000 °С. Через расплав продувают воздух и подают в реактор органические отходы. Степень обезвреживания, по данным авторов технологии, составляет 99,9999 %.

Метод обработки отходов в расплавленных солях (ОРС) выглядит очень привлекательным, однако еще не вышел из стадии опытных и демонстрационных испытаний.

В начале 1990-х годов для термической переработки твердых бытовых и промышленных отходов была предложена российская технология сжигания в барботируемом расплаве шлака на основе печи Ванюкова (см. рисунок 2.7). Суть технологического

процесса переработки отходов заключается в высокотемпературном разложении отходов в слое барботируемого шлакового расплава при температуре 1250 °С — 1400 °С и выдерживании их в течение 2–3 с. Расплав образуется из подаваемых в огневой реактор различных шлаков, в частности золошлаковых отходов ТЭЦ.



1 — барботируемый слой шлака; 2 — слой спокойного шлака; 3 — слой металла; 4 — огнеупорная подина; 5 — сифон для выпуска шлака; 6 — сифон для выпуска металла; 7 — переток; 8 — водоохлаждаемые стенки; 9 — водоохлаждаемый свод; 10 — барботажные фурмы; 11 — фурмы для дожигания; 12 — загрузочное устройство; 13 — крышка; 14 — загрузочная воронка; 15 — патрубок газоотвода

Рисунок 2.7 — Печь с жидкой ванной расплава [22]

Обезвреживаемые отходы непрерывно загружаются через свод печи на поверхность шлакового расплава, который продувается через нижние фурмы окислителем. Попадая в расплав, отходы ошлаковываются и потоками шлака распределяются по его объему. При этом из отходов удаляются влага и летучие компоненты. Минеральная часть отходов растворяется в шлаке, состав которого корректируется минеральными добавками. Из содержащихся в отходах металлов образуется металлическая ванна, расположенная ниже уровня шлака. Образующиеся металл и шлак непрерывно раздельно выводят из печи через отдельные летки. Выделившиеся из шлаковой ванны горючие газы дожигаются непосредственно над поверхностью расплава кислородным дутьем, подаваемым через верхние фурмы.

Обе технологии испытаны в опытно-промышленных условиях на опытном заводе «Гинцветмета» в г. Рязани (переработка ТКО) и на южнокорейском предприятии фирмы Samsung Heavy Industries (переработка некоторых видов промышленных отходов).

Основным преимуществом процесса Ванюкова по сравнению с традиционным слоевым сжиганием отходов является существенное снижение количества отходящих газов за счет использования обогащенного кислородом дутья и получение безвредного шлакового расплава.

Основным недостатком процесса является использование дорогостоящей плавильной металлургической технологии для термической переработки отходов.

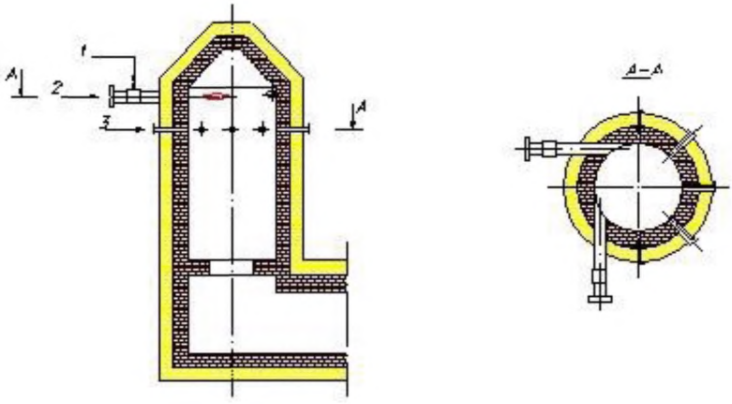
Кроме того, отсутствие в большинстве случаев в составе органических отходов минеральных составляющих ведет к необходимости поддержания искусственного шлакового расплава минеральных веществ.

В целом собственно плавильная металлургическая печь с кессонированными водоохлаждаемыми ограждениями, системой кислородно-воздушного дутья под слой расплава, позонным выпуском расплава представляется реактором более сложным в эксплуатации нежели реакторы прямого сжигания отходов. Теплота горения отходов только в незначительной степени расходуется на плавление шлака, поскольку в плавильной печи осуществляется лишь частичное окисление органических компонентов отходов, а дожигание — основной источник теплоты, вынесен за пределы ванны расплава.

2.3.5 Циклонные реакторы

Циклонные реакторы являются экологически эффективными и надежными устройствами для термического обезвреживания органических отходов. Высокие удельные массовые нагрузки циклонных реакторов обусловлены помимо особой аэродинамической структуры газового потока тонким диспергированием отходов специальным распылителем или непосредственно скоростным потоком газов в объеме реактора [2].

В России разработаны циклонные реакторы различной модификации (см. рисунок 2.8) для огневого (высокотемпературного) обезвреживания жидких отходов, содержащих органические и минеральные вещества.



1 — топливо; 2 — воздух; 3 — жидкие отходы

Рисунок 2.8 — Схема циклонного реактора с огнеупорной футеровкой и тепловой изоляцией [2]

Применяемые при обезвреживании минерализованных отходов гарниссажные футеровки этих реакторов обеспечивают длительную межремонтную рабочую кампанию. По всему Советскому Союзу от западного Гродно до сибирского Кемерово и узбекского города Чирчик было внедрено более 150 таких установок, мощность которых составляла от 200 кг до 16 т отходов в час. Лицензии на установку были проданы в ряд стран социалистического содружества и Японию, затем в Республику Корея.

По сравнению с обычно применяемыми камерными и шахтными печами, циклонные реакторы являются наиболее эффективными и универсальными, что обуславливается их аэродинамическими особенностями. Удельные массовые нагрузки в циклонных реакторах более чем на порядок выше нагрузок шахтных и камерных печей, что позволило создать малогабаритные устройства.

Практика эксплуатации установок термического обезвреживания жидких отходов с циклонными реакторами подтвердила их технические и экономические преимущества перед другими типами установок:

- снижение капитальных затрат;
- уменьшение эксплуатационных расходов;
- возможность извлечения вторичных минеральных продуктов;

- высокая экологическая эффективность, соответствующая самым жестким европейским нормативам, при обезвреживании любых типов органических отходов, содержащих в том числе полихлорированные бифенилы (ПХБ), пестициды и другие суперэкотоксиканты;

- быстрый запуск;

- надежность и долговечность эксплуатации.

Таким образом, проблема обезвреживания токсичных жидких отходов в настоящее время практически решена.

Положительные результаты получены при циклонном сжигании диспергированых твердых отходов и пастообразных осадков сточных вод (см. рисунок 2.9). Успешный опыт накоплен также в США при термической переработке золы мусоросжигательных заводов и загрязненного грунта с получением остеклованного шлака, а также в Германии при сжигании отработанного активированного угля (кокса) из системы сухой очистки дымовых газов.

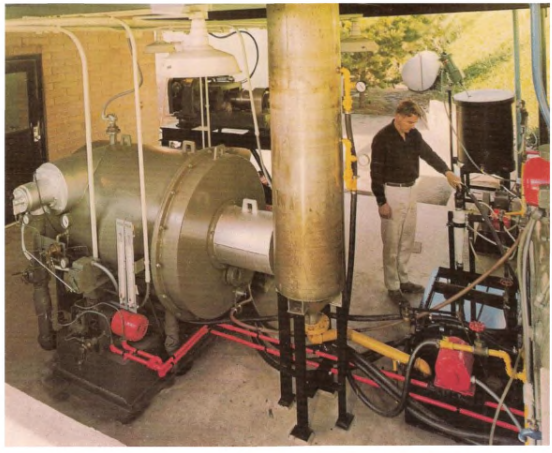


Рисунок 2.9 — Горизонтальный циклонный реактор для термического обезвреживания шламов [19]

В то же время в циклонных реакторах при грубом диспергировании твердых и пастообразных отходов (или невозможности их дробления и распыливания) резко снижается интенсивность процесса обезвреживания. Удельные массовые нагрузки таких реакторов уменьшаются до 100–150 кг/м^{3}ч, что соответствует нагрузкам слоевых и барабанных печей.

Следует еще раз подчеркнуть, что при тонком диспергировании пастообразных отходов в циклонных реакторах достигаются удельные массовые нагрузки до 1000 кг/м^3·ч и более, что позволяет в короткие сроки сооружать компактные, малогабаритные установки с малыми капитальными затратами.

Высокая интенсивность перемешивания частиц отходов в газовом потоке циклонного реактора позволяет добиться практически полного выгорания токсичных органических веществ непосредственно в объеме реактора — остаточная концентрация оксида углерода (CO) в дымовых газах не превышает 50 мг/м^3.

Эффект центробежной сепарации обеспечивает улавливание подавляющего количества минеральных составляющих (до 80 %) с выпуском их из реактора в твердом виде или в виде расплава (стерильного шлака).

Таким образом, для обезвреживания пастообразных отходов при обеспечении их тонкого диспергирования (пневматическими или механическими распылителями) рекомендуется использовать циклонные реакторы.

При затруднениях в распыливании таких отходов применение циклонных реакторов нецелесообразно, так как приведенные выше преимущества нивелируются.

2.3.6 Реакторы кипящего слоя

Принцип работы реакторов с кипящим слоем состоит в подаче газов (воздуха) через слой инертного материала (песок с размером частиц 1–5 мм), поддерживаемого колосниковой решеткой. При критической скорости потока газа инертный слой переходит во взвешенное состояние, напоминающее кипящую жидкость. Поступивший в реактор отход интенсивно перемешивается с инертным слоем, при этом существенно интенсифицируется теплообмен.

Воздухораспределительная решетка обеспечивает равномерность прохождения потока воздуха через слой для обеспечения хорошего псевдоожижения. Применяются три типа обычных решеток: перфорированная решетка, решетка с насадками и трубчатая решетка.

Для установок, в которых разогрев слоя осуществляется с помощью газовых горелок или мазутных форсунок, конструкция решетки должна быть рассчитана на прохождение горячих газов. Обычно в таких случаях применяются водоохлаждаемые решетки либо решетки из жаропрочных, легированных сталей.

В зависимости от характера псевдоожижения различают три модификации кипящего слоя:

а) Реакторы для сжигания твердых отходов, шламов и осадков сточных вод со стационарным кипящим слоем обычно состоят из цилиндрической или прямоугольной топочной камеры (см. рисунок 2.10), ограниченной газораспределительной решеткой, конструкция которой предусматривает возможность удаления шлака. Реакторы со стационарным кипящим слоем широко используют для сжигания отходов в США, Германии, Японии и многих других странах.

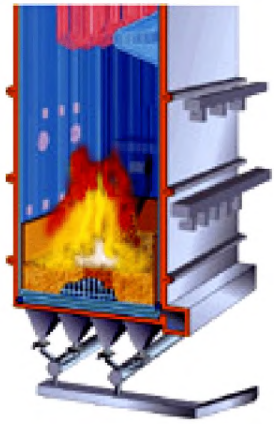
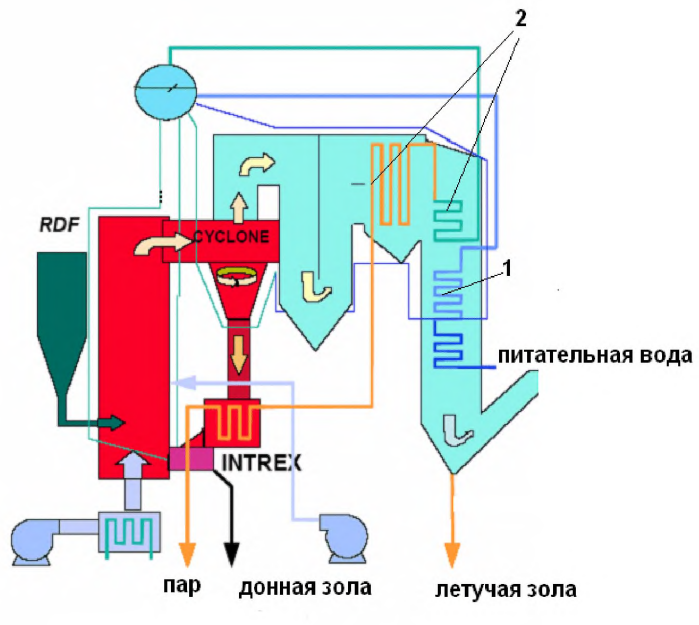


Рисунок 2.10 — Топка с кипящим слоем [11]

б) Некоторое количество инертного материала при увеличении скорости газов сверх скорости витания начинает выноситься из слоя настолько интенсивно, что необходимо его восполнение. Циркулирующий кипящий слой (ЦКС) отличается от стационарного кипящего слоя наличием по тракту дымовых газов циклонных золоуловителей (см. рисунок 2.11). Уловленный материал возвращается из циклонов в слой, где продолжается обработка отходов.

На мировом рынке представлены технологии уничтожения отходов в циркулирующем кипящем слое (Германия, США). Технология сжигания твердых отходов и осветленного шлама с использованием ЦКС была впервые опробована в Нидерландах и Великобритании. В Германии этот способ сжигания стал применяться после введения законодательных норм 17 BimSchV по охране окружающей среды в части содержания в уходящих газах 0,1 нг/м^3 диоксинов. В августе 1995 года вошла в промышленную эксплуатацию ТЭЦ Northampton (США) с котлом Foster Wheeller с ЦКС мощностью

110 МВт для сжигания отходов углеобогащения, а в 1997 году внедрена установка с ЦКС для сжигания ТКО на заводе Робинз в Чикаго (США) производительностью 500 тыс. т/год. Нагрузка каждой из двух печей с ЦКС 25 т/ч. Крупность загружаемого материала 100 мм, минимальная теплота сгорания — около 2450 ккал/кг.



1 — экономайзер; 2 — конвективный пароперегреватель; 3 — циклоны

Рисунок 2.11 — Котел с ЦКС для сжигания бытовых отходов, установленный на предприятии Lomellina (Италия) [11]

Целесообразность сжигания отходов методом псевдоожижения должна определяться с учетом как достоинств, так и недостатков этого метода. К основным достоинствам последнего относятся:

1) интенсивное перемешивание твердой фазы, приводящее практически к полному выравниванию температур, концентраций и других параметров по объему псевдоожиженного слоя;

2) благоприятные гидродинамические условия, определяемые повышенной относительной скоростью газа;

3) незначительное гидравлическое сопротивление слоя;

4) возможность использования достаточно крупных отходов в твердом, жидком и пастообразном состоянии (для особо крупных отходов необходимо грубое измельчение перед подачей в реактор);

5) сравнительно простое устройство аппаратов и возможность их автоматизации;

6) отсутствие подвижных частей и механизмов в горячей зоне реактора;

7) при сжигании отходов в кипящем слое легко связываются кислотные соединения галогенов, серы и фосфора путем добавки в слой нейтрализующих соединений кальция.

К недостаткам метода псевдоожижения (как для стационарного, так и для циркулирующего слоя) относятся:

1) неравномерность времени пребывания в псевдоожиженном слое обрабатываемых частиц твердой фазы. Например, одинаково возможны быстрый проскок частиц и их нахождение в слое дольше среднестатистического времени пребывания;

2) возможность спекания и слипания твердых частиц. Для исключения возможности шлакования слоя его температура должна быть ниже температуры плавления золы отходов;

3) необходимость установки мощных золоулавливающих устройств на выходе газов из псевдоожиженного слоя, особенно при разном гранулометрическом составе отходов.

Вышеперечисленные недостатки могут быть устранены при использовании реакторов псевдоооожиженного слоя нового, третьего (после стационарного и циркулирующего) поколения.

в) В Великобритании разработана технология сжигания твердого топлива в котле с вращающимся кипящим слоем. Эта работа была первым опытом вихревого или вращающегося кипящего слоя. Котел с кипящим слоем фирмы имел наклонную решетку, разделенную на 3 секции с различным расходом воздуха в каждую из них, а часть переднего мембранного экрана расположена параллельно решетке и выполняет роль дефлектора. Вынужденная циркуляция кипящего слоя поддерживается не только конструктивным решением, но и вдувом твердого топлива в передней и задней стенках котла. В котлах данного типа успешно осуществлялось сжигание таких типов промышленных отходов, как отходы угля и кокса, раздробленные автомобильные покрышки, отходы гликоля. В Великобритании опробовано более 10 мелких установок с одновихревым кипящим слоем. Установки используются для обезвреживания промышленных, медицинских и твердых бытовых отходов, причем эксплуатируются они в 1–2 смену.

Японская фирма продолжила и усовершенствовала данную технологию, а также успешно внедрила ее на многих японских заводах по сжиганию ТКО. В Европе эта технология известна под названием Rowitec (см. рисунок 2.12).



1 — загрузка отходов; 2 — вращающийся кипящий слой; 3 — подача воздуха для создания кипящего слоя; 4 — выход дымовых газов; 5 — дефлектор (отражатель); 6 — выгрузка золы кипящего слоя (шлака); 7 — наклонная сопловая решетка

Рисунок 2.12 — Принцип действия вихревого кипящего слоя [19]

Технология сжигания во вращающемся кипящем слое Rowitec имеет 3 особенности.

Фурменное днище реактора (решетки) состоит из нескольких камер, через которые подаются различные потоки первичного воздуха с целью достижения псевдоожиженного слоя в сочетании с вращением. Наклонная решетка облегчает выгрузку шлака из реактора.

Дефлекторы (отражатели) над топочной камерой обеспечивают вращение слоя, определяют степень его расширения и уменьшают вынос теплоносителя, благодаря чему достигается точное геометрическое вращение слоя.

Два эллиптических вихря, вращающихся в противоположных направлениях встречаются и соприкасаются в середине и обусловливают оптимальное распределение и интенсивное истирание отходов, обеспечивая сгорание отходов более чем на 99 %. После предварительного измельчения отходов до кусков менее 300 мм с помощью двух противодвижущихся шнековых питателей отходы перемещаются в топочную камеру, где поддерживается температура более 850 °С.

Для достижения полного сгорания токсичных компонентов в дымовых газах в зону, расположенную над кипящим слоем, вводится вторичный воздух, который способствует полному дожиганию дымовых газов при температуре 1100 °С — 1200 °С.

В России указанная технология реализована в промышленном масштабе на МСЗ № 4 (промзона Руднево).

Технология вращающегося кипящего слоя хорошо зарекомендовала себя при сжигании следующих типов твердых и пастообразных органических отходов: ТКО; промышленные шламы, содержащие нефтепродукты; отходы пластмасс; сельскохозяйственные отходы; автомобильные покрышки.

Эксперименты, проведенные на огневом стенде, на двух опытно-промышленных установках в г. Пусан (Республика Корея) и в г. Орехово-Зуево (Московская обл.), показали большие перспективы использования локальных реакторов относительно небольшой мощности (до 200 кг/ч) с одновихревым вращающимся кипящим слоем для термического обезвреживания твердых и пастообразных органических отходов. Применение одновихревого кипящего слоя с высокими удельными нагрузками значительно упрощает аппаратурное оформление процесса и обслуживание установки.

При обезвреживании крупнокусковых хлорсодержащих отходов (размер отдельных кусков до 70 мм) обеспечивалась высокая экологическая эффективность процесса. В первой ступени реактора в зоне вращающегося слоя при температурах 800 °С — 900 °С в присутствии извести (CaO или $Ca(OH)_2$) осуществлялось выгорание основной массы органических веществ и нейтрализация хлористого водорода (HCl) с образованием $CaCl_2$.

Во второй ступени реактора — зоне дожигания достигалось полное окисление примесей (остаточная концентрация CO < 50 мг/м^3) и нейтрализация карбонатом натрия (Na_2CO_3) остатков HCl (концентрация HCl в дымовых газах менее 10 мг/м^3).

2.4 Использование плазменных источников энергии

В последние годы в зарубежной и отечественной технической литературе появился огромный массив материалов, в большей степени рекламного характера, по использованию плазменных источников энергии (электродуговых генераторов) в установках высокотемпературной переработки различных отходов, содержащих органические вещества (твердых бытовых, промышленных и медицинских).

Следует отметить, что во многих публикациях используется, по нашему мнению, неточный термин, например «плазменная газификация», хотя рассматривается процесс термической переработки — неполного окисления органических веществ, к кото-

рому плазма не имеет непосредственного отношения. Плазма выступает в роли источника энергии, т. е. генератора высокотемпературных газов — заменителя продуктов сгорания органического топлива.

Основными вариантами использования плазменных источников энергии в технологиях высокотемпературной переработки и обезвреживания твердых бытовых, промышленных и медицинских отходов являются:

- плазмохимическая ликвидация супертоксикантов непосредственно в плазменной дуге;

- воздействие на слой токсичных отходов ударной плазменной струей;

- термическое обезвреживание отходов в плотном фильтруемом слое с использованием плазменных источников энергии;

- дожигание отходящих из печей газов с помощью плазменных источников энергии.

2.4.1 Плазмохимическая ликвидация супертоксикантов

Жидкие и диспергированные (пылевидные) твердые отходы, содержащие стойкие органические загрязнители, могут подвергаться обезвреживанию непосредственно в плазменной дуге [2]. При температурах выше 4000 °С за счет энергии электрической дуги в плазмотроне молекулы кислорода и отходов расщепляются на атомы, радикалы, электроны и положительные ионы. При остывании в плазме протекают реакции с образованием простых соединений (CO_2, H_2O, HCl, HF, P_4O_{10} и др.). Степень разложения полихлорированных дибензодиоксинов и фуранов (ПХДД и ПХДФ), полихлорбифенилов (ПХБ), хлор-, фтор-, сера-, фосфорсодержащих пестицидов достигала 99,9999 %. Испытания, включающие деструкцию смесей CCl_4 с метилэтилкетоном и водой и деструкцию трансформаторного масла, содержащего 13 % — 18 % ПХБ и столько же трихлорбензола, показали, что эффективность уничтожения хлорсодержащих компонентов превышала 99,9995 % [2].

При обезвреживании хлорсодержащих отходов в результате разрушения химических связей между атомами исходных соединений в плазме образуется большое количество ионов хлора, которые при медленном остывании отходящих газов (отсутствии эффективной их закалки) взаимодействуют с ионами углерода, кислорода и водорода, вновь образуя вторичные супертоксиканты, в том числе ПХДД И ПХДФ.

В России в 2007 году разработан способ утилизации жидких отходов, содержащих ПХБ, заключающийся в их предварительном испарении и подаче непосредственно в струю плазмообразующего газа [23]. Ввод отходов осуществляется совместно с

нейтрализующим агентом — негашеной известью, измельченной до крупности менее 74 мкм. Связывание хлора в $CaCl_2$ предотвращает синтез вторичных органических супертоксикантов.

Отечественными специалистами также разработана технология и реактор для плазменной переработки пестицидов (см. рисунок 2.13). Отличительной особенностью этой технологии является нейтрализация кислотных газов в системе мокрой очистки за ступенью закалки отходящих газов.

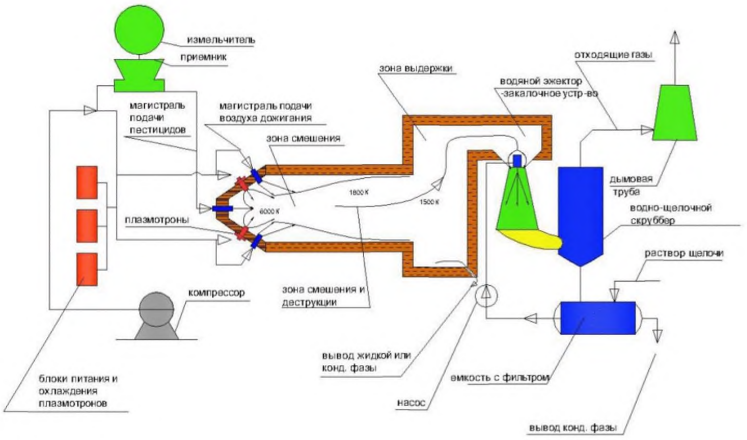


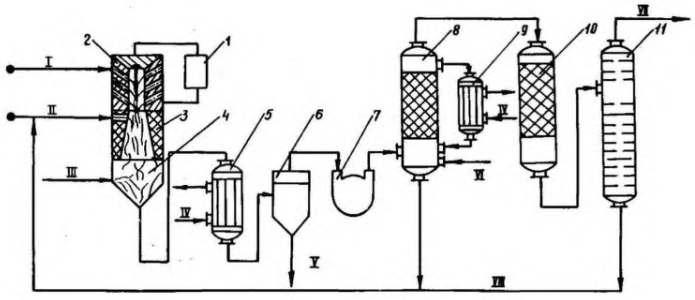
Рисунок 2.13 — Технологическая схема установки для плазменной переработки пестицидов [23]

Высокие затраты энергии и сложность аппаратурного оформления реакторов ограничивают возможности широкого применения способа окислительного обезвреживания отходов непосредственно в плазменной струе.

Более перспективным является применение способа с впрыском жидких отходов в плазменную струю для переработки отходов в восстановительной среде с целью получения ценных товарных продуктов.

В СССР, например, был разработан и доведен до стадии опытно-промышленных испытаний пиролиз жидких хлорорганических отходов в низкотемпературной восстановительной плазме, позволяющий получать ацетилен, этилен, хлористый водород и продукты на их основе [24].

Принципиальная схема плазмохимической установки для переработки хлорорганических отходов в органические продукты приведена на рисунке 2.14.



1 — источник электропитания; 2 — плазмотрон; 3 — реактор; 4 — закалочное устройство; 5, 9 — теплообменники; 6 — фильтр; 7 — компрессор; 8 — реактор селективной очистки; 10 — реактор синтеза; 11 — колонна разделения.
I — плазмообразующий газ; II — отходы; III — закалочный агент; IV — хладагент; V — технический углерод; VI — хлор; VII — органические продукты; VIII — кубовый остаток

Рисунок 2.14 — Принципиальная схема плазмохимической установки переработки хлорорганических отходов [24]

Технологический процесс состоит из следующих стадий:

- пиролиз отходов;
- очистка газов пиролиза (пирогаза) от технического углерода;
- очистка газов пиролиза от гомологов ацетилена и углеводородов (C_3, C_4);
- синтез хлорорганических продуктов.

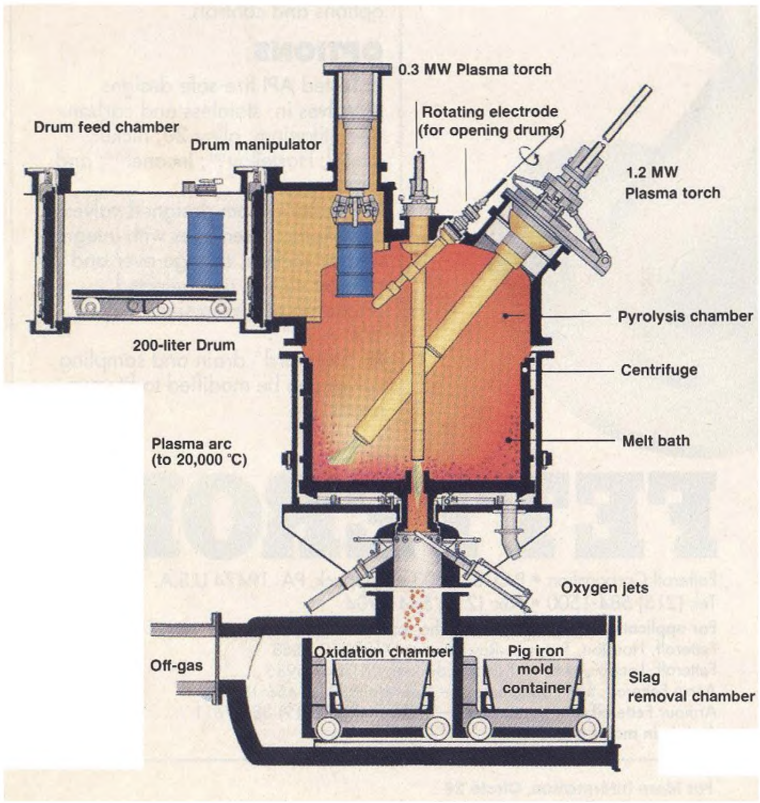
Пиролиз отходов осуществляется в плазмоагрегате, состоящем из плазмотрона 2, плазмохимического реактора 3, закалочного устройства 4. Питание плазмотрона осуществляется от системы электропитания 1.

Плазмоагрегат работает следующим образом: плазмообразующий газ нагревается в плазмотроне до среднемассовой температуры 3500–5000 K, затем в виде низкотемпературной плазмы поступает в плазмохимический реактор, куда форсунками впрыскиваются хлорорганические отходы. При смешении отходов с плазмой происходит их испарение, пиролиз с получением олефиновых углеводородов, HCl, и сажи (технического углерода). Полученный газ подвергают скоростной закалке в закалочном устройстве, а затем охлаждают, очищают от сажи, осуществляют селективную очистку от гомологов ацетилена и углеводородов (C_3, C_4). Очищенный газ направляют на синтез хлорорганических продуктов.

Производительность установки по отходам — 750 кг/ч, энергозатраты на переработку отходов — не более 2 кВт·ч/кг.

2.4.2 Воздействие на слой токсичных отходов ударной плазменной струей

В 1990-х годах в Швейцарии разработана и внедрена в г. Muttenz установка высокотемпературного обезвреживания опасных отходов мощностью 1 т/ч (см. рисунок 2.15).



Drum feed chamber — камера для бочек;

Drum manipulator — манипулятор для бочек;

0,3 MW Plasma torch — плазмотрон мощностью 0,3 МВт;

Rotating electrode (for opening drums) — вращающийся электрод (для открытия бочек);

1,2 MW Plasma torch — плазмотрон мощностью 1,2 МВт;

200-liter Drum — 200-литровая бочка;

Pyrolysis chamber — камера пиролиза;

Centrifuge — центрифуга;

Melt bath — ванна расплава;

Plasma arc (to 20,000 °C) — плазменная дуга (до 20000 °C);

Oxygen jets — кислородные струи;

Off-gas — отходящие газы;

Oxidation chambers — камера окисления;

Pig iron mold container — контейнер для чугуна;

Slag removal chamber — шлаковая камера

Рисунок 2.15 — Установка высокотемпературного обезвреживания опасных отходов [25]

Технология получила название «Плазмокс» [25]. Центральным элементом установки является центрифуга с установленной в ней плазменной горелкой. Отходы в бочках питателем подаются в медленно вращающуюся водоохлаждаемую центрифугу, где они распределяются на поду печи. Плазменная горелка постоянного тока, мощностью 1,2 МВт нагревает материал и разрушает токсичные органические вещества. На поду образуется расплав минеральных компонентов с температурой ~ 1600 °С. Термическая деструкция органических компонентов осуществляется главной плазменной горелкой. Образующиеся газы через пережим, в котором устроена еще одна горячая зона с помощью второй плазменной горелки мощностью 0,3 МВт, поступают в окислительную камеру, в которой они находятся в течение 2 с при 1200 °С.

Технология и установка плазмохимического уничтожения ПХБ-содержащих конденсаторов предложена американской фирмой. Плазменно-дуговая центробежная установка Plasma Arc Centrifugal Treatment System, «PACT-8» (цифра 8 соответствует диаметру центрифуги в футах, 1 фут = 0,3048 м) разрабатывалась фирмой с 1985 года [26].

ПХБ-содержащие конденсаторы измельчаются в специальном устройстве и шнековым питателем подаются в первичную камеру переработки. В реакционную зону первичной камеры подается кислород (воздух) и отходы, на которые воздействует поток плазмы из электродугового плазмотрона. При высокой температуре в первичной камере переработки (температура в реакционной зоне до 1300 °С) происходит деструкция ПХБ (пиролиз и сжигание) и плавление неорганических компонентов отходов. В результате образуются газообразные отходы, направляемые на дальнейшую переработку, и шлак.

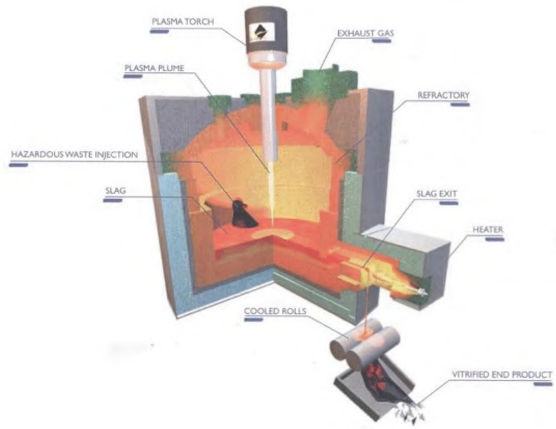
При вращении центрифуги происходит равномерный прогрев и перемешивание отходов и шлакового расплава, благодаря чему достигается высокая степень деструкции ПХБ и других токсичных компонентов отходов. В установке «PACT-8» используется оригинальная система формирования факела плазмы с использованием водоохлаждаемых электродов.

Газообразные отходы поступают во вторичную камеру переработки. Все газы, выходящие из первичной камеры, должны выдерживаться в этой камере при температуре не ниже 980 °С не менее 2 с при концентрации кислорода не менее 6 %.

Техническая характеристика установки «PACT-8»: мощность 1 МВт; температура в зоне плазменной дуги 10000 °С — 20000 °С; температура в реакционной зоне 1000 °С — 1300 °С; производительность по конденсаторам 300–500 кг/ч; степень де-

струкции 99,9999 %; количество твердых отходов на тонну перерабатываемых конденсаторов — 0,4 т.

Упрощенным вариантом «Плазмокс» и «РАСТ-8» без установки центрифуги является плавильная печь EUROPLASMA (г. Бордо, Франция) для переработки токсичной золы МСЗ (см. рисунок 2.16). Мощность этих установок (Франция, Япония и другие страны) составляет от 6 до 41 т/сут. Нелетучие минеральные компоненты, в том числе соли тяжелых металлов извлекаются из печи в виде расплава (вторичного продукта), а возгоны летучих веществ (кадмий, ртуть, свинец) после системы сорбции и улавливания собираются для последующего концентрирования, утилизации или захоронения.



Plasma torch — плазмотрон;
Exhaust gas — уходящие газы;
Refractory — огнеупоры;
Hazardous waste injection — ввод опасных отходов;
Slag — шлак;
Plasma plume — плазменный факел;
Slag exit — выход шлака;
Heater — нагреватель;
Cooled rolls — охлаждающие ролики;
Vitrified end product — керамический продукт

Рисунок 2.16 — Плазменная печь EUROPLASMA для переработки токсичной золы МСЗ [19]

Специалистами Республики Беларусь разработана, изготовлена и испытана плазменная камерная печь периодического действия мощностью до 50 кВт и произво-

дительностью 20–30 кг/ч, показанная на рисунке 2.17 [27]. Печь предназначена для обезвреживания сравнительно небольших объемов медико-биологических отходов. После загрузки отходов в количестве примерно 10–15 кг и включения плазмотрона цикл их переработки (сжигания) составляет ~10 мин и зависит от состава отходов. После завершения цикла работы плазмотрон выключается и печь переходит в режим остывания и разгрузки шлака. Суммарное время реализации всех стадий составляет около 30 мин, после чего печь готова к следующей загрузке и включению.

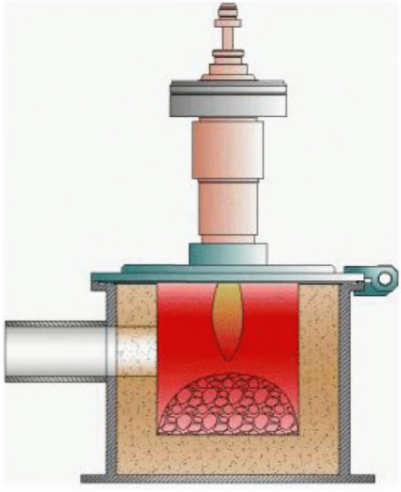


Рисунок 2.17 — Плазменная печь для обезвреживания медико-биологических отходов [27]

Плазменная установка переработки инфицированных медицинских отходов построена на территории Московской городской инфекционной клинической больницы № 1 [28], [29]. Принципиальная технологическая схема установки приведена на рисунке 2.18.

Основу оборудования составляет двухкамерная кессонная металлургическая печь с ванной расплава шлака и металла и плазмотроном на боковой стенке, обеспечивающим температурный уровень от 2000 °С до 5000 °С. Максимальная проектная пропускная способность по отходам — 60 кг/ч (500 т в год).

По ряду технических и экономических факторов указанная установка не была введена в постоянную эксплуатацию.

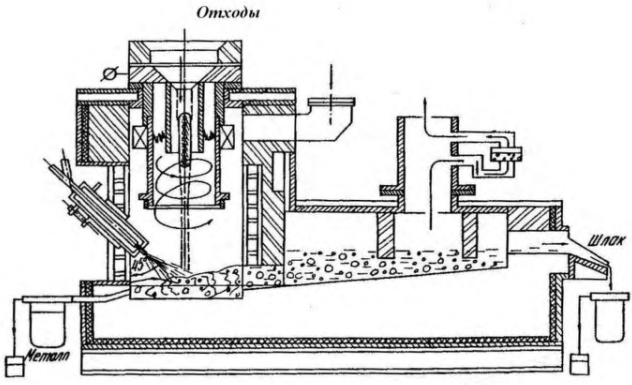


Рисунок 2.18 — Технологическая схема плазменной установки для обезвреживания медицинских отходов [28]

В целом рассмотренная технология обработки неподвижного слоя токсичных отходов ударной плазменной струей характеризуется низкой эффективностью тепло- и массообмена. Существенное усложнение установки за счет встроенной центрифуги для перемешивания расплава на поду печи кардинально не повышает эколого-технологические параметры процесса.

2.4.3 Термическое обезвреживание отходов в плотном фильтруемом слое

Наибольшее распространение в практике пиролиза и газификации твердых бытовых, промышленных и медицинских отходов нашли вертикальные шахтные печи.

Классическим примером противоточной шахтной печи для пиролиза твердых отходов является реактор [30], представленный на рисунке 2.19.

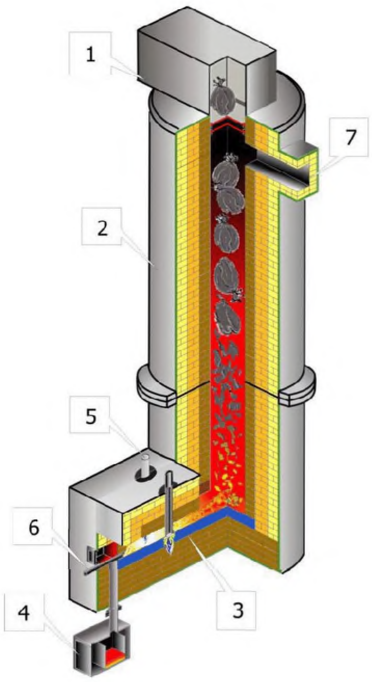
Через узел загрузки упаковки с отходами поступают в верхние слои шахты и, опускаясь под действием силы тяжести, нагреваются за счет теплоты газов, движущихся вверх им навстречу.

Источником энергии служат дуговые плазмотроны, установленные в подовой части печи над ванной. В качестве плазмообразующего газа используется воздух. Применение воздушных плазмотронов достаточной мощности позволило отказаться от дополнительного топлива. В верхней части печи отходы проходят стадии сушки и пиролиза, сопровождающиеся интенсивным газовыделением.

В высокотемпературной зоне шахтной печи в нижних слоях отходов происходит возгонка летучих соединений. В то же время в среднем и верхнем уровнях шахты печи,

в зоне относительно низких температур, эти соединения концентрируются и сорбируются в слое отходов.

Коксовый остаток в значительной степени выжигается, а минеральные компоненты плавятся и поступают в зону накопления расплава.

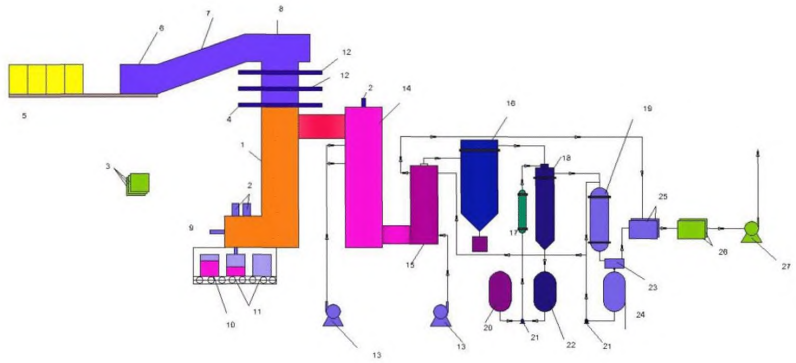


1 — узел загрузки; 2 — шахта; 3 — под; 4 — бокс приема шлака;
5 — плазмотрон; 6 — стопор; 7 — выход пирогаза

Рисунок 2.19 — Плазменная шахтная печь для переработки твердых РАО [30]

Технологическая схема опытно-промышленной установки «Плутон», разработанной для обезвреживания радиоактивных отходов, с агрегатной нагрузкой 200–250 кг/ч [31] приведена на рисунке 2.20. Эта установка позволяет перерабатывать смешанные твердые отходы, содержащие не только горючие компоненты (древесину, бумагу, ветошь, пластики), но и негорючие (металл, стекло, грунт, изоляционные материалы).

Температура отходящих газов на выходе из шахтной печи не превышала 250 °С — 300 °С, пирогаз помимо горючих газов содержал смолистые вещества и аэрозоли сажи и золы, которые подвергались обработке в многоступенчатой системе пылегазоочистки.



1 — шахтная печь; 2 — плазмотрон; 3 — источник питания плазмотронов; 4 — тепловой экран; 5 — склад РАО; 6 — приемный бункер; 7 — герметичный конвейер; 8 — загрузочный бункер; 9 — стопор; 10 — бокс приема расплава шлака; 11 — контейнеры металлические; 12 — шибера; 13 — вентилятор дутьевой; 14 — камера дожигания; 15 — испарительный теплообменник; 16 — фильтр рукавный; 17 — теплообменник; 18 — скруббер; 19 — холодильник; 20 — емкость-дозатор щелочи; 21 — насос; 22 — емкость оборотная; 23 — газовый сепаратор; 24 — сборник конденсата; 25 — смеситель газовый; 26 — фильтр тонкой очистки; 27 — вытяжные вентиляторы

Рисунок 2.20 — Технологическая схема установки «Плутон» [31]

Температура шлакового расплава в ванне печи достигала 1600 °С — 1800 °С и после охлаждения был получен продукт, пригодный для безопасного хранения.

На основе установки «Плутон» разработан комплекс по переработке твердых бытовых отходов в Израиле с проектной нагрузкой 500 кг/ч (см. рисунок 2.21), введенный в эксплуатацию в 2007 году по контракту с израильской компанией EER.



Рисунок 2.21 — Общий вид технологического комплекса по переработке твердых бытовых отходов в Израиле [17]

Шахтная печь для термической переработки твердых бытовых, промышленных и медико-биологических отходов с агрегатной нагрузкой до 200 кг/ч разработана в Республике Беларусь [32], [33]. В качестве плазменных горелочных устройств применяются электродуговые плазмотроны постоянного и переменного тока.

Шахтный процесс переработки дал возможность реализовать режим противотока при нагревании и термической обработке отходов, охлаждение и фильтрацию отходящих газов непосредственно в самом слое. Для этого в состав шихты добавляли органический фильтрующий материал — мелкие древесные опилки.

Авторы разработали плазмотрон постоянного тока ПДС-50/3-03, параметры которого представлены в таблице 2.1.

Таблица 2.1 — Параметры работы плазмотрона ПДС50/3 [32]

Сила тока, А	Напряжение, В	Расход газа (воздух), г/с	КПД, %	Энтальпия плазменной струи, МДж/кг	Температура плазменной струи, К
120	320	3,6	58	6,5	3700
130	340	4,5	59	6,1	3550
110	340	4,0	60	5,9	3500

Глубокое регенеративное использование теплоты отходящих газов, присущее описанным выше противоточным шахтным печам пиролиза и газификации органических отходов обеспечивает минимальные затраты дополнительной энергии на процесс.

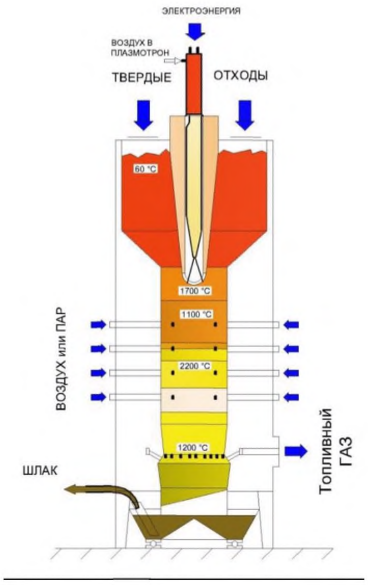
Однако при использовании противоточных печей (ректоров) проявляются и существенные недостатки. Пиролизные смолопродукты, формирующиеся в значительных количествах в верхней зоне (в зоне относительно низких температур), выносятся из печи восходящим (встречным) газовым потоком, загрязняя собой продуцируемый синтез-газ. Это ведет к необходимости тщательной многоступенчатой очистки синтез-газа, существенно усложняя процесс и увеличивая как стоимость оборудования, так и эксплуатационные расходы.

В прямоточных реакторах с нисходящим потоком продукты пиролиза, сформированные в верхней низкотемпературной зоне печи, проходят через нижнюю высокотемпературную зону реактора, где подвергаются термическому разложению. При этом увеличиваются выход горючего газа и его теплота сгорания и, что самое существенное, отпадает необходимость в очистке синтез-газа от смолопродуктов.

Рассмотрим прямоточный газогенератор, разработанный в России [34]. Реактор-газификатор (см. рисунок 2.22) представляет собой вертикальную шахту, футерованную огнеупорным кирпичом. Отход, загружаемый через верхнюю крышку, полностью заполняет внутренний объем реактора и лежит на колосниковой решетке, расположенной в нижней части шахты.

Плазмотрон установлен на одном из боковых фланцев, и поток горячей плазмы распределяется по окружности шахты через ряд боковых, равномерно расположенных отверстий. Полученный в результате синтез-газ отбирается из нижней части реактора.

Проведение процесса газификации при температуре более 1200 °С позволяет избежать появления в синтез-газе жидких фракций (смол). Высокая температура процесса обеспечивает разрушение токсичных органических составляющих отходов и при наличии в отходах хлорсодержащих примесей исключает синтез вторичных супертоксикантов (ПХДД и ПХДФ) [35].



1 — узел загрузки; 2 — накопительный бункер; 3 — генератор плазмы;
4 — шахта реактора; 5 — отверстия ввода дополнительного дутья;
6 — датчики температуры; 7 — выход продукт-газа;
8 — вращающийся колосник; 9 — водяной затвор

Рисунок 2.22 — Реактор-газификатор [34]

В целом, следует заметить, что технология высокотемпературной прямоточной газификации отходов имеет больший потенциал эффективной работы, чем процесс пиролиза, что обусловлено высокой температурой процесса, почти полной конверсией углеродсодержащих веществ в синтетический горючий газ, а также получением безвредного неорганического шлака.

С повышением температуры в реакторе до величин порядка 1100 °С — 1200 °С за счет использования плазменно-дуговых источников энергии возникла возможность и целесообразность использования в качестве теплоносителя и реагента-окислителя водяного пара.

В настоящее время отсутствуют какие-либо технические средства, кроме плазмотронов, позволяющие разогреть большие количества H_2O до плазменного состояния. Уровень развития плазмотронной техники позволяет утверждать, что мощные электродуговые генераторы водяной плазмы, устойчиво и надежно работающие в течение длительного времени займут свое место в промышленности [36].

Помимо существенного повышения теплоты сгорания синтез-газа, а следовательно, общей энергетической эффективности процесса газификации, использование H_2O в качестве плазмообразующего газа исключает разбавление целевого продукта инертным (балластным) компонентом — азотом воздуха, не создает вредных примесей оксидов азота, упрощая систему газоочистки и сокращая объемы ее аппаратов.

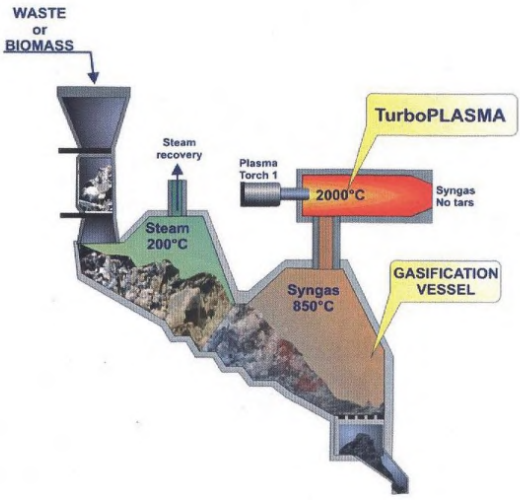
Эти два фактора повышают энергетическую и экологическую привлекательность высокотемпературной паровой газификации твердых бытовых, промышленных и медицинских отходов.

2.4.4 Дожигание отходящих из печей газов с помощью плазменных источников энергии

В последние годы практикуется двухступенчатое термическое обезвреживание органических отходов: в первой ступени, реализуемой в виде камерной, барабанной, шахтной печи или реактора псевдоожиженного слоя, осуществляется неполное сжигание, пиролиз или газификация отходов, а во второй ступени проводится дожигание продуктов неполного горения (углерод, H_2, CO, C_nH_m, смолы), поступающих с газообразным потоком из первой ступени [7].

Отдельные разработчики (например, Франция) предлагают использовать в камерах дожигания плазменный источник энергии (см. рисунок 2.23). Аналогичное решение применил ряд российских фирм и организаций, установив плазмотроны в камере дожигания газов пиролиза, отходящих из шахтной печи [37].

Однако расчетные и экспериментальные исследования показывают, что плазменные генераторы не могут обеспечить эффективное перемешивание относительно большого объема дымовых газов с поддержанием их температуры на уровне ~ 1200 °С — 1250 °С при времени их пребывания при указанной температуре — не менее 2 с.



WASTE or BIOMASS — отходы или биомасса;

TurboPLASMA — турбоплазма;

Steam recovery — выход пара;

Plasma Torch 1 — плазмотрон 1;

Syngas No tars — синтез-газ без смол;

Steam 200 °C — пар температурой 200 °C;

Syngas 850 °C — синтез-газ температурой 850 °C;

GASIFICATION VESSEL — зона газификации

Рисунок 2.23 — Технологическая схема установки термической переработки отходов с плазменным дожигателем [37]

Опыт свидетельствует, что только применение футерованной цилиндрической камеры дожигания с тангенциальным вводом дополнительного газообразного или жидкого топлива приводит к эффективному турбулентному перемешиванию газообразных продуктов и практически полному окислению остаточных органических соединений отходящих газов.

2.5 Высокотемпературное огневое обезвреживание супертоксикантов (ПХБ, пестицидов)

Технология термоокислительного (огневого) обезвреживания жидких ПХБ в циклонном реакторе стала победителем Международного тендера на лучшую технологию

его обезвреживания, организованного Северной экологической финансовой корпорацией (NEFCO) [38].

В основу организации процесса огневого обезвреживания жидких отходов, содержащих ПХБ, положены следующие принципы [39], [40]:

а) обезвреживание отходов осуществляется в циклонном реакторе с огнеупорной воздухоохлаждаемой футеровкой;

б) нейтрализация образующихся кислотных газов (HCl) — непосредственно в объеме циклонного реактора впрыском раствора щелочного реагента с получением нетоксичных минеральных солей;

в) обеспечение условий эффективной деструкции супертоксикантов — диоксинов и фуранов:

1) температура процесса 1200 °С — 1250 °С;

2) время пребывания продуктов обезвреживания в зоне высоких температур ~ 2 с;

3) концентрация кислорода в сухих дымовых газах — более 3 % (коэффициент расхода окислителя более 1,2),

4) эффективное турбулентное перемешивание газов в объеме реактора;

г) закалка высокотемпературных дымовых газов в испарительном скруббере.

Принципиальная технологическая схема установки высокотемпературного обезвреживания жидких ПХБ представлена на рисунке 2.24.

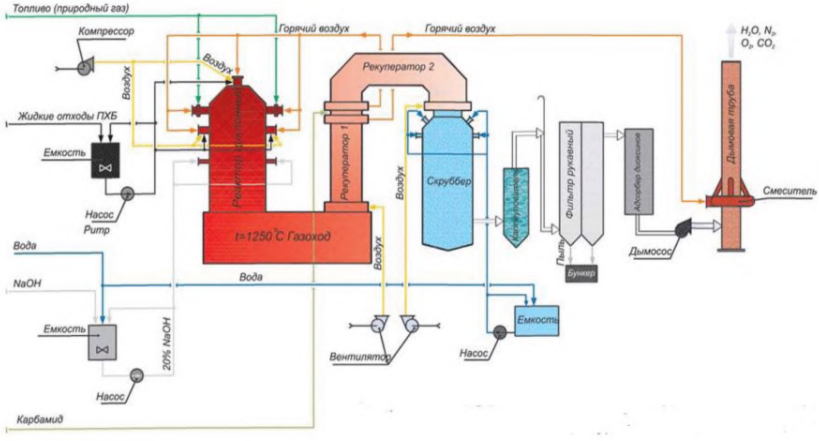


Рисунок 2.24 — Принципиальная технологическая схема установки высокотемпературного обезвреживания жидких ПХБ [39], [40]

В установке высокотемпературного обезвреживания жидких ПХБ предусмотрены следующие технологические приемы:

- использование теплоты отходящих дымовых газов для подогрева дутьевого воздуха в рекуператоре;

- сухая очистка дымовых газов от минерального пылеуноса в тканевом фильтре;

- подогрев уходящих дымовых газов за дымососом.

Установка высокотемпературного обезвреживания жидких ПХБ состоит из футерованного циклонного реактора, футерованного газохода, рекуператора I ступени, рекуператора II ступени, скруббера-испарителя, каплеуловителя, рукавного фильтра, аппарата адсорбционной доочистки, смесителя, дымовой трубы и вспомогательного оборудования: емкостей, насосов, вентиляторов, дымососа, компрессора.

Жидкие отходы принимаются в емкость и насосом подаются к пневматическим форсункам циклонного реактора. Распыливание жидких отходов осуществляется компрессорным воздухом, поступающим от компрессора. Отопление циклонного реактора производится природным газом (жидким топливом). Воздух для горения топлива и жидких отходов поступает из рекуператора II ступени. Раствор щелочи приготавливается в емкости, оборудованной перемешивающим устройством. Приготовленный раствор с концентрацией ~ 20 % насосом подается к механическим форсункам циклонного реактора.

В циклонном реакторе осуществляется горение природного газа (жидкого топлива) и жидких хлорсодержащих отходов. Термическое разложение и окисление органических компонентов ПХБ кислородом воздуха в потоке высокотемпературных продуктов сгорания протекает по следующим химическим реакциям:

$C_6H_3Cl_3 + 6O_2 = 6CO_2 + 3HCl$

$C_{12}H_7Cl_3 + 13O_2 = 12CO_2 + 2H_2O + 3HCl$

$C_{12}H_6Cl_4 + 12{,}5O_2 = 12CO_2 + H_2O + 4HCl$

$C_{12}H_5Cl_5 + 12O_2 = 12CO_2 + 5HCl$

Газообразный хлористый водород, образующийся при термическом разложении органических веществ, нейтрализуется щелочным реагентом непосредственно в объеме циклонного реактора при высоких температурах:

$HCl + NaOH = NaCl + H_2O + Q_1$

Избыточный NaOH подвергается карбонизации:

$2NaOH + CO_2 = Na_2CO_3 + H_2O + Q_2$

Минеральные соли вместе с дымовыми газами из циклонного реактора направляются в футерованный газоход. Объем газохода по условиям эффективной деструк-

ции супертоксикантов выполнен с учетом обеспечения необходимого времени пребывания дымовых газов в зоне высоких температур — не менее 2 с.

Из газохода дымовые газы поступают в рекуператор I ступени, в котором подогревается воздух, направляемый затем в смеситель на подогрев дымовых газов и снижение их влажности.

Воздух в рекуператор I ступени подается вентилятором.

Из рекуператора I ступени дымовые газы, имеющие температуру примерно 1100 °С, направляются в рекуператор II ступени, в котором подогревается воздух, поступающий в циклонный реактор для горения топлива.

Воздух в рекуператор II ступени подается вентилятором.

Для восстановления оксидов азота, образующихся при горении топлива, предусмотрен ввод парокарбамидной смеси в газоход после рекуператора I ступени. Ввод парокарбамидной смеси осуществляется через сопла, установленные в нижней части рекуператора II ступени.

Восстановление оксидов азота происходит по химической реакции:

$2NO + CO(NH_2)_2 + 0{,}5O_2 = CO_2 + 2H_2O + 2N_2 + Q_3$.

Частично охлажденные до температуры примерно 930 °С — 960 °С дымовые газы из рекуператора II ступени направляются в скруббер, где охлаждаются за счет испарения воды, подаваемой к форсункам скруббера из емкости насосом. Охлаждение дымовых газов осуществляется до температур, обусловленных требованиями фильтровального материала фильтра.

Для исключения попадания капельной влаги в фильтр предусмотрен каплеуловитель, установленный в газоходе между скруббером и фильтром. В фильтре осуществляется улавливание из дымовых газов пыли нетоксичных минеральных солей.

Очищенные дымовые газы из рукавного фильтра направляются в аппарат адсорбционной доочистки и далее дымососом направляются в дымовую трубу, в которой установлен смеситель. В смесителе дымовые газы смешиваются с горячим воздухом, подаваемым из рекуператора I ступени, и выбрасываются в атмосферу.

Раздел 3. Показатели оценки технологий и текущие уровни эмиссии в окружающую среду

3.1 Уровни воздействия и потребления в сфере обезвреживания отходов термическим способом

Согласно 7-ФЗ [43] охрана окружающей среды представляет собой деятельность органов государственной власти Российской Федерации, органов государственной власти субъектов Российской Федерации, органов местного самоуправления, общественных и иных некоммерческих объединений, юридических и физических лиц, направленная на сохранение и восстановление природной среды, рациональное использование и воспроизводство природных ресурсов, предотвращение негативного воздействия хозяйственной и иной деятельности на окружающую среду и ликвидацию ее последствий.

К видам негативного воздействия на окружающую среду относятся: выбросы в атмосферный воздух загрязняющих веществ и иных веществ; сбросы загрязняющих веществ, иных веществ и микроорганизмов в поверхностные водные объекты, подземные водные объекты и на водосборные площади; загрязнение недр, почв; размещение отходов производства и потребления; загрязнение окружающей среды шумом, теплом, электромагнитными, ионизирующими и другими видами физических воздействий; а также иные виды негативного воздействия на окружающую среду.

Негативное воздействие на окружающую среду является платным. Формы платы за негативное воздействие на окружающую среду определяются федеральными законами.

Статьей 21 [43] предусмотрены нормативы качества окружающей среды, которые устанавливаются для оценки состояния окружающей среды в целях сохранения естественных экологических систем, генетического фонда растений, животных и других организмов. При установлении нормативов качества окружающей среды учитываются природные особенности территорий и акваторий, назначение природных объектов и природно-антропогенных объектов, особо охраняемых территорий, в том числе особо охраняемых природных территорий, а также природных ландшафтов, имеющих особое природоохранное значение.

Нормативы допустимого воздействия на окружающую среду устанавливаются как для юридических, так и для физических лиц в целях предотвращения негативного воздействия на окружающую среду хозяйственной и иной деятельности и должны

обеспечивать соблюдение нормативов качества окружающей среды с учетом природных особенностей территорий и акваторий.

Нормативы допустимого изъятия компонентов природной среды (статья 26 [43]) и порядок их установления определяются законодательством о недрах, земельным, водным, лесным законодательством, законодательством о животном мире и иным законодательством в области охраны окружающей среды, природопользования и в соответствии с требованиями в области охраны окружающей среды, охраны и воспроизводства отдельных видов природных ресурсов, установленными указанным федеральным законом, другими федеральными законами и иными нормативными правовыми актами Российской Федерации в области охраны окружающей среды.

Нормативы допустимой антропогенной нагрузки на окружающую среду (статья 27 [43]) устанавливаются по каждому виду воздействия хозяйственной и иной деятельности на окружающую среду и совокупному воздействию всех источников, находящихся на этих территориях и (или) акваториях. При установлении нормативов допустимой антропогенной нагрузки на окружающую среду учитываются природные особенности конкретных территорий и (или) акваторий.

Охрана атмосферного воздуха в Российской Федерации осуществляется в соответствии с положениями 96-ФЗ [42].

Данный федеральный закон устанавливает правовые основы охраны атмосферного воздуха и направлен на реализацию конституционных прав граждан на благоприятную окружающую среду и достоверную информацию о ее состоянии.

В [42] описаны требования охраны атмосферного воздуха при проектировании, размещении, строительстве, реконструкции и эксплуатации объектов хозяйственной и иной деятельности, регулирование выбросов вредных веществ при производстве и эксплуатации транспортных и иных передвижных средств, а также при хранении, захоронении, обезвреживании и сжигании отходов производства и потребления.

Согласно статье 14 [42] «выброс вредных (загрязняющих) веществ в атмосферный воздух стационарным источником допускается на основании разрешения, выданного территориальным органом федерального органа исполнительной власти в области охраны окружающей среды, органами исполнительной власти субъектов Российской Федерации, осуществляющими государственное управление в области охраны окружающей среды, в порядке, определенном Правительством Российской Федерации.

В соответствии со статьей 67 [43] (пункт 5 введен [44]) при осуществлении производственного экологического контроля измерения выбросов, сбросов загрязняющих веществ в обязательном порядке производятся в отношении загрязняющих веществ,

характеризующих применяемые технологии и особенности производственного процесса на объекте, оказывающем негативное воздействие на окружающую среду (маркерные вещества).

Программы производственного экологического контроля должны учитывать минимальный перечень маркерных веществ с учетом приобретаемой технологии определенной производительности и обезвреживаемых ею отходов.

Высокая экологическая эффективность термического обезвреживания отходов обусловлена возможностью разложения и превращения практически любых органических и окисляющихся неорганических примесей при высоких температурах в безвредные продукты полного сгорания. Указанная возможность реализуется при обеспечении определенных режимных параметров процесса — температурного уровня в реакторе, удельной нагрузки рабочего объема реактора, дисперсности распыливания (для жидких отходов), аэродинамической структуры и степени турбулентности газового потока в реакторе, видами и количеством вводимых реагентов и др.

Для оценки экологической эффективности процесса термического обезвреживания отходов, содержащих органические вещества, могут быть использованы две методики:

- методика Агентства по защите окружающей среды США (EPA) основана на оценке установок термического обезвреживания отходов по эффективности уничтожения DE (destruction efficieng) или эффективности разрушения и обезвреживания DRE (destruction and removal efficieng). DE (%) показывает соотношение разрушенных компонентов к поступившим с отходами в пределах термического реактора, DRE (%) показывает соотношение указанных токсичных компонентов для установки термического обезвреживания отходов в целом

$$\text{DRE} = \frac{m_i^{\text{исх}} - m_i^{\text{выброс}}}{m_i^{\text{исх}}} \cdot 100\ \%,$$

где $m_i^{\text{исх}}$, $m_i^{\text{выброс}}$ — соответственно концентрации токсичных органических компонентов в отходах и в дымовой трубе.

В соответствии с принятым EPA стандартом 40CFR 264.343 установка термического обезвреживания отходов, содержащих органические вещества, должна обеспечивать разрушение и обезвреживание на уровне DRE = 99,99 %. Следует отметить, что для полихлорированных бифенилов этот показатель должен составлять DRE = 99,9999 %;

- методика, используемая в Западной Европе, предусматривает контроль остаточных концентраций токсичных компонентов в уходящих дымовых газах при законодательно принятых нормативных величинах.

Для полной экологической оценки установки термического обезвреживания отходов необходимо совместно использовать обе методики.

Предельно допустимые значения концентраций вредных веществ, выбрасываемых в атмосферу, установлены Директивой [45]. Эти требования на сегодняшний день являются наиболее жесткими экологическими нормативами в части газовых выбросов. Среднесуточная концентрация вредных веществ в отходящих газах (при 11 % кислорода, сухой газ) должна составлять не более указанных в таблице 3.1.

Таблица 3.1 — Предельно-допустимые значения концентраций вредных веществ [45]

Компонент	Остаточная концентрация, мг/м^3
Пыль	10
Сорг	10
HCl	10
HF	1
SO_2	50
CO	50
NO_x	200
ПХДД + ПХДФ	0,1 нг/м^3
Hg	0,05
Cd + Tl	0,05
Сумма остальных тяжелых металлов	0,5

Необходим также учет выбросов с дымовыми газами токсичных компонентов, синтезируемых на различных стадиях собственно технологического процесса (например, образование и выброс фосгена $CoCl_2$ при сжигании хлорорганических отходов).

Организация и проведение наблюдений за загрязнением атмосферы в городах, на региональном и фоновом уровнях, методики химического анализа концентраций вредных веществ в атмосфере, методы сбора, обработки и статистического анализа результатов наблюдений устанавливаются [46].

Для обеспечения единства измерений на сети мониторинга загрязнения окружающей среды введен Федеральный перечень методик выполнения измерений, допу-

щенных к применению при выполнении работ в области мониторинга загрязнения окружающей природной среды [47].

В соответствии с 52-ФЗ [48] и [49] разработаны гигиенические нормативы (п. 1.1 [50]) предельно допустимых концентраций (ПДК) загрязняющих веществ в атмосферном воздухе населенных мест.

Согласно п. 1.4. [50] приведенные нормативы используются при проектировании технологических процессов.

Кроме того, необходимо в ходе целевого анализа определять содержание маркерных веществ в диапазоне доверительного интервала установленных норм для предельных выбросов и сбросов загрязняющих веществ в окружающую среду.

Методические указания [51] устанавливают порядок выбора точек и программ наблюдения, а также определяют пути выделения маркерных веществ при организации исследований в рамках государственной системы социально-гигиенического мониторинга на локальном (местном) уровне.

В соответствии с 3.2 [51] условием эффективности мониторинга атмосферного воздуха является наличие системы минимально достаточных показателей, позволяющей контролировать санитарно-эпидемиологическую и эколого-гигиеническую ситуацию с наименьшими временными, финансовыми и трудовыми затратами.

К показателям диагностики (маркерам) относятся те, изменения которых свидетельствуют о вероятных изменениях целого комплекса других показателей и позволяют прогнозировать уровень воздействия на население.

Уточнение перечня маркерных загрязняющих веществ в выбросах в атмосферный воздух при обезвреживании отдельных групп отходов термическим способом позволит сократить перечень инструментально контролируемых веществ, основываясь на взаимозависимости веществ в объеме выброса.

При этом способность вещества выступать в качестве маркера (показателя диагностики) рассматривается в качестве основного критерия выбора базовых показателей для включения в программы мониторинга (см. пункт 6.1 [51]) при условии регулярности и периодичности наблюдений.

Распоряжением Правительства Российской Федерации [52] в соответствии со статьей 4.1 [42] утвержден перечень загрязняющих веществ, в отношении которых применяются меры государственного регулирования в области охраны окружающей среды.

В соответствии с законом в этот перечень вошли загрязняющие вещества, для которых имеются методики измерения.

Рекомендуемая периодичность контроля маркерного загрязняющего вещества в выбросах в атмосферный воздух при обезвреживании отходов термическим способом представлена в таблице 3.2.

Таблица 3.2 — Периодичность контроля маркерных загрязняющих веществ в выбросах в атмосферный воздух

Наименование маркерного загрязняющего вещества	Периодичность контроля с учетом суммарной производительности установки, т/сут					
	до 10			более 10		
	Ежесуточно	Ежемесячно	Раз в год	Ежесуточно	Ежемесячно	Раз в год
Азота диоксид	+	–	+	+	–	+
Азота оксид	+	–	+	+	–	+
Серы диоксид	+	–	+	+	–	+
Углерода оксид	+	–	+	+	+	+
Алканы (углеводороды предельные С12– С19)	+	–	+	+	–	+
Углерод (сажа)	+	+	+	+	+	+
Взвешенные вещества	+	+	+	+	+	+
Бенз(а)пирен	–	+	+	–	+	+
Хлористый водород	+	–	+	+	+	+
Фтористый водород	+	–	+	+	+	+
Диоксины (полихлорированные дибензо-п-диоксины и дибензофураны) в пересчете на 2,3,7,8-тетрахлордибензо-1,4-диоксин, нг/нм^3	–	–	+	–	–	+
Ртуть и её соединения	–	–	+	–	–	+
Кадмий + таллий			+			+
Сумма остальных тяжелых металлов	+	+	+	+	+	+

Установки включают комплекс взаимосвязанных технических и технологических решений для обеспечения содержания загрязняющих веществ в отходящих из дымовой трубы газах в пределах удельных показателей, установленных в эксплуатационной документации. В связи с этим, не представляется возможным корректно определить выбросы загрязняющих веществ до очистки расчетными и экспериментальными методами.

При определении периодичности контроля маркерных загрязняющих веществ в выбросах в атмосферный воздух учитывались требования Директивы 2000/76/ЕС Европейского парламента и Совета Европейского Союза "О сжигании отходов" и в частности Статья 11 «Требования к измерению».

Для прогнозной оценки воздействия на окружающую среду и потребления в сфере обезвреживания отходов термическим способом могут быть использованы методы системного анализа и математического моделирования:

- метод аналоговых оценок и сравнение с универсальными стандартами;
- метод экспертных оценок для оценки воздействий, не поддающихся непосредственному измерению;
- метод списка и метод матриц для выявления значимых воздействий;
- метод причинно-следственных связей для анализа непрямых воздействий;
- расчетный метод определения прогнозируемых выбросов, сбросов и норм образования отходов.

Выбросы для каждой конкретной установки определяются в индивидуальном проекте с учетом номенклатуры обезвреживаемых отходов и санитарно-технических нормативов по предельным допустимым выбросам.

Принимая во внимание существующую систему обращения с отходами в районе расположения установки, для периода эксплуатации список и объем обезвреживаемых отходов следует определять по укрупненным показателям, требующим уточнения в процессе пуско-наладки.

Пример маркерных загрязняющих веществ в выбросах в атмосферный воздух при обезвреживании основных групп видов отходов (относительно состава веществ) представлен в таблице 3.3.

Таблица 3.3 — Пример маркерных загрязняющих веществ в выбросах установок термического обезвреживания отходов для основных видов отходов

Наименование загрязняющего вещества	Класс опасности	Вид отходов, подлежащих термическому обезвреживанию *
Азота диоксид	III	1–5
Азота оксид	III	1–5
Серы диоксид	III	1–3, 5
Углерода оксид	IV	1–5
Алканы (углеводороды предельные С12 — С19)	IV	1, 2,5
Углерод (сажа)	III	1–5
Взвешенные вещества	III	1–5
Бенз(а)пирен	I	1–5
Хлористый водород	II	3,4
Фтористый водород	II	1–3, 5
Диоксины (в пересчете на 2,3,7,8-тетрахлордибензо-1,4-диоксин), нг/нм^3	I	1–5
Ртуть и её соединения	I	1–3, 5
Кадмий + таллий	I	1–3, 5
Сумма остальных тяжёлых металлов		1–3, 5

*) Виды отходов, подлежащих термическому обезвреживанию:

1 - отходы, содержащие в своем составе органические и неорганические вещества; 2 - отходы, которые кроме веществ первой группы содержат соединения азота; 3 - отходы, содержащие органические соединения элементов S, P, Cl, F; 4 - отходы, при обезвреживании которых образуются NaCl, Na_2SO4, $Na_4P_2O_7$, Na_2CO_3, KCl; 5 – отходы, содержащие органические вещества, элементы, их окислы, соли или органические соединения элементов.

Необходимо принимать во внимание, что морфологический состав, физико-химические свойства, габаритно-весовые характеристики отходов являются разнообразными. Классификация отходов, подвергаемых термическому обезвреживанию, объединяющая 7 основных показателей, представлена в таблице 1.1.

Практические возможности достижения максимальной полноты сгорания отходов значительно осложняются тем, что калорийность отходов по сравнению с обычным топливом, как правило, невысока и может изменяться в широком интервале значений в зависимости от состава.

На основании информации, полученной от предприятий, осуществляющих термическое обезвреживание отходов, в анкетах и прилагающейся к ним технической документации, можно сделать ряд выводов и рекомендаций.

Золы, шлаки и пыль от топочных установок и от термической обработки отходов относятся к веществам IV–V классов опасности с химическим недожогом, составляющим, как правило, не более 3 %.

Зольный остаток, образующийся в результате эксплуатации установок по термическому обезвреживанию отходов, необходимо выгружать в золосборник, где периодически орошать водой. Ручная выгрузка зольного остатка требует дополнительных организационных и технических решений.

Отработанную суспензию из скруббера следует отправлять на обезвреживание, а очищаемую воду рекомендуется использовать циклически.

Ниже в таблицах 3.4 и 3.5 показаны текущие уровни воздействия на окружающую среду в соответствии с данными анкет предприятий.

Таблица 3.4 — Текущие уровни выбросов в атмосферный воздух

Наименование загрязняющего вещества	Уровни выбросов, мг/нм^3
Диоксид азота	30–100
Оксид азота	
Диоксид серы	1–40
Оксид углерода	5–30
сумма предельных углеводородов	1–10
углерод (сажа)	<10
Взвешенные вещества	1–5
Бензапирен, нг/м^3	0,001
Хлористый водород	1–8
Фтористый водород	< 1
Диоксины (полихлорированные дибензо-п-диоксины и дибензофураны) в пересчете на 2,3,7,8-тетрахлордибензо-1,4-диоксин, нг/нм^3	0,01–0,05
Ртуть и ее соединения	0,001–0,02
Кадмий и его соединения	0,001–0,03
Таллий	
Тяжелые металлы (сумма остальных)	0,005–0,05

Значения уровней выбросов сопоставимы с аналогичными предельно допустимыми значениями концентраций вредных веществ в соответствии с Директивой ЕС [45]).

На уровень выбросов влияют условия тепломассообмена в камере дожигания. Для подъема температуры дымовых газов необходимо применять дополнительное (добавочное) топливо.

Рекомендуется применение подготовленных жидких горючих отходов с достаточной калорийностью и пониженной зольностью остатка.

Исходя из сведений, предоставленных предприятиями, осуществляющими деятельность по обезвреживанию отходов термическим способом, общий удельный расход дизельного топлива (кг/кг обезвреживаемых отходов) следует обеспечивать равным не более 0,15.

Эксплуатация установок по термическому обезвреживанию отходов также предполагает минимизацию удельных расходов тепловой и электрической энергии (кВт/кг обезвреживаемых отходов).

Собственное потребление электрической энергии установкой термического обезвреживания отходов следует обеспечивать равным не более 5 % от подведенной тепловой мощности.

Таблица 3.5 — Текущие уровни сбросов сточных вод от систем мокрой газоочистки

Наименование загрязняющего вещества	Уровни, мг/л
Общее количество взвешенных частиц	10–45
ХПК	50–250
pH	6,5–11
Ртуть и ее соединения (Hg)	0,001–0,03
Кадмий и его соединения (Cd)	0,01–0,05
Таллий и его соединения (Ti)	0,01–0,05
Мышьяк и его соединения (As)	0,01–0,15
Свинец и его соединения (Pb)	0,01–0,1
Хром и его соединения (Cr)	0,01–0,5
Медь и его соединения (Cu)	0,01–0,5
Никель и его соединения (Ni)	0,01–0,5
Цинк и его соединения (Zn)	0,01–0,1
Сурьма и ее соединения (Sb)	0,005–0,85
Кобальт и его соединения (Co)	0,005–0,05
Марганец и его соединения (Mn)	0,02–0,2
Ванадий и его соединения (V)	0,03–0,5
Олово и его соединения (Sn)	0,02–0,5
Полихлорированные дибензодиоксины (ПХДД), нг/л	0,01–0,1
Дибензофураны (ПХДФ), нг/л	

3.2 Мероприятия по снижению воздействия технологий на окружающую среду

Технологический процесс термического обезвреживания отходов основан на обращении с отходами различного класса опасности (см. раздел 1) посредством использования специальных технических систем в составе соответствующих технологических линий.

При поступлении на обезвреживание из отходов целесообразно выделять следующие группы:

- запрещенные к обезвреживанию термическим способом (в том числе ртутьсодержащие);
- содержащие стойкие органические загрязнители (СОЗ);
- твердые и пастообразные нефтесодержащие отходы (НСО);

- жидкие НСО.

Экологическая эффективность термического обезвреживания отходов, содержащих токсичные компоненты, обеспечивается поддержанием следующих параметров:

- температурный уровень процесса;

- скорость подачи отходов в печь;

- время пребывания газов при установленной температуре более 2 с;

- эффективное турбулентное перемешивание горящих отходов и газов;

- оптимальное насыщение кислородом;

- резкое охлаждение до температуры 250 °С — 300 °С, исключающее повторное образование диоксинов;

- очистка отходящих газов в скруббере и адсорбере (в том числе с возможностью улавливания окислов тяжелых металлов и следовых количеств аэрозолей, в том числе от возможных вторичных диоксиноподобных соединений на угольных сорбентах в рукавных фильтрах);

- утилизация шлама.

Приему отходов различного класса опасности должен предшествовать предварительный входной контроль отходов, сопровождающихся паспортами опасных отходов и или протоколами химического анализа, включает в себя:

- оперативный визуальный контроль, включающий соблюдение перечня отходов, запрещенных для высокотемпературного обезвреживания, сортировка отходов при необходимости (с соблюдением правил обращения с отходами соответствующих видов);

- радиационный контроль принимаемых отходов;

- лабораторный контроль и определение химического состава отходов.

Основные мероприятия по охране атмосферного воздуха направлены на обеспечение соблюдения нормативов качества воздуха рабочей зоны и сокращение вредных выбросов в атмосферу до нормативного уровня от всех источников загрязнения на всех стадиях работ.

Мероприятия по снижению выбросов загрязняющих веществ в атмосферу на объекте термического обезвреживания отходов должны быть предусмотрены в соответствии с требованиями 96-ФЗ [42] и действующей нормативно-правовой базой, что предусматривает планирование и осуществление мероприятий по улавливанию, обезвреживанию, сокращению или исключению выбросов загрязняющих веществ в атмосферу.

Снижение выбросов в дымовых газах необходимо предусматривать с помощью:

- бесперебойного технологического процесса;

- эффективного термического обезвреживания;

- увеличения эффективности теплоиспользования;

- поддержание расчетной теплоотдачи в котле-утилизаторе.

В целях минимизации негативного воздействия на воздушную среду применимы следующие технические и организационные решения, главными из которых являются:

- использование многостадийного термического обезвреживания отходов;

- оснащение оборудования газоочистным оборудованием (скруббером, рукавным фильтром-адсорбером);

- мониторинг отходящих дымовых газов;

- временное складирование шлаковых отходов в контейнере с крышкой, установленном на открытой площадке с бетонированным покрытием;

- использование только исправной техники, прошедшей контроль токсичности отработанных газов;

- регулировка топливной аппаратуры оборудования для снижения расхода топлива;

- при неблагоприятных метеорологических условиях рекомендуется проведение работ с возможным минимальным использованием технических средств на технологической площадке;

- разработка и использование программы экологического мониторинга.

Виды и концентрации загрязняющих веществ зависят от типа топлива, используемого для термического обезвреживания отходов.

Для автотранспорта и дизель-генератора, а также в качестве теплоносителя должны использоваться удовлетворяющие требованиям стандартов сорта горючего, а также должно быть обеспечено качественное техническое обслуживание и контроль грузоподъемной техники.

Снижение выбросов оксида азота двигателями техники, при работе на малом режиме, можно обеспечить регулировкой топливной аппаратуры, позволяющей снизить угол опережения впрыска топлива.

Предотвращение воздействия на водные объекты следует реализовывать за счет:

- селективного сбора и подачи на соответствующие технологические линии отходов в специализированных контейнерах и емкостях;

- химические и другие вредные вещества, жидкие и твердые отходы должны собираться, храниться до обезвреживания в специально отведенных местах и емкостях, исключающих их попадание в поверхностно-ливневые стоки;

- временное складирование поступающих для обезвреживания отходов в закрытых контейнерах на бетонированной площадке под навесом с обордюровкой или в помещении непосредственно перед установками термического обезвреживания в объеме суточного потребления;

- организация сбора отходов производства (не обезвреживаемых на основной производственной площадке) в контейнеры, размещаемые на обвалованных участках с гидроизоляцией с последующим удалением;

- расходные баки дизельного топлива и приемных емкостей жидких нефтесодержащих отходов следует выполнять с двойными стенками, между которыми залита контрольная жидкость (тосол) с целью исключения проливов нефтепродуктов в помещениях и т. д.

К условно чистым относятся воды, прошедшие теплообменные аппараты, в них не происходит изменения состава, а только температуры. Остальные производственные стоки будут относиться к загрязненным.

Исключение загрязнения поверхностных и подземных вод должно обеспечиваться следующими мероприятиями:

- доставка отходов в водонепроницаемой упаковке;

- проведение всех работ по приему отходов на специально оборудованных территориях (закрытых помещениях, территориях с гидроизоляционным покрытием, асфальтированной или бетонированной площадках с разуклонкой или обордюровкой);

- мойка машин и механизмов в специально оборудованных местах;

- обустройство мест стоянки техники, исключающее загрязнение подземных и поверхностных вод;

- применение для гидроизоляции материалов, не оказывающих отрицательного влияния на окружающую среду;

- мойка автотехники и выполнение необходимых ремонтных и профилактических работ только на специально оборудованных для этих целей площадках, размещенных за пределами водоохранных зон и прибрежных защитных полос водных объектов;

- организация наблюдательных скважин для превентивных мер защиты поверхностных и подземных вод.

Величина воздействия на геологическую среду в значительной мере зависит от соблюдения регламентированной технологии. В дополнение к ранее перечисленным

мероприятиям, в целях охраны геологической среды и почвы, должны выполняться следующие основные мероприятия:

- реализация требований в части снятия и хранения плодородного слоя;

- размещение оборудования на подготовленных территориях (с твердым покрытием);

- обязательное соблюдение границ территории, отведенной во временное и постоянное пользование в периоды строительства, эксплуатации и ликвидации производства по термическому обезвреживанию отходов;

- использование в работе исправной техники при отсутствии подтеков масла и топлива, а также очищенных от наружной смазки тросов, стропов, используемых устройств и механизмов;

- соблюдение требований технического обслуживания;

- выполнение требований территориальных органов Росприроднадзора и Роспотребнадзора.

Применяемое оборудование необходимо размещать на площадках в специально предусмотренных зданиях (помещениях) с твердым покрытием и защитным обвалованием, гидроизоляцией и дренажем.

Минимизация физического воздействия достигается путем исключения источников электромагнитного воздействия и ионизирующих излучений на объекте.

К мероприятиям по охране от физических факторов относятся:

- использование сертифицированного оборудования и техники, удовлетворяющих установленным нормативным требованиям;

- расположение оборудования в закрытых помещениях и на специальных фундаментах;

- ограничение скорости движения автомобильного транспорта по территории производственного объекта (не более 10 км/ч).

Определяющим фактором физического воздействия является шумовое воздействие.

Акустические расчеты необходимо выполнить с учетом достижения объектом проектной мощности, при работе объекта в штатном режиме эксплуатации установок и оборудования.

Основными источниками акустического воздействия (внешнего шума) технологического оборудования комплекса термического обезвреживания отходов являются дымосос и дымовая труба. Для сокращения уровней шумового воздействия на прилегаю-

щие территории в трубопровод между дымососом и дымовой трубой устанавливаются глушители шума.

Учитываемым источником шума на технологической площадке является работа автомобильного транспорта и спецтехники, а также технологического оборудования.

С целью исключения воздействия на объекты растительного и животного мира размещение технологических блоков необходимо осуществлять на участках, которые являются составной частью освоенных промышленных зон вне ареалов обитания каких-либо видов животных и произрастания растительности.

Необходимо предусматривать следующие меры по смягчению вредных воздействий на объекты растительности:

- контроль работ по расчистке растительного покрова с целью соблюдения границ согласованных участков земельного отвода;

- проведение работ по восстановлению растительного покрова, предупреждению эрозионных процессов;

- принятие мер к сохранению природных ландшафтов.

Охрана объектов животного мира обеспечивается путем:

- запрета на ведение строительных работ в период массового размножения и миграций наземных позвоночных;

- запрещения использования строительной техники с неисправными системами охлаждения, питания или смазки;

- запрета на установление сплошных, не имеющих специальных проходов заграждений и сооружений на путях массовой миграции животных;

- хранения топлива (нефтепродуктов) в герметичных емкостях.

Обустройство мест и способы временного хранения (накопления) отходов должны соответствовать гигиеническим требованиям к обращению с отходами производства и потребления.

В процессе эксплуатации установки термического обезвреживания отходов временное складирование образовавшегося шлака, золы, уловленной в скруббере, производится в золосборник с крышкой, установленный на бетонированной площадке.

Обычными компонентами зольных отходов являются силикаты, соединения щелочноземельных металлов, хлориды, сульфаты, тяжелые металлы (например, As, Cd, Cu, Pb). Основными составляющими являются минеральная фракция, несгоревшая фракция и металлолом.

После заполнения емкости накопления зольных отходов следует проводить отбор усредненной пробы для проведения комплексного химического анализа, после чего определяются способы дальнейшего обращения с ними.

Должностные лица, допущенные к обращению с отходами, принимаемыми на обезвреживание и образующимися в процессе обезвреживания, должны иметь соответствующую профессиональную подготовку.

Должна быть разработана программа производственного экологического контроля (мониторинга) обращения с принимаемыми и образующимися отходами.

В состав мероприятий по контролю мест временного хранения (накопления) отходов, производственных площадок по обезвреживанию отходов необходимо включать:

- выполнение экологических, санитарных и иных требований в области обращения с отходами;

- соблюдение требований пожарной безопасности в области за обращением с отходами;

- соблюдение требований и правил транспортирования опасных отходов;

- соблюдение нормативов воздействия на окружающую среду при обращении с отходами и выполнением условий разрешительной документации на размещение отходов и т. д.

На этапе опытно-промышленных испытаний и в рамках модернизации технологических линий следует учитывать полный перечень контролируемых параметров (с учетом проверки содержания вредных веществ на срезе дымовой трубы и содержания вредных веществ в зольном остатке и отходах газоочистки, включая оценку острой токсичности методом биотестирования каждого вида отходов или их смеси). Также следует определить и обосновать перечень отходов, возможных к обезвреживанию с использованием соответствующих модернизированных технологических линий относительно максимального уровня безопасности.

Раздел 4. Определение наилучших доступных технологий

4.1 Общая методология определения технологии термического обезвреживания отходов в качестве НДТ

В Российской Федерации критерии определения технологии в качестве НДТ установлены статьей 28.1 [43]. Согласно указанной статье ФЗ, применение наилучших доступных технологий направлено на комплексное предотвращение и (или) минимиза-

цию негативного воздействия на окружающую среду. Сочетанием критериев достижения целей охраны окружающей среды для определения НДТ являются:

- наименьший уровень негативного воздействия на окружающую среду в расчете на единицу времени или объем производимой продукции (товара), выполняемой работы, оказываемой услуги либо другие предусмотренные международными договорами Российской Федерации показатели (критерий 1);

- экономическая эффективность ее внедрения и эксплуатации (критерий 2);

- применение ресурсо- и энергосберегающих методов (критерий 3);

- период ее внедрения (критерий 4);

- промышленное внедрение этой технологии на двух и более объектах, оказывающих негативное воздействие на окружающую среду (критерий 5).

Статья 28.1 ФЗ [43] также устанавливает следующее:

- порядок определения технологии в качестве НДТ устанавливается Правительством Российской Федерации;

- методические рекомендации по определению технологии в качестве наилучшей доступной технологии разрабатываются уполномоченным Правительством Российской Федерации федеральным органом исполнительной власти.

В настоящее время постановлением Правительства Российской Федерации от 23 декабря 2014 г. № 1458 утверждены Правила определения технологии в качестве наилучшей доступной технологии, а также разработки, актуализации и опубликования информационно-технических справочников по наилучшим доступным технологиям [53] (далее — Правила). Указанные Правила устанавливают порядок определения технологии в качестве НДТ, в том числе определения технологических процессов, оборудования, технических способов, методов для конкретной области применения.

В Правилах уточнена формулировка вышеназванных критериев, на основании которых технологические процессы, оборудование, технические способы и методы оцениваются в качестве НДТ:

- наименьший уровень негативного воздействия на окружающую среду в расчете на единицу времени или объем производимой продукции (товара), выполняемой работы, оказываемой услуги либо соответствие другим показателям воздействия на окружающую среду, предусмотренным международными договорами Российской Федерации (критерий 1);

- экономическая эффективность внедрения и эксплуатации (критерий 2);

- применение ресурсо- и энергосберегающих методов (критерий 3);

- период внедрения (критерий 4);

- промышленное внедрение технологических процессов, оборудования, технических способов, методов на двух и более объектах в Российской Федерации, оказывающих негативное воздействие на окружающую среду (критерий 5).

Правила также устанавливают, что определение технологических процессов, оборудования, технических способов, методов (далее — технологии) в качестве НДТ проводится в соответствии с методическими рекомендациями по определению технологии в качестве НДТ, которая, как указано в статье 28.1 [43], разрабатываются уполномоченным Правительством Российской Федерации федеральным органом исполнительной власти. В настоящее время приказом Министерства промышленности и торговли Российской Федерации (Минпромторг России) от 31 марта 2015 г. № 665 утверждены (разработанные в соответствии с указанными выше нормативными правовыми актами) Методические рекомендации по определению технологии в качестве наилучшей доступной технологии [55] (далее — Рекомендации). Главной целью Рекомендаций является формирование научно-методической базы для технических рабочих групп (ТРГ) по технологии в качестве НДТ на основании данных, полученных от промышленности и других информированных сторон. В Рекомендациях установлена совокупность критериев отнесения технологии к НДТ, рассмотрены общие методологические подходы к определению НДТ, порядок отнесения технологии к НДТ и принципы взаимодействия членов ТРГ.

Отдельные методические аспекты определения наилучших доступных технологий, в том числе технологий обезвреживания отходов термическим способом (сжигания отходов), содержатся в ряде других документов [56]–[61], в которых отмечено, что при определении технологии в качестве НДТ целесообразно учитывать соответствие ее новейшим разработкам в данной сфере применения; экономическую и практическую приемлемость технологии для объекта хозяйственной деятельности; оправданность применения технологии с точки зрения минимизации техногенного воздействия на окружающую среду.

В общем случае при отнесении технологии обезвреживания отходов термическим способом (далее — технология ООТС) к НДТ соблюдается следующая последовательность действий:

а) первоначально целесообразно выделить технологии, направленные на решение ранее выделенных экологических проблем (с учетом маркерных загрязняющих веществ, отходов обезвреживания, выбросов, сбросов и иных видов негативного воздействия, а также потребляемых ресурсов и материалов).

б) для выделенных технологий проводится оценка воздействия на различные компоненты окружающей среды и уровней потребления различных ресурсов и материалов.

в) оценка, при наличии необходимой информации, затрат на внедрение технологий и содержание оборудования, возможные льготы и преимущества после внедрения технологий, период внедрения.

г) по результатам оценки из выделенных технологий ООТС выбираются технологии:

1) обеспечивающие предотвращение или снижение воздействия на различные компоненты окружающей среды (для выбросов — по каждому из основных загрязняющих веществ, для отходов обезвреживания — по каждому из основных видов отходов, определенных ранее) или потребления ресурсов;

2) внедрение которых не приведет к существенному увеличению объемов выбросов других загрязняющих веществ, сбросов загрязненных сточных вод, образования отходов обезвреживания, потребления ресурсов, иных видов негативного воздействия на окружающую среду и увеличению риска для здоровья населения выше приемлемого или допустимого уровня;

3) внедрение которых не приведет к чрезмерным материально-финансовым затратам (с учетом возможных льгот и преимуществ при внедрении);

4) имеющие приемлемые сроки внедрения;

д) установление технологий, имеющих положительное заключение государственной экологической экспертизы на проекты технической документации на новые технику, технологию, использование которых может оказать воздействие на окружающую среду.

4.2 Методы, позволяющие пошагово рассмотреть несколько технологий и выбрать наилучшую доступную технологию

На практике, согласно Рекомендациям [55], оценка технологий на их соответствие установленным нормативными правовыми актами критериям определения в качестве НДТ осуществляется в следующей очередности, включающей 5 последовательных шагов. Заключительным (6-м) шагом является принятие членами ТРГ решения об отнесении технологии в НДТ, которое осуществляется в соответствии с установленным Рекомендациями [55] порядке (таблица 4.1).

Таблица 4.1 — Очередность рассмотрения критериев, учитываемых при отнесении технологии ООТС к НДТ

Очередность (шаг) рассмотрения (алгоритм оценки) технологии	Основные действия
1	Рассмотрение критерия 5. Промышленное внедрение технологических процессов, оборудования, технических способов, методов на 2-х и более объектах в Российской Федерации, оказывающих негативное воздействие на окружающую среду
2	Рассмотрение критерия 1. Наименьший уровень негативного воздействия на окружающую среду в расчете на единицу времени или объем производимой продукции (товара), выполняемой работы, оказываемой услуги либо соответствие другим показателям воздействия на окружающую среду, предусмотренным международными договорами Российской Федерации
3	Рассмотрение критерия 2. Экономическая эффективность внедрения и эксплуатации
4	Рассмотрение критерия 4. Период внедрения
5	Рассмотрение критерия 3. Применение ресурсо- и энергосберегающих методов
6	Принятие членами ТРГ решения об отнесении технологии к НДТ

4.2.1 Шаг 1. Рассмотрение критерия 5 «Промышленное внедрение технологических процессов, оборудования, технических способов, методов на 2 и более объектах в Российской Федерации, оказывающих негативное воздействие на окружающую среду»

Рассмотрение данного критерия осуществляется в два этапа:

- этап 1. Получение общей информации о применяемых на практике технологиях ООТС;

- этап 2. Выбор технологий ООТС, внедренных на двух или более предприятиях в Российской Федерации.

На этапе 1 (этап сбора и обработки данных) проводится сбор и анализ общих сведений о применяемых на практике технологиях ООТС.

Основным источником информации о применяемых на практике технологиях ООТС являются сведения, полученные в результате анкетирования предприятий, которое осуществляется на основе специальной анкеты.

Анкета для каждого предприятия, на котором применяются технологии ООТС, в обязательном порядке включает следующие разделы (вопросы, на которые должны быть получены ответы):

- информация о предприятии;

- перечень отходов, принимаемых на обезвреживание термическим способом (с указанием их индекса в ФККО и класса опасности);

- сведения о составе производства с указанием используемого технологического процесса (сушка, сжигание, пиролиз, газификация, плазменный метод) и оборудования, включая перечень основных технологических узлов, срок эксплуатации, мощность основного оборудования;

- графическая схема технологического процесса, на которой должны быть указаны этапы технологического процесса (накопление и предварительная подготовка обезвреживаемых отходов, термическое обезвреживание, теплоиспользование, получение и обращение с побочными продуктами, очистка газовых выбросов, обращение с образующимися отходами) и все возможные источники эмиссий (с указанием среды, в которую происходит эмиссия);

- описание производственного процесса и основных технических и технологических решений при термическом обезвреживании отходов, включая описание основных его стадий (прием поступающих отходов; хранение отходов и сырья; предварительная обработка отходов, загрузка отходов в печь (установку); технологии, применяемые на этапе термической обработки — конструкция печи и т. д.; этап регенерации энергии, например паровые котлы и подача энергии; технологии очистки газообразных продуктов сгорания, которые группируются по веществам; утилизация остаточных продуктов газообразных продуктов сгорания; контроль за выбросами; контроль и очистка сточных вод, в том числе в результате дренажа площадки; утилизация и обработка пепла/зольных остатков). В случаях наличия конкретных технологий соответствующие секции подразделяются на подсекции в зависимости от вида отходов;

- техническая характеристика и технологические параметры используемого оборудования (основного и природоохранного) с указанием производителя (фирмы, страны);

- сведения о материальном балансе;

- сведения об удельных эмиссиях вредных веществ (сбросы, выбросы, отходы), включая данные о соблюдении нормативов качества атмосферного воздуха после рассеивания выбросов;

- сведения об опасных и вредных факторах производства;

- сведения о пожаровзрывопасности технологических сред (в соответствии с [62]);

- сведения о соответствии производства требованиям пожарной безопасности;

- сведения о выполненных технологических, технических и организационных мероприятиях;

- сведения о разработчике технологии и оборудования;

- копии технических и разрешительных документов (паспорта оборудования, заключения государственной экологической экспертизы, разрешения на применение, сертификаты соответствия и т. п.).

Анкета заполняется предприятиями и организациями, внедрившими технологические процессы, оборудование, технические способы, методы термического обезвреживания отходов. Для целей определения перспективных НДТ анкета заполняется также и предприятиями (организациями), осуществляющими научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы или опытно-промышленное внедрение технологий в данной сфере. Необходимо учитывать, что к НДТ, помимо технологических процессов непосредственно термического обезвреживания отходов, могут быть отнесены такие стадии технологического процесса, как организация приема, предварительной обработки и хранения (накопления) обезвреживаемых отходов, очистка отходящих газов, очистка сточных вод, методы обращения с отходами, образующимися в результате обезвреживания отходов термическим способом, методы утилизации получаемых вторичных энергоресурсов.

В качестве дополнительных источников информации используются международные справочники НДТ, статистические сборники, результаты научно-исследовательских и диссертационных работ, иные источники, а также информация, полученная в ходе консультаций с экспертами в соответствующей области.

Конечным итогом данного этапа является получение следующей информации:

- перечень и краткая характеристика отходов, в настоящее время обезвреживаемых термическим способом;

- распределение предприятий по видам (типам) обезвреживаемых отходов;

- количество предприятий, использующих технологии ООТС;

- распределение предприятий по производственной мощности;

- территориальное распределение предприятий с учетом климатических условий;

- главные стадии производства;

- основные экологические проблемы для данной области применения НДТ (которые рассмотрены в подразделе 1.2);

- характерные общие и удельные объемы выбросов/сбросов загрязняющих веществ (устанавливаются ключевые, или маркерные, загрязняющие вещества), общие и удельные показатели образования отходов и промпродуктов (особо выделяются отходы, направляемые на размещение, и промпродукты, направляемые на дальнейшее использование) и потребления ресурсов (воды, энергии, реагентов и т. п.).

На этапе 2 осуществляется выбор технологий ООТС, внедренных на 2 и более предприятиях в России, который осуществляется в соответствии с алгоритмом, рекомендованным в [55] (см. рисунок 4.1).

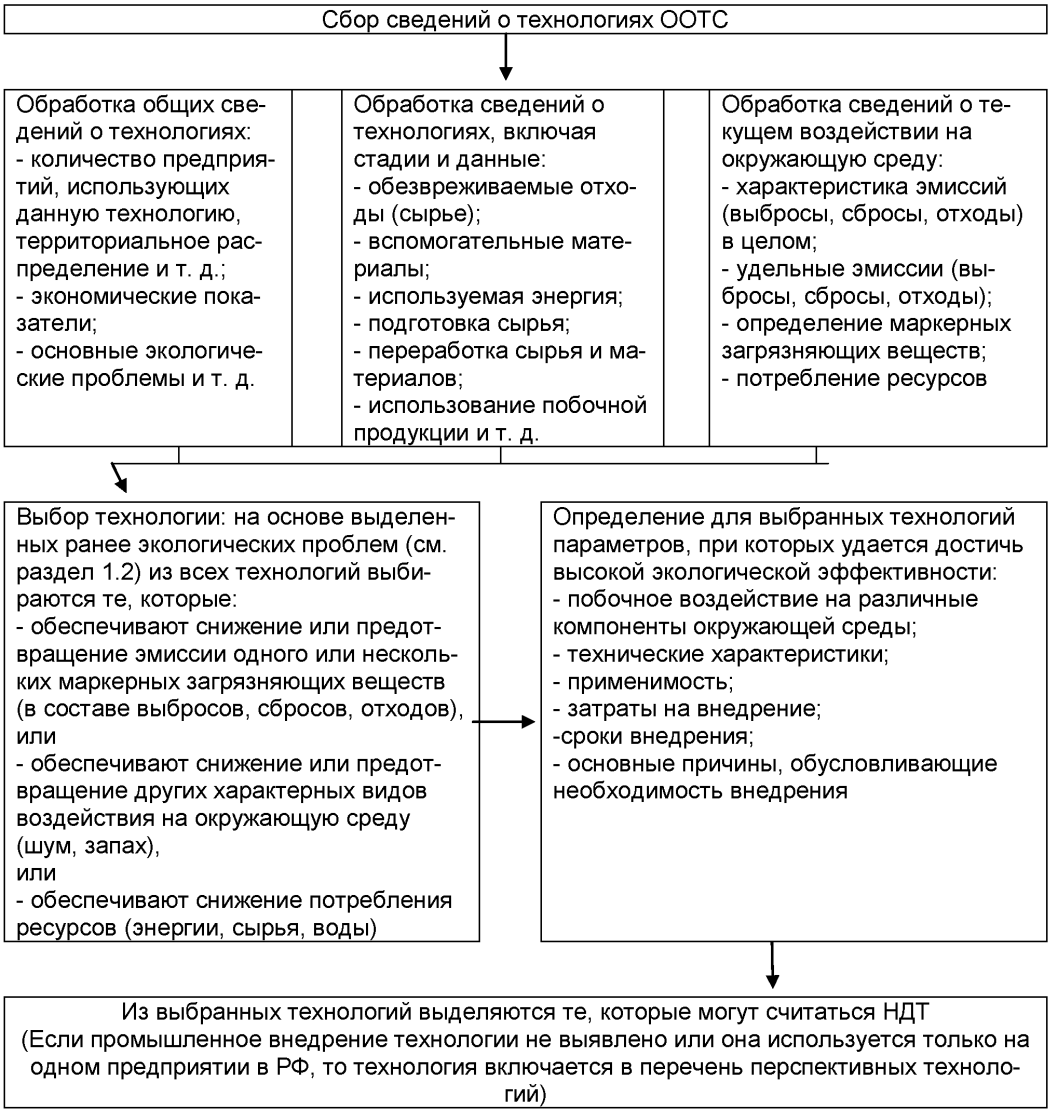


Рисунок 4.1 — Алгоритм выбора технологий ООТС в качестве НДТ.

Обработка информации для выбора технологий ООТС, внедренных на 2 и более предприятиях в Российской Федерации, включает:

- группировку (классификацию) используемых и перспективных технологий ООТС по типам отходов (например, необработанные твердые коммунальные отходы (ТКО), ТКО после предварительной обработки, отходы 1–4-го классов опасности широкого спектра, осадки сточных вод, медицинские отходы, ртутьсодержащие отходы и т. д.);

- группировку технологических процессов, оборудования, технических способов, методов, приемов и средств по стадиям, на которых они применяются;

- учет ограничений по применимости каких-либо технологий, связанных с территориальными (региональными) условиями, в том числе климатическими; при наличии существенных различий в применяемых технологиях в зависимости от территориальных (региональных), в том числе климатических, условий технологии следует сгруппировать в зависимости от условий, в которых они применяются; в таком случае НДТ определяются как для области применения НДТ в целом, так и для каждой группировки технологий в отдельности;

- оценку воздействия на окружающую среду и потребления ресурсов на всех стадиях производства, включая определение стадий производства, характеризующихся наибольшим воздействием на окружающую среду (по видам воздействия, по видам загрязняющих веществ и классам опасности отходов) и потреблением ресурсов (по видам ресурсов — вода, энергия, реагенты и т. д.).

4.2.2 Шаг 2. Рассмотрение критерия 1 «Наименьший уровень негативного воздействия на окружающую среду в расчете на единицу времени или объем производимой продукции (товара), выполняемой работы, оказываемой услуги либо соответствие другим показателям воздействия на окружающую среду, предусмотренным международными договорами Российской Федерации»

Данный критерий рассматривается в двух основных аспектах:

- опасность используемых и (или) образующихся в технологических процессах веществ для атмосферы, почвы, водных систем, человека, других живых организмов и экосистем в целом;

- характер негативного воздействия и удельные (на единицу обезвреженных отходов) значения эмиссий вредных веществ (в составе выбросов/сбросов/отходов).

В первом случае устанавливаются все виды эмиссии вредных веществ (в составе выбросов/сбросов/отходов) и их объемы (масса). При оценке опасности используемых и (или) образующихся в ходе технологических процессов вредных веществ устанавливаются так называемые маркерные загрязняющие вещества, выделяющиеся в атмосферу, поступающие в водные объекты, в промежуточные продукты и твердые отходы. По степени воздействия на организм вредные вещества подразделяются на четыре класса опасности: 1-й — вещества чрезвычайно опасные; 2-й — вещества высокоопасные; 3-й — вещества умеренно опасные; 4-й — вещества малоопасные [12].

Особое внимание следует обратить на данные о соблюдении нормативов качества атмосферного воздуха после рассеивания выбросов, особенно веществ 1-го и 2-го классов опасности, а также на состав отходов обезвреживания (остаточных продуктов переработки отходов), образующихся в ходе технологических процессов, и на состав выбросов в атмосферу.

При обращении с отходами обезвреживания необходимо учитывать следующее:

- технологические процессы сопровождаются образованием твердых и жидких отходов обезвреживания, которые могут быть дополнительно переработаны и размещены либо в местах их образования, либо вывезены с предприятия для переработки, использования или размещения в другом месте;

- приоритетными являются технологии, способствующие максимально возможному предотвращению образования отходов. Если с технической или экономической точки зрения невозможно предупредить образование отходов обезвреживания, то они должны быть размещены (использованы) таким образом, чтобы избежать или минимизировать негативное воздействие на окружающую среду;

- при сравнении альтернативных технологий, в результате которых образуются отходы обезвреживания, рекомендуется использовать анализ их количества, состава и возможного воздействия на окружающую среду. При проведении инвентаризации отходов обезвреживания (остаточных продуктов), образующихся в результате каждой из рассматриваемых существующих технологий, следует разделять их по классам опасности для окружающей среды: I класс (чрезвычайно опасные), II класс (высокоопасные), III класс (умеренно опасные), IV класс (малоопасные), V класс (практически неопасные) [64];

- для каждой из указанных категорий необходимо указать количество образующихся отходов обезвреживания (остаточных продуктов) в килограммах на единицу продукции (на единицу переработанного сырья — обезвреженных отходов).

При оценке выбросов в атмосферу необходимо учитывать следующие параметры:

- характер последствий воздействия — долгосрочные необратимые воздействия рекомендуется рассматривать как наносящие больший вред окружающей среде, чем обратимые краткосрочные последствия;

- загрязняющие вещества, характеризующиеся высокой стойкостью, биоаккумуляцией, токсическими и канцерогенными эффектами, рекомендуется рассматривать как приоритетные в связи с возможностью их переноса на дальние расстояния (в том числе трансграничным переносом).

Характер негативного воздействия и удельные значения эмиссий (в составе выбросов/сбросов/отходов) оцениваются на основании следующих показателей:

а) для выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух:

1) характеристика источников выбросов загрязняющих веществ в атмосферу;

2) перечень загрязняющих веществ, содержащихся в выбросах в атмосферу;

3) объем и (или) масса выбросов загрязняющих веществ до очистки в расчете на тонну переработанного сырья (обезвреженных отходов);

4) наличие очистных сооружений;

5) метод очистки, повторного использования;

6) объем и (или) масса выбросов загрязняющих веществ после очистки в расчете на тонну переработанного сырья;

7) информация о соблюдении установленных нормативов ПДВ;

б) для сбросов загрязняющих веществ:

1) характеристика источников сбросов загрязняющих веществ;

2) направление сбросов (в водный объект, в системы канализации и т. д.);

3) перечень загрязняющих веществ, содержащихся в сбросах;

4) объем и (или) масса сбросов загрязняющих веществ до очистки в расчете на тонну переработанного сырья (обезвреженных отходов);

5) наличие очистных сооружений;

6) метод очистки, повторного использования;

7) объем и (или) масса сбросов загрязняющих веществ после очистки в расчете на тонну переработанного сырья;

в) для отходов обезвреживания (остаточных продуктов) и отходов потребления:

1) источники образования;

2) перечень образующихся отходов по классам опасности;

3) объемы образования отходов (абсолютные и удельные) и источники их образования;

4) перечень размещаемых отходов по классам опасности;

5) объемы размещения отходов (абсолютные и удельные);

6) перечень обезвреживаемых, перерабатываемых и повторно используемых отходов;

7) объемы обезвреживания, переработки и повторного использования отходов (абсолютные и удельные);

г) для прочих факторов воздействия (шум, запах, электромагнитные и тепловые воздействия):

1) перечень факторов;

2) источники воздействия;

3) уровень загрязнения окружающей среды до снижения в расчете на тонну продукции (или постоянный уровень);

4) метод снижения уровня воздействия;

5) уровень загрязнения окружающей среды после снижения в расчете на тонну продукции (перерабатываемого сырья).

Возможное (вероятное) изменение (снижение) рисков негативного воздействия эмиссий (в составе выбросов/сбросов/отходов) после внедрения данной технологии рекомендуется считать дополнительным критерием отнесения технологии к НДТ.

Рекомендуется из анализа исключить все виды воздействия, которые не оказывают существенного влияния на окончательный результат при определении технологии в качестве НДТ. Для обеспечения прозрачности при представлении конечных результатов виды воздействия, которые были исключены как незначимые, должны быть указаны, а их исключение обосновано.

По результатам рассмотрения критерия 1 «Наименьший уровень негативного воздействия на окружающую среду в расчете на единицу времени или объем производимой продукции (товара), выполняемой работы, оказываемой услуги либо соответствие другим показателям воздействия на окружающую среду, предусмотренным международными договорами Российской Федерации» формируется соответствующий подраздел справочника НДТ, включающий следующие положения:

- характеристику окружающей обстановки, которая предусматривает анализ основных физических параметров исследуемой области и характеристику популяций, потенциально подверженных воздействию;

- идентификацию маршрутов воздействия, источников загрязнения, потенциальных путей распространения и точек воздействия на человека;

- количественную характеристику экспозиции — установление и оценку величины, частоты и продолжительности воздействий для каждого анализируемого пути поступления эмиссий.

4.2.3 Шаг 3. Рассмотрение критерия 2 «Экономическая эффективность внедрения и эксплуатации»

Анализ экономической эффективности заключается в оценке затрат на внедрение и эксплуатацию технологии и выгоды от ее внедрения путем применения метода анализа затрат и выгод [55]. Если внедрение различных технологий дает положительные результаты, то технологией с самой высокой результативностью считается та, которая дает наилучшее соотношение «цена/качество». Недостаток данного вида анализа заключается в необходимости обработки большого количества данных, причем некоторые выгоды сложно представить в денежной форме. Альтернативой методу анализа затрат и выгод, как указано в Рекомендациях [55], может служить анализ эффективности затрат, используемый для определения того, какие мероприятия являются наиболее предпочтительными для достижения определенной экологической цели при самой низкой стоимости.

Экономическую эффективность технологии рекомендуется определять следующим образом [55]:

$$\text{Экономическая эффективность} = \frac{\text{Годовые затраты, руб.}}{\text{Сокращение эмиссий, т/год}}$$

В контексте определения НДТ использование подхода экономической эффективности не является исчерпывающим. Тем не менее ранжирование вариантов НДТ по мере возрастания их экономической эффективности является полезным, например, чтобы исключить варианты, которые необоснованно и неоправданно дороги по сравнению с полученной экологической выгодой.

Методология расчета затрат устанавливает алгоритм, позволяющий собрать и проанализировать данные о капитальных затратах и эксплуатационных издержках для сооружения, установки, технологии или процесса с учетом критерия 2 «Экономическая эффективность внедрения и эксплуатации».

Использование последовательного (поэтапного) подхода позволяет сравнить альтернативные варианты даже в том случае, если данные были получены из различных компаний, различных отраслей промышленности, различных регионов или стран.

Основные принципы (этапы) оценки схематично показаны на рисунке 4.2.



Рисунок 4.2 — Основные принципы оценки экономической целесообразности внедрения НДТ/методология оценки затрат

Основной принцип 1 — определение области применения и идентификации альтернативных технологий. Этот принцип аналогичен основному принципу 1 в методологии оценки комплексного воздействия технологий на окружающую среду.

Основной принцип 2 — сбор и проверка правильности (валидация) данных о затратах на внедрение технологий. Этот принцип помогает пользователю пройти все

этапы, необходимые для сбора, анализа и обоснования, учитывая любую неопределенность в имеющихся данных.

Основной принцип 3 — определение структуры затрат. Этот принцип устанавливает состав затрат, которые должны быть включены в оценку или исключены из оценки. При оценке результатов этот принцип полезен для лица, принимающего решение, тем, что помогает понять структуру затрат и статьи, на которые затраты были отнесены: капитальные или эксплуатационные затраты. Принцип требует, чтобы затраты были представлены настолько прозрачно, насколько возможно.

Распределение затрат по компонентам (например, инвестиционные затраты, эксплуатационные затраты и т. д.) является существенным для обеспечения прозрачности процесса, хотя нередко на практике трудно сделать разграничение между затратами на реализацию процесса и экологическими затратами (затратами на мероприятия по защите окружающей среды).

Основной принцип 4 — обработка и представление информации о затратах. Этот принцип излагает процедуры по обработке и представлению информации о затратах. Здесь необходимо принять во внимание норму дисконтирования и годовую процентную ставку, полезный срок службы оборудования и ценность лома, образующегося в конце жизненного цикла оборудования. Там, где это возможно, затраты должны быть представлены в виде ежегодных затрат.

Основной принцип 5 — определение затрат, относящихся к охране окружающей среды. Этот принцип устанавливает различия между затратами на охрану окружающей среды и другими затратами (например, затратами на модернизацию процесса или затратами на повышение эффективности процесса).

В ходе выполнения оценки экономической целесообразности внедрения НДТ необходимо также рассмотреть:

- опыт предыдущего успешного использования в промышленном масштабе сопоставимых технологий;

- информацию об известных авариях, связанных с внедрением и эксплуатацией данной технологии на производстве;

- географические факторы климата внедрения технологий (расположение относительно источников энергии, ее доступность, логистические цепочки), а также технологические ограничения, связанные с региональными физико-географическими и геологическими условиями, а также наличием особо охраняемых природных территорий, памятников культуры и объектов рекреации.

При сборе и обосновании данных, касающихся затрат на внедрение технологии, рекомендуется обратить особое внимание на следующие положения:

- источник и дата происхождения информации должны быть ясно указаны;

- данные о затратах должны быть максимально полными;

- данные о затратах следует получать из нескольких (независимых) источников;

- источники получения и происхождения всех данных необходимо указывать по возможности точно;

- рекомендуется использовать современные доступные и действующие в настоящее время данные;

- для обоснования данных следует представить диапазон количественных показателей; если же это не представляется возможным, то рекомендуется использовать качественный признак.

Для проведения оценки предлагаемой к внедрению технологии рекомендуется определить структуру затрат с выделением капитальных затрат (на строительство сооружений, приобретение и монтаж оборудования) и эксплуатационных. В эксплуатационных затратах необходимо выделить затраты на техническое обслуживание и ремонт, энергоносители, материалы и услуги, затраты на оплату труда.

По итогам сбора информации о затратах рекомендуется обработать ее для обеспечения дальнейшего объективного сравнения рассматриваемых альтернативных вариантов. При этом может потребоваться рассмотрение таких вопросов, как различные эксплуатационные сроки службы технологий (оборудования), годовая процентная ставка по кредиту, расходы на кредитные выплаты, влияние инфляции и валютный курс.

Внедрение технологии является сложным и трудоемким процессом. Это объясняется необходимостью внедрения автоматизированных методов управления, а также наличием на действующих объектах технических систем различного назначения.

При определении экономической эффективности осуществления природоохранных мероприятий и оценки экономического ущерба, причиняемого народному хозяйству загрязнением окружающей среды, рекомендуется руководствоваться положениями, подходами и методическими приемами, обоснованными во Временной типовой методике определения экономической эффективности осуществления природоохранных мероприятий и оценки экономического ущерба, причиняемого народному хозяйству загрязнением окружающей среды [14].

4.2.4 Шаг 4. Рассмотрение критерия 4 «Период внедрения»

Для оценки времени внедрения технологии следует использовать период окупаемости определенной технологии в сравнении с затратами, относящимися к обеспечению охраны окружающей среды. Необходимо провести оценку скорости внедрения НДТ, так как именно сроки внедрения могут быть критичными для промышленности. При этом рекомендуется раздельно рассматривать скорости внедрения НДТ следующих временных масштабов [55]: краткосрочный (от нескольких недель до месяцев); среднесрочный (от нескольких месяцев до года); долгосрочный (обычно составляет несколько лет).

Технические и технологические решения НДТ должны обеспечивать возможность создания производственно-технических комплексов путем их интеграции, открытых для модернизации и развития, отвечающих положениям настоящего справочника.

Выбор времени модернизации должен совпасть с плановой заменой существующего оборудования, а инвестиционные циклы могут быть эффективным средством для рентабельного внедрения технологии. Оценивая скорость (период) внедрения НДТ, рекомендуется также проанализировать предельные затраты на модернизацию. Для НДТ, которые требуют существенных инвестиционных капитальных затрат или значительных модификаций производственных процессов и инфраструктуры, представляется необходимым предусматривать более длительные периоды их внедрения.

4.2.5 Шаг 5. Рассмотрение критерия 3 «Применение ресурсо- и энергосберегающих методов»

При рассмотрении данного критерия следует учитывать требования Методических рекомендаций [55] и положения существующих нормативно-правовых документов по энерго- и ресурсосбережению. Основным методическим приемом, используемым при рассмотрении данного критерия, является сравнительный анализ технологий с точки зрения их энергоэффективности и ресурсосбережения. Целью данного анализа является установление технологии или технологий, которые характеризуются (среди рассматриваемых) лучшими показателями энерго- и ресурсосбережения.

Следует, прежде всего, провести сравнительный анализ технологий по потреблению основных ресурсов, принимая во внимание:

а) потребление энергии:

1) уровень энергопотребления в целом и в различных (основных, вспомогательных и обслуживающих) технологических процессах (с оценкой основных возможностей его снижения);

2) вид и уровень использования топлива (природный газ, бензин, мазут, горючие отходы и т. д.);

б) потребление воды:

1) технологические процессы, в которых используется вода;

2) объем потребления воды в целом и в различных технологических процессах (с оценкой возможностей его снижения или повторного использования);

3) назначение воды (промывная жидкость, хладагент и т. д.);

4) наличие систем повторного использования воды;

в) объем потребления сырья и вспомогательных материалов (реагентов и т. п.) с оценкой возможностей их повторного использования.

Затем необходимо также рассмотреть возможность регенерации и рециклинга веществ и рекуперации энергии, использующихся в технологическом процессе, принимая во внимание, что:

а) для снижения энергопотребления могут быть использованы следующие методы и приемы:

1) внедрение на предприятии систем энергоменеджмента;

2) энергоэффективное проектирование на этапе строительства предприятия;

3) беспламенное сжигание (беспламенное окисление);

4) использование сжатого воздуха в качестве средства хранения энергии и т. д.;

б) для снижения потребления воды:

1) изменение технологического процесса (воздушное охлаждение вместо водного, замкнутый водооборот);

2) предварительная обработка воды и ее повторное использование и т. д.;

в) для снижения потребления сырья:

1) возврат не подвергнутых смешиванию реагентов;

2) возврат боя/лома изделий в технологический процесс;

3) использование отходов других отраслей промышленности (например, как топливо).

В качестве основных показателей энергоэффективности и ресурсосбережения, применяемых для сравнительной оценки рассматриваемых технологий, используются

(при регламентированных условиях эксплуатации оборудования) удельные показатели – удельные расходы электроэнергии, тепла, топлива, воды, различных материалов, т. е. фактические затраты того или иного ресурса (электроэнергии, тепла, воды, реагента и т. д.) на единицу обезвреженных отходов, выражаемые, например, для электроэнергии в кВт-ч на 1 т обезвреженных отходов, для тепловой энергии в Гкал/т отходов, для воды в $м^3$/т отходов и т. д.

Ресурсосбережение (т. е. сбережение энергии и материалов) оценивается также с точки зрения возможности реализация соответствующих правовых, организационных, научных, производственных, технических и экономических мер, направленных на эффективное (рациональное) использование и экономное расходование топливно-энергетических и других материальных ресурсов. На практике потенциал ресурсосбережения реализуется через конкретные энерго- и ресурсосберегающие мероприятия, которые можно разделить на организационно-технические, предполагающие повышение культуры производства, соблюдение номинальных режимов эксплуатации оборудования, обеспечение оптимального уровня загрузки агрегатов, ликвидацию прямых потерь топливно-энергетических ресурсов, своевременное выполнение наладочных и ремонтно-восстановительных работ, использование вторичных энергоресурсов, (сюда же можно условно отнести утилизацию низкопотенциального тепла вентиляционных выбросов, а также процессы регенерации и рекуперации энергии), оснащение приборами учета используемых энергетических и других ресурсов, и инвестиционные, связанные с своевременным замещением морально устаревших производственных мощностей (производственных узлов), внедрением современного энергоэффективного и энергосберегающего оборудования, модернизацией и автоматизацией существующих технологических процессов.

Любое возможное преобразование технологического процесса и(или) используемого оборудования, влекущее за собой уменьшение удельного расхода энерго- и других ресурсов на единицу обезвреженных отходов, особенно при снижении (или, хотя бы, остающемся уровне выбросов и сбросов вредных веществ) следует оценивать как повышение его энергоэффективности и ресурсосбережения (с учетом экономической эффективности и технологической надежности данного преобразования).

Особое внимание следует уделить анализу возможностей вторичного использования образующихся при термическом обезвреживании отходов побочных продуктов (зола от сжигания, шлак, металлом, стекло, пиролизное топливо, пиролизный газ и др.).

Результаты рассмотрения данного критерия являются дополнительным положительным фактором при принятии решения в отношении определения той или иной технологии ООТС в качестве НДТ.

4.2.6 Шаг 6. Принятие членами ТРГ решения об отнесении технологии к НДТ

Технология ООТС может быть определена в качестве НДТ при достижении соглашения между всеми членами ТРГ по данному вопросу [55]. При возникновении различных мнений в ТРГ по какому-либо вопросу федеральным органом исполнительной власти, ответственным за разработку информационно-технических справочников НДТ, может быть предложено компромиссное решение. При возникновении серьезных разногласий относительно того, какие технологии определить в качестве НДТ, может быть проведена более углубленная комплексная оценка технологий.

Окончательное решение о выборе технологии принимают не только с учетом ее «экологичности», но и с учетом ее доступности с финансовой точки зрения. В данном случае рекомендуется ориентироваться на следующий логический подход (рисунок 4.3).

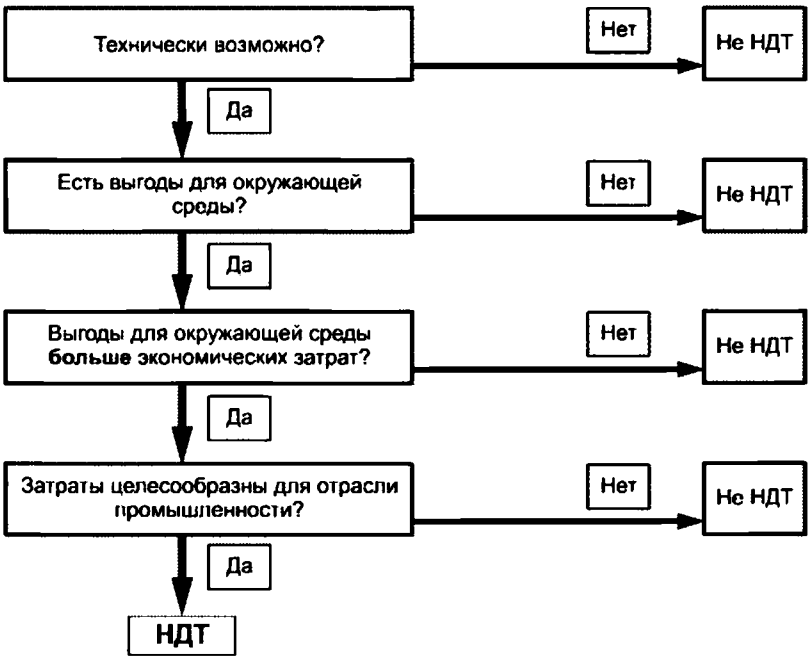


Рисунок 4.3 — Возможный логический подход для принятия решения по НДТ

При наличии особого мнения по определению технологии ООТС в качестве НДТ, не поддерживаемого всеми членами ТРГ, такая технология может быть определена в качестве НДТ и включена в информационно-технический справочник НДТ, что сопро-

вождается специальными указаниями на особое мнение и допускается при соблюдении следующих условий:

- в основе особого мнения лежат данные, которыми располагает ТРГ и федеральный орган исполнительной власти, ответственный за разработку информационно-технических справочников НДТ, на момент подготовки выводов относительно НДТ;

- заинтересованными членами ТРГ представлены обоснованные доводы для включения технологии в перечень НДТ. Доводы являются обоснованными, если они подтверждаются техническими и экономическими данными, данными о воздействии на различные компоненты окружающей среды, соответствием рассматриваемой технологии понятию «наилучшая доступная технология» и критериям определения НДТ в соответствии с Федеральным законом от 10 января 2002 г. № 7-ФЗ «Об охране окружающей среды»[43].

Раздел 5. Наилучшие доступные технологии в сфере обезвреживания отходов термическим способом

5.1 Общие положения

В настоящем разделе перечислен ряд общих положений, которые необходимо учитывать при определении НДТ обезвреживания отходов термическим способом.

Приводятся элементы оборудования и (или) установок или процедур обслуживания оборудования и (или) установок, позволяющие предотвратить или сократить воздействие на окружающую среду, а также технологий, позволяющих сократить потребление ресурсов (сырья, воды, энергии) или предотвратить образование отходов, которые могут быть определены как НДТ.

Принимая во внимание основные экологические проблемы в сфере обезвреживания отходов термическим способом (раздел 1.2), представлены положения, которые необходимо учитывать при внедрении НДТ.

Описания вариантов технологического процесса, альтернативных технологических процессов представлены в виде технологических схем, на базе которых реализуется термическое обезвреживание отходов, с учетом результатов сбора информации о применяемых на промышленных предприятиях технологических процессах, оборудовании, об источниках загрязнения окружающей среды, технологических, технических и организационных мероприятиях, направленных на снижение эмиссии загрязняющих веществ и повышение энергоэффективности и ресурсосбережения.

Указанные варианты технических и технологических решений представляются в соответствии с общей информацией о сфере обезвреживания отходов термическим способом (см. раздел 1), а также перечня применяемых технологий в сфере обезвреживания отходов термическим способом (см. раздел 2).

Технологические схемы и технические аспекты НДТ в сфере термического обезвреживания отходов подготовлены с учетом европейского опыта применения справочников НДТ ЕС «Waste Incineration» (WI) и «Waste Treatments Industries» (WTI).

Исходя из установленного вида отходов (см. таблицу 1.1), подвергаемых термическому обезвреживанию, принимается решение, связанное с определением оптимальных технологических и конструктивных характеристик используемых термических установок и оборудования.

Технологические процессы систематизировались с учётом видов обезвреживаемых отходов (см. раздел 1 и подраздел 3.1).

В настоящее время на установках, производственно-технологических комплексах и мусоросжигательных заводах используют различные технологии обезвреживания отходов, в основе которых чаще других используются следующие термические методы: сжигание, пиролиз, газификация.

Результаты систематизации технологий термического обезвреживания отходов после анкетирования приведены в таблице 1.2.

Наиболее распространенным методом является сжигание (огневой метод), используемый для обезвреживания и переработки жидких, твердых, пастообразных отходов. Блок-схема сжигания приводится на рисунке 5.1.

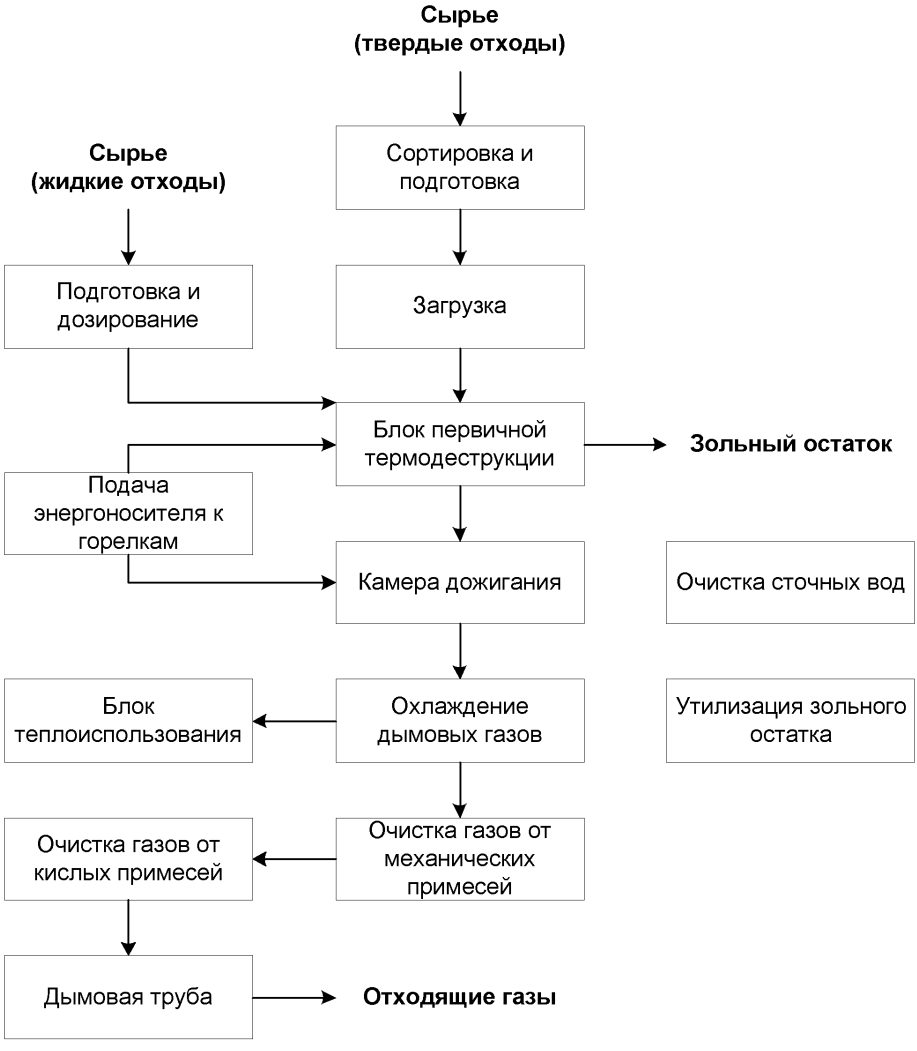


Рисунок 5.1 — Общая схема сжигания отходов

Метод сжигания применяется на современных предприятиях и считается наиболее универсальным, надежным и эффективным по сравнению с другими термическими методами обезвреживания отходов.

Блок-схема пиролиза приводится на рисунке 5.2.



Рисунок 5.2 — Общая схема пиролиза отходов

Пиролиз отходов имеет две разновидности:

а) окислительный пиролиз является одной из стадий газификации, представляет собой процесс термического разложения отходов при их частичном сжигании или непосредственном контакте с продуктами сгорания топлива;

б) сухой пиролиз (сухая перегонка) — метод термического обезвреживания отходов, обеспечивающий их высокоэффективное обезвреживние и использование в качестве топлива и (или) химического сырья. В зависимости от температуры различают три вида сухого пиролиза:

1) низкотемпературный пиролиз или полукоксование при температуре 450 °С — 500 °С;

2) среднетемпературный пиролиз или среднетемпературное полукоксование при температуре до 800 °С;

3) высокотемпературный пиролиз или коксование (900 °С — 1050 °С).

Газификация отходов, используемая для переработки твердых и жидких отходов с получением горючего газа, смолы и шлака, представлена на рисунке 5.3.

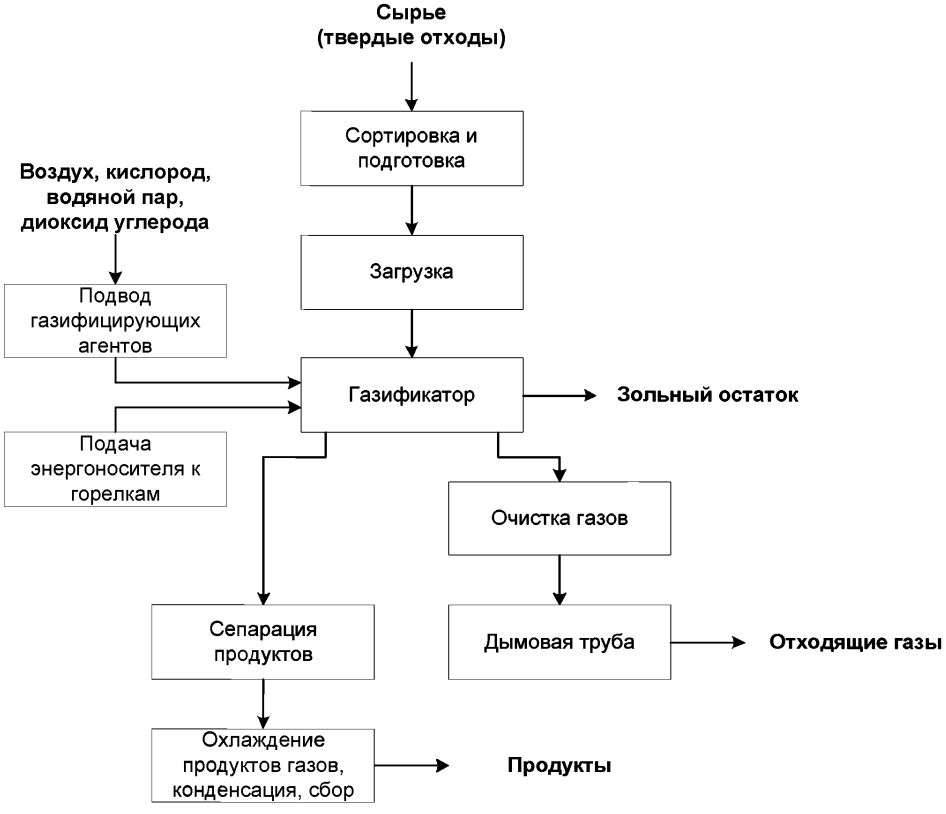


Рисунок 5.3 — Общая схема газификации отходов

Комбинированные методы. Применяемые технологии редко могут быть сведены к одному виду физико-химических превращений. Как правило, имеют место комбинированные процессы, являющиеся сочетанием двух и более типов превращений, один из которых может быть преобладающим.

Как правило, используются комбинированные термические методы обезвреживания отходов, включающие процессы «пиролиз — сжигание» и «пиролиз — газификация» (см. рисунок 5.4).

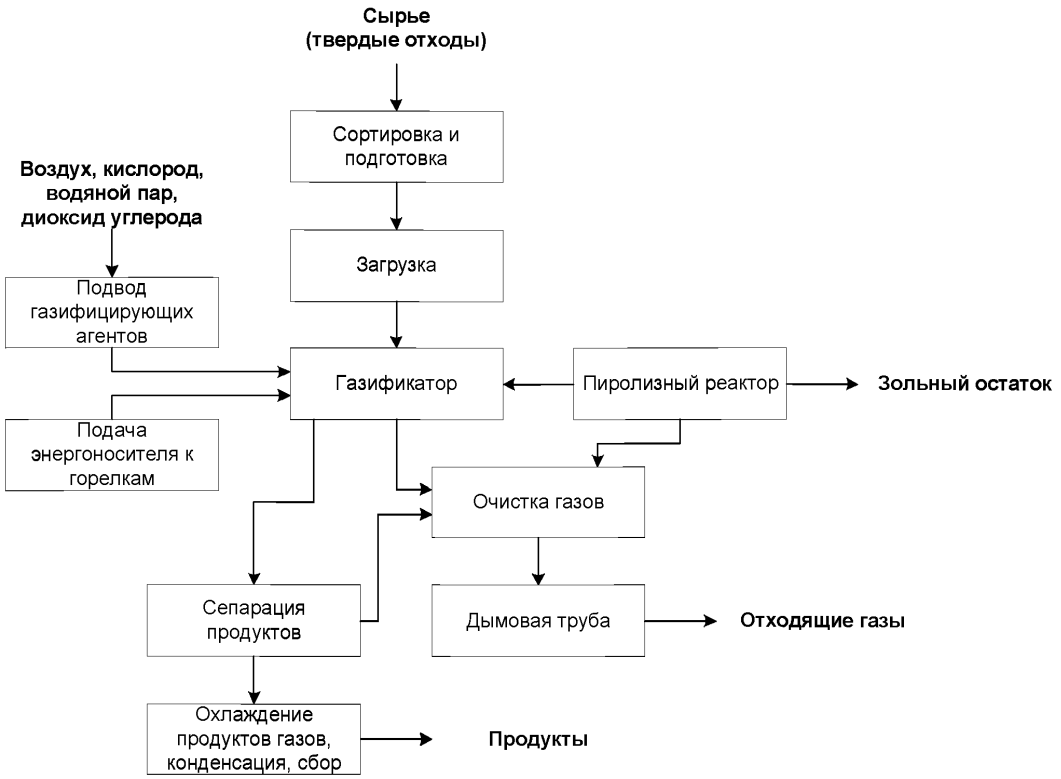


Рисунок 5.4 — Пример реализации комбинированной технологии

Внедрение технологических схем и направлений их интеграции предусматривает использование общих узлов (система очистки отходящих газов, снабжение энергоресурсами и т. д.).

При обосновании системы аналитического контроля по основным стадиям технологических процессов использованы результаты оценки уровней воздействия и потребления в сфере обезвреживания отходов термическим способом (подраздел 3.1).

5.2 Перечень наилучших доступных технологий

5.2.1 Описание основного технологического оборудования, отнесенного к НДТ

При описаний технологий рассматриваются следующие этапы:

- прием поступающих на обезвреживание отходов;
- хранение (накопление) обезвреживаемых отходов;
- предварительная подготовка отходов (сырья);

- технологии, применяемые на этапе термического обезвреживания;

- энергоэффективность; теплоиспользование;

- технологии очистки газообразных продуктов сгорания (группируются по веществам);

- обезвреживание остатков, образующихся при очистке газообразных продуктов сгорания;

- удаление остатков, образующихся при очистке газообразных продуктов сгорания;

- мониторинг (производственный контроль) и регулирование выбросов;

- контроль и обработка сточных вод;

- обращение со шлаками и зольными остатками, образующимися в результате сжигания.

5.2.2 Прием поступающих отходов

Совокупность оборудования, входящего в состав технологической линии, имеет определенное функциональное назначение. Диапазоны конструкционных и технологических параметров определяют ограничения, предъявляемые к отходам (сырью).

К нежелательным характеристикам отходов (сырья) относятся:

- содержание ртути;

- частое изменение физическо-химических характеристик отходов (теплота сгорания, влагосодержание, плотность, размеры);

- превышение проектных норм по содержанию некоторых компонентов (хлора, брома, йода, серы, цинка).

Для обезвреживаемых отходов, имеющих нежелательные характеристики, основному технологическому процессу должны предшествовать дополнительные подготовительные процедуры (см. таблицу 5.1). Подобные мероприятия могут быть определены оператором установки на базе собственного опыта, в соответствии с техническим оснащением производственной площадки.

Таблица 5.1 — Процедуры проверки и отбора проб, применяемые для различных типов отходов [14]

Тип отходов	Процедуры	Комментарии
Смешанные ТКО	- Визуальная проверка в бункере; - выборочная проверка отдельных отходов; - взвешивание поставляемых отходов; - радиационный контроль	Необходимо уделять особо пристальное внимание в связи с рисками, которые могут возникнуть при обработке смешанных ТКО
Предварительно обработанные ТКО	- Визуальная проверка; - периодический отбор проб и проведение анализа для определения основных свойств/веществ	
Опасные отходы	- Визуальная проверка; - контроль и сравнение данных по списку с поставленными отходами; - отбор проб/анализ всех транспортных средств для перевозки отходов; - выборочная проверка отходов, размещенных в бочки; - распаковка и проверка упакованных отходов; - оценка параметров сжигания; - проверка на смешение жидких отходов перед хранением; - контроль точки воспламенения для отходов в бункере; - проверка поступающих отходов на элементный состав	Для этих отходов особенно важен детальный анализ. Для установок, принимающих отходы одного вида, могут проводиться процедуры по упрощенной схеме
Осадки сточных вод	- Периодический отбор проб и проведение анализа для определения основных свойств и веществ - проверка наличия твердых материалов (например, камней/металлов, пластмасс) перед стадиями перекачки, обезвоживания и сушки - контроль процесса для адаптации к изменениям осадков	Процедуры подбирают в зависимости от вида осадков сточных вод, например: свежего осадка, сброженного осадка, окисленного осадка и т. д.
Медицинские отходы	- Контроль и сравнение данных по списку с поставляемыми отходами - проверка на радиоактивность	Риск инфекционного заражения делает отбор проб нецелесообразным. Требуется контроль отходов на этапе образования

Предварительный входной контроль отходов и их идентификация включают в себя:

- оперативный визуальный контроль с учетом перечня отходов, запрещенных для сжигания в установке;

- радиационный контроль принимаемых отходов;

- лабораторный контроль и определение химического состава отходов.

5.2.3 Хранение (накопление) отходов

Целями хранения отходов являются:

- безопасное хранение отходов перед подачей их на обезвреживание;

- обеспечение накопления технологических партий;

- обеспечение непрерывности процессов подготовки (поэтому на производственных площадках должны быть обустроены места для хранения/накопления отходов перед их подготовкой на специальных установках, работающих в непрерывном режиме);

- облегчение процессов смешивания, составления смесей и переупаковки отходов;

- обеспечение возможности порционного добавления реагентов, необходимых для проведения типовых процессов обработки отходов.

5.2.4 Предварительная подготовка отходов

Большинство операций, связанных с подготовкой отходов, можно разделить на три группы:

- обработка;

- перегруппировка;

- предварительная подготовка.

После подготовки к обезвреживанию отходы должны накапливаться отдельно от неподготовленных отходов.

Вследствие гетерогенной природы отходов смешивание и приготовление смесей требуется в большинстве операций обезвреживания отходов, чтобы гарантировать гомогенное и стабильное исходное сырье из отходов.

Для твердых отходов стадия предварительной подготовки (см. таблицу 5.2) может составлять сортировку, шредирование, фракционирование, дробление, измельчение, грохочение, высокотемпературную сушку, кондиционирование, компаундирование, обезвоживание. Наибольшее распространение получило следующее оборудование, предназначенное для подачи твердых отходов в камеру сжигания: загрузочные устройства, конвейеры, тельферы, кран-балки, погрузчики, грейферы и т. п.

Таблица 5.2 — Общие способы подготовки отходов для обезвреживания

Способ	Цель	Пример
Очистка	Отделение не пригодных к обезвреживанию фракций отходов	Конденсаторы и трансформаторы с ПХ

Способ	Цель	Пример
Переупаковка (например, пакетирование)	Вследствие низкой плотности отходов в некоторых случаях требуется их уплотнение. Для уплотнения используются различные прессы	Размер и форма тюка обычно оптимизируются для транспорти-рования и повторного использования
Усреднение		
Осаждение	Отделяются твердые компоненты в жидких отходах для дальнейшего обезвреживания	Подготовка топлива для горелок из углеводородсодержащих отходов
Грохочение	Используется для отделения крупных частиц. Используются вибрационное сито, статическое сито и барабанное сито	Подготовка топлива для горелок из углеводородсодержащих отходов

Жидкие отходы могут обрабатываться с помощью дробилок, мацераторов, измельчителей или другого оборудования, предназначенного для измельчения крупных механических включений перед подачей на форсунки; нагревательные элементы и т. п. Сюда же может быть включена стадия усреднения (циркуляционные насосы и трубопроводы); оборудование, предназначенное для подачи жидких отходов на форсунки и распыла (компримирующие модули, насосы, компрессоры, вентиляторы).

5.2.5 Технологии, применяемые на этапе термического обезвреживания

В отечественной практике известно использование слоевых топок, барабанных вращающихся, многоподовых, камерных, шахтных печей, топок котельных агрегатов, реакторов с псевдоожиженным слоем, пенно-барботажных, циклонных реакторов и различных интераций вышеперечисленного.

Обоснованно выбранная конструкция печей обеспечивает требуемую производительность, смешиваемость образующихся газов с кислородом, поддержание достаточно высокой температуры, что дает возможность полного завершения процесса термического обезвреживания отходов.

Оптимизация технологического процесса на этапе термического обезвреживания сводится к реализации технических, технологических и организационных решений, основной целью которых является удовлетворение нормам технологического процесса и минимизация воздействия на окружающую среду.

Оптимизация стехиометрии воздуха. В блок собственно термической (высокотемпературной, огневой) обработки отходов должно подводиться достаточное количество кислорода (в виде воздуха) для обеспечения того, чтобы реакции горения проходили до полного завершения.

Требуется обеспечивать расчетное количество воздуха в зависимости от:

- типа и характеристик отходов (теплота сгорания, влажность, гетерогенность);

- типа камеры сгорания (для кипящего слоя требуется большее общее количество воздуха вследствие возрастающего перемешивания отходов, что приводит к росту взаимодействия отходов с воздухом).

Оптимизация и распределение подачи первичного воздуха. Первичный воздух — это тот воздух, который подается в слой отходов или непосредственно над ним для обеспечения потребности в кислороде, необходимом для сжигания. Первичный воздух также помогает сушке, газификации и охлаждению некоторых элементов блоков технологического оборудования.

Во вращающихся печах, со ступенчатым и неподвижным подом, первичный воздух вводится обычно выше слоя обезвреживаемых отходов. В некоторых конструкциях печей со ступенчатым подом первичный воздух может частично вводиться ниже слоя отходов.

В системах с кипящим слоем первичный воздух вводится непосредственно в псевдоожиженный материал и служит также для ожижения самого слоя, для чего продувается через сопла со дна камеры сгорания в слой.

Равновесие между первичным и вторичным воздухом будет зависеть от характеристик отходов и от того, какая используется технология сжигания. Оптимизация этого равновесия является необходимой для протекания технологического процесса и выбросов. В общем, при повышенной теплоте сгорания отходов удается снижать потребляемый расход воздуха.

Инжекция вторичного воздуха, оптимизация и распределение. В процессе просушивания сырья, сжигания, пиролиза и газификации горючие компоненты отходов преобразуются в газообразную форму. Эти газы являются смесью многих летучих компонентов, которые должны дополнительно окисляться, для чего и используется дополнительный воздух (вторичный).

Энергоэффективность технологии сжигания можно повысить с помощью подогрева воздуха. В некоторых случаях вторичный воздух может обеспечить также и охлаждение дымовых газов.

Места отверстий для инжектирования, направления и количества можно исследовать и оптимизировать для различных геометрий печей, используя, например, моделирование потока.

Разброс температур на выходе из горелочных устройств может внести значительный вклад в образование NO_x. Типичные температуры находятся в диапазоне от 1300 °С до 1400 °С. Использование сопел специальной конструкции и рециркуляции

дымовых газов может снизить температуру сопел в зоне горения, что приведет к снижению образования NO_x.

Достигаемый экологический эффект заключается в следующем:

- низкие и устойчивые выбросы веществ, связанных со сжиганием;

- улучшение окисления продуктов сжигания, образовавшихся в течение ранних стадий сжигания;

- снижение уноса продуктов неполного сжигания и летучей золы в стадиях очистки дымовых газов.

Рециркуляция дымовых газов. Превышение инжекции вторичного воздуха ведет к снижению энергоэффективности установки в целом, так как количество дымовых газов увеличивается. Это ведет к дополнительным затратам, связанным с монтажом и эксплуатацией газоочистного оборудования.

За счет замены части вторичного воздуха дымовыми газами (после газоочистки), также можно сократить выбросы NO_x, так как количество азота в воздухе в зоне горения будет относительно меньшим и уменьшит коррозию оборудования.

Обогащение воздуха кислородом применяется для дожигания отходящих дымовых газов и т. д.

В зависимости от уровня подачи кислорода и качества газа, температура в камере сгорания обычно находится в диапазоне от 850 °С до 1500 °С, хотя в отдельных случаях температура доходит до 2000 °С или выше. При температурах выше 1250 °С плавится захваченная дымовыми газами летучая зола.

Быстрое и эффективное сжигание может привести к очень низким и контролируемым выбросам CO и других загрязняющих веществ.

Охлаждаемые вращающиеся печи. Данный тип конструкции имеет ряд преимуществ в области обращения с отходами, так как требования к составу и свойствам сырья менее жесткие. Однако к существенным недостаткам относится быстрая порча огнеупорной футеровки, так как в классической конструкции она находится в постоянном движении, сопровождающемся частыми сменами температур.

Выравнивание температурных нагрузок обеспечивается использованием жидкостного охлаждения. В некоторых случаях это позволяет использовать оборудование при более высоких температурах.

Система охлаждения вращающейся печи состоит из двух контуров охлаждения. Первичный контур жидкостного охлаждения поставляет первичную охлаждающую воду в верхнюю часть вращающейся печи и равномерно распределяет ее для обеспечения эффекта равномерного охлаждения всего корпуса печи. Затем холодный теплоноси-

тель собирается в четырех водосборных бассейнах (калориферах). Жидкость циркулирует через фильтр и теплообменник с помощью циркуляционного насоса. Испарение компенсируется с помощью подпиточной жидкости, в которую может вводиться буферный раствор с NaOH для предотвращения коррозии.

Вторичный контур снимает тепло из первичного контура с помощью теплообменников (калориферов) и передает воду для использования. Если нет необходимости в утилизации энергии, можно использовать многосекционную воздухоохлаждающую систему для снятия тепла из системы. Для того чтобы исключить замерзание, смесь воды с гликолем циркулирует через теплообменники «жидкость — воздух».

Благоприятно сказывается выравнивание температуры на стенках печи, осуществляемое подводом дымовых газов к трубному межконторному пространству.

Увеличение времени выдержки отходов в камере сжигания. Степень полноты сгорания органической части отходов можно повысить с помощью: печей, в которых отходы эффективно переворачиваются и перемешиваются; предварительной подготовки отходов и использования затем кипящего слоя (при отсутствии особых требований и ограничений); более длительного времени пребывания в зонах полного сгорания печи; конструкции печи для отражения теплоты лучеиспускания и повышения полноты сгорания; оптимизации распределения и подачи первичного воздуха; добавки других отходов/топлив для содействия эффективному сжиганию и, как следствие, снижению содержания уровней органического углерода в золошлаке; измельчения; повторного термического обезвреживания.

К основным преимуществам внедрения перечисленных решений относятся: увеличение термической деструкции отходов; улучшение возможностей для использования остатков; утилизация полной энергетической ценности отходов.

Повышение турбулентности в камере дожига. Примеры конструкций камер дожига с повышенной турбулентностью включают: циклонные камеры, циклонно-вихревые топки, использование перегородок или входов для усложнения траектории движения газов, тангенциальное расположение горелок, установку и размещение систем инжекции вторичного воздуха.

Турбулентный режим позволяет снизить потребление вторичного воздуха и, следовательно, снизить объемы дымовых газов и образование NO_x, увеличить дожигание дымовых газов с одновременным снижением уровней летучих органических соединений и CO.

Оптимизация времени, температуры, турбулентности газов в зоне сжигания и концентрации кислорода. Для достижения эффективного дожигания отходящих дымо-

вых газов, образующихся в течение процесса сжигания, необходимо стремиться к оптимизации соответствующих критериев (см. таблицу 5.3).

Таблица 5.3 — Некоторые технические требования, предъявляемые к сжиганию отходов [14]

Параметр	Технические требования	Цель
Минимальная температура сжигания в течение времени пребывания газа	По крайней мере 850 °С или по крайней мере 1100 °С для опасных отходов с более чем 1 % галогенированных органических веществ (как Cl)	Достаточные температуры для возможности окисления
Минимальное время пребывания газа	2 с после последнего инжектирования воздуха для сжигания	Достаточное время пребывания при достаточно высокой температуре при наличии достаточного количества кислорода для реагирования и окисления
Турбулентность	Достаточная для обеспечения эффективного смешения газа и реакции горения	Смешение газа для возможности реакций, проходящих по всему потоку газа
Концентрация кислорода (избыток)	Больше чем 6 %	Должно быть поставлено достаточное количество кислорода для возможности окисления

Для достижения эффективного дожигания газов, образующихся во время процесса горения отходов, газы должны быть перемешаны с требуемым количеством кислорода, при достаточно высокой температуре и в течение длительного времени, достаточного для полного их сгорания.

Целью установления этих критериев является обеспечение проектирования и эксплуатации установок по обезвреживанию отходов, таким образом, чтобы гарантировалось окисление газов и полное разрушение органических веществ, чтобы снизить выбросы загрязняющих веществ в атмосферу.

Использование автоматически работающих вспомогательных горелок. Обеспечение достаточной температуры на всех этапах эксплуатации установки следует обеспечивать с помощью вспомогательных горелочных устройств. Они используются, когда температура падает ниже рассчитываемых значений минимальной температуры.

Пуск без вспомогательных горелок возможен, однако более спокойный пуск со сниженным образованием сажи и лучшим контролем температуры достигается при их использовании. Пуск без вспомогательных горелок может привести к повышенному риску коррозии технологических блоков вследствие наличия хлора в отходах.

5.2.6 Энергоэффективность. Теплоиспользование

Увеличения энергоэффективности термического обезвреживания отходов можно достичь путем использования тепла: для внешнего потребления — с получением горячей воды, отопления производственных помещений, выработкой электроэнергии, а также путем использования на собственные технологические нужды — для получения пара, горячего воздуха, обогрева и сушки отходов.

Ресурсосбережение также является основой снижения материало- и энергоемкости проектируемых установок без ущерба для ее качественных параметров и увеличения абсолютных значений производительности.

Использование энергии от установки для сжигания отходов главным образом связано с теплотой сгорания отходов. Однако подвод дополнительных энергоносителей необходим для поддержания устойчивого технологического процесса. При этом, относительно небольшое повышение энергоэффективности может обеспечить значительную экономию топлива.

Переход с жидкого топлива (дизельное топливо, мазут) на природный газ, применение многотопливных и многосопельных горелочных устройств, установка паровых форсунок или более современной конструкции может также обеспечивать повышение энергоэффективности.

Оптимизация КПД установок состоит в том, чтобы оптимизировать весь процесс термического обезвреживания. Это включает в себя уменьшение потерь и ограничение процесса потребления.

При определении оптимальной энергетической эффективности следует учитывать следующие факторы:

- местоположение и климат;
- спрос для рекуперации энергии;
- сезонную изменчивость спроса на пар/электроэнергию;
- надежность в поступлении топлива/электроснабжения;
- региональную рыночную стоимость тепла и электроэнергии;
- состав, физико-химические характеристики и их колебания при поступлении отходов.

Установки следует оснащать измерительными приборами/анализаторами для выполнения задач технического обслуживания и технической поддержки.

Основными источниками значительного потребления энергии в процессе термического обезвреживания отходов являются вентиляторы; оборудование для транспор-

тирования, загрузки отходов (например, насосы, краны, грейферы, шнековые питатели); воздухоохлаждаемые конденсаторы и т. п.

С целью обеспечения существенного энергосбережения, связанного с оптимизированным управлением технологическим процессом, уменьшением износа механического основного и вспомогательного оборудования и снижением уровня шумового воздействия при колебаниях нагрузки могут быть использованы частотно-регулируемые приводы.

Во многих случаях, когда требуются изменения в технологии очистки дымовых газов, чем ниже предельные значения выбросов, тем больше энергии потребляет система газоочистки. Поэтому важно, чтобы воздействие на окружающую среду от увеличения потребления энергии соотносилось с выгодами от снижения воздействия эмиссий.

Для охлаждения используются три основных системы:

а) водяное охлаждение с помощью конвекции (градирни). В этой системе используется поверхностная вода, которая снова сбрасывается в водоем, после того как она нагрелась на несколько градусов. Для этой системы охлаждения требуется много воды, и это приводит к большой тепловой нагрузке для местной экосистемы. Такой способ используется, если имеются полноводные реки или на побережье;

б) испарительное водяное охлаждение. Вода используется для охлаждения конденсатора. Она не сбрасывается, но подвергается рециклингу после прохода испарительной охлаждающей башни, где она охлаждается за счет испарения небольшой части воды. Небольшой поток воды должен сбрасываться для поддержания качества воды в системе. Имеется три основные технические варианта испарительного охлаждения:

1) охлаждающие башни с воздушным дутьем, когда воздух, требующийся для испарения воды, подается с помощью вентилятора, с соответствующим потреблением электроэнергии;

2) охлаждающие башни с естественной конвекцией, когда принудительный воздушный поток вызывается (небольшим) ростом температуры воздуха (крупные бетонные охлаждающие башни высотой 100 м);

3) гибридные охлаждающие башни с возможностью снижения величины шлейфа выбросов водяного пара.

Уровень шума систем с принудительным дутьем высокий, а уровень шума в конвекционной системе средний;

в) воздушное охлаждение. Здесь пар конденсируется в теплообменнике типичной конструкции с воздухом. В этих конденсаторах используются большие количества электроэнергии, так как требуется движение воздуха под действием крупных вентиляторов, которые являются источниками шума. Также требуется регулярная зачистка поверхности конденсатора.

КПД теплообменных аппаратов зависит от температуры воды, температуры и влажности воздуха. После конвективного охлаждения водой рационально ставить испарительное охлаждение и воздушное охлаждение.

Одним из самых эффективных способов повышения энергоэффективности установок является регенерация тепла топочных газов и его использование для подогрева воздуха для горения. Эффективный подогрев воздуха также следует применять в сочетании со своевременным техническим обслуживанием основного оборудования, чтобы поддерживать максимальную передачу тепла.

Выбор альтернативных решений подогревателей должен учитывать тип применяемого топлива и вероятные уровни воздействия на окружающую среду.

Оптимизация конструкции котла-утилизатора. Утилизируемое тепло — это энергия, которая передается от дымовых газов пару (или горячей воде). Остающаяся энергия дымовых газов на выходе из котла обычно теряется. Поэтому, для того чтобы максимально утилизировать энергию, необходимо снизить температуру дымовых газов на выходе из котла-утилизатора.

Котел-утилизатор должен иметь достаточную поверхность теплообмена, но также и хорошо сконструированную геометрию. Это можно достигнуть в вертикальном, горизонтальном или комбинированном (вертикально-горизонтальном) исполнениях котла-утилизатора. Ниже приведены примеры конструкции:

- скорость газа должна быть низкой и распределяться равномерно (для предотвращения застоя, который может вызвать обрастание или забивание) по всему котлу-утилизатору;

- для поддержания низких скоростей газа проходы должны быть широкими в поперечном сечении, а их геометрия должна быть «аэродинамической»;

- первый проход котла-утилизатора должен: не содержать теплообменных поверхностей и иметь достаточные размеры (в особенности высоту), для того чтобы появилась возможность снижения температуры дымовых газов ниже 650 °С — 700 °С. Однако не должно быть охлаждения с помощью топочных экранов;

- первые трубные пучки не должны устанавливаться в местах, где может налипать летучая зола, т. е. там, где температура слишком высокая;

- зазоры между трубными пучками должны быть достаточно широкими для предотвращения обрастания межтрубного пространства;

- циркуляция воды и пара в межтрубном пространстве и конвективных элементах должна быть оптимальной, для того чтобы предотвратить неравномерный съем тепла, неэффективное охлаждение дымовых газов и т. д.;

- горизонтальный котел-утилизатор должен конструироваться так, чтобы можно было изменить траекторию движения дымовых газов, приводящую к стратификации температуры и неэффективному теплообмену;

- должны быть предусмотрены специальные устройства для очистки котла-утилизатора от обрастания;

- оптимизация системы конвективного теплообмена (противоток, параллельный поток и т. д.), для того чтобы оптимизировать поверхность теплообмена в соответствии с температурой на трубках и предотвратить коррозию аппарата.

Конструкция со сниженным обрастанием котла-утилизатора уменьшает пребывание пыли в высокотемпературных зонах, которые могут вызвать риск забивания трубных пучков и сбой в работе установки обезвреживания отходов.

Снижение температуры дымовых газов после котла-утилизатора ограничивается точкой росы отходящих газов. Также следует учитывать температурный режим в блоках газоочистки, например:

- в случае процессов с полусухой газоочисткой минимальная температура на входе определяется тем фактом, что инжекция воды снижает температуру газов. Обычно она должна составлять 190 °С — 200 °С;

- процесс с использованием сухой газоочистки может проводиться при температурах 130 °С — 300 °С. Минимальная требуемая температура для процесса сухой сорбции с вводом в поток дымовых газов бикарбоната натрия составляет 170 °С. Это объясняется необходимостью увеличения удельной поверхности бикарбоната натрия и, следовательно, его преобразованием в более эффективный сорбционный реагент. Могут использоваться и другие реагенты, определяющие температуру процесса;

- мокрые системы газоочистки не имеют четкого температурного диапазона. Однако, чем ниже температура газа на входе в скруббер, тем ниже потребление воды скруббером.

Использование скрубберов с конденсацией дымовых газов связано с применением орошаемого скруббера, который конденсирует водяные пары из дымовых газов систем мокрой, полусухой и сухой газоочистки. Обычно этот процесс используется в конце системы газоочистки.

Охлаждение обеспечивается с помощью теплообменных процессов (например, с помощью теплового насоса).

Использование тепловых насосов для повышения утилизации тепла. Тепловые насосы являются средством объединения различных относительно низкотемпературных потоков для нагрева другого потока. Это позволяет, например, эксплуатировать скрубберы с конденсацией дымовых газов и иметь возможность генерации тепловой энергии.

Использование тепловых насосов для повышения утилизации тепла обеспечивает минимизацию общих эксплуатационных затрат на отопление и кондиционирование здания (сооружения).

Внедрение автоматизированных систем, предусматривающее мнофакторные измерения и контроль технологических систем, работающих на топливе и воздухе для горения, являются определяющими для эффективного функционирования установок.

5.2.7 Технологии очистки газообразных продуктов сгорания

Имеется следующий (неисчерпывающий) перечень общих факторов, требующих рассмотрения при выборе систем очистки дымовых газов:

- тип отходов, их состав и однородность состава;
- тип процесса сжигания и производительность установки;
- расход и температура дымовых газов;
- характер неоднородности свойств дымовых газов;
- требуемые предельные значения выбросов загрязняющих веществ;
- температурный диапазон;
- ограничения по предельным значениям загрязненности при сбросе сточных вод;
- климатические условия;
- наличие необходимой площади для размещения газоочистного оборудования;
- анализ затрат, связанных с утилизацией отходов с систем газоочистки;
- совместимость между существующими элементами технологического процесса термического обезвреживания;
- возможность использования воды и химических реагентов;
- необходимость энергии (например, поставка тепловой энергии от скрубберов с конденсацией дымовых газов);
- оценка условий для подключения к существующим системам энергообеспечения;

- уровень шумового загрязнения.

5.2.7.1 Снижение выбросов пыли.

Предварительное обеспыливание снижает нагрузку по взвешенным веществам и механическим примесям на последующих стадиях системы газоочистки.

На установках для обезвреживания отходов могут использоваться следующие системы обеспыливания:

- циклоны и мультициклоны;

- электрофильтры;

- рукавные фильтры.

Электрофильтры и циклоны эффективны для предварительного обеспыливания и обеспечивают достижения самых низких уровней выбросов в сочетании с другими технологиями.

Мокрый электрофильтр — это отдельный тип электрофильтров. Он обычно не применяется на стадии предварительного обеспыливания из-за температурных требований. Однако его использование рационально связывать с доочисткой после системы газоочистки.

Рукавные фильтры являются эффективным средством для удаления пыли. Кроме этого, также могут инжектироваться специальные реагенты для создания реагентного слоя на поверхности тканого материала для увеличения эффективности улавливания тяжелых металлов, ПХДД/ПХДФ; защиты от коррозии.

Обычно используемыми реагентами являются известь и активированный уголь. Наличие активированного угля снижает нагрузку по ПХДД/ПХДФ на последующих стадиях очистки дымовых газов. В случае мокрых систем это помогает в удалении ртути и оседании диоксинов на материалах корпуса и основных элементов скруббера.

Для этой технологии самыми значительными воздействиями между средами являются:

- потребление энергии рукавными фильтрами выше, чем другими системами вследствие больших потерь давления;

- образование летучей золы при очистке газов;

- концентрации ПХДД/ПХДФ в дымовых газах могут возрасти в течение пребывания в электрофильтре, особенно при работе в температурном диапазоне от 200 °С до 450 °С.

Применение систем доочистки дымовых газов используется для заключительного снижения выбросов пыли после применения других элементов газоочистки и перед

выбросом газов из дымовой трубы в атмосферу. Основными применяемыми системами являются:

- рукавные фильтры;
- мокрый электрофильтр;
- электродинамические скрубберы Вентури;
- фильтрующие модули с накоплением пыли;
- мокрые скрубберы с ионизацией газовой среды.

Использование системы мокрой очистки дымовых газов также является доочисткой после других систем, предназначенных для очистки от кислых газов и т. д.

Кроме снижения выбросов пыли, возможно добиться эффекта снижения выбросов следующих веществ:

- тяжелых металлов, так как их концентрации в выбросах обычно связаны с эффективностью удаления пыли;
- ртути и ПХДД/ПХДФ, когда сорбенты добавляются в рукавные фильтры;
- кислых газов, когда добавляются щелочные реагенты для защиты рукавных фильтров.

Способ двойного фильтрования связан с использованием двух рукавных фильтров, включенных последовательно в систему очистки дымовых газов.

Рукавные фильтры часто подразделяются на отделения, которые изолируются друг от друга для облегчения технического обслуживания. Для оптимальной работы важно иметь равномерное распределение дымовых газов. Выбор материалов для рукавных фильтров должен основываться на характеристиках ткани для фильтрации газа и включать в себя учет максимальной рабочей температуры и устойчивость к кислотам, щелочам и изгибу (при очистке фильтров).

5.2.7.2 Снижение выбросов кислых газов

Мокрые скрубберы обычно отличаются по крайней мере двумя эффективными стадиями, во-первых, при низких значениях pH удаляются главным образом HCl и HF; на второй стадии происходит дозировка извести или гидроксида натрия и работа происходит при pH от 6 до 8 главным образом для удаления SO_2. Скруббер иногда можно описывать как устройство, работающее в режиме трех или более стадий — дополнительные стадии обычно подразделяются по первой стадии с низкими значениями pH для специальных целей.

Мокрые системы пылегазоочистки обеспечивают дополнительное снижение выбросов следующих веществ:

- пыли;

- ПХДД/ПХДФ (если используется пропитанный углеродом сорбирующий материал, то возможно снижение на 70 % по всему скрубберу, в противном случае степень удаления будет пренебрежимо малой; активированный уголь или активированный кокс могут быть добавлены в скруббер для более высокой эффективности их удаления);

- Hg^{2+} (если используется первая стадия с низким значением pH (порядка 1) и в отходах имеются концентрации HCl, предусмотренные для подкисления этой стадии, тогда может иметь место удаление $HgCl_2$, но на металлическую ртуть воздействие обычно не оказывается).

Определенные перспективы следует ожидать от использования системы полусухой очистки.

Полусухие системы газоочистки обеспечивают высокую эффективность удаления нерастворимых кислых газов. Низкие предельные значения выбросов могут быть обеспечены с помощью регулирования дозы вводимого реагента и выбранного места в системе, при этом чаще за счет возрастающего потребления реагентов и уровней образования остатков.

Полусухие системы используются с рукавными фильтрами для удаления загрязняющих веществ и продуктов их реакции. Для улавливания из дымовых газов ртути и ПХДД/ПХДФ, кроме щелочных, также могут быть добавлены другие реагенты. Чаще всего эта система используется как одностадийный реактор/фильтр для совместного снижения выбросов:

- пыли — фильтруется с помощью рукавного фильтра;

- ПХДД/ПХДФ — улавливаются, если инжектируется активированный уголь, а также щелочной реагент;

- ртути — улавливается, если инжектируется активированный уголь, а также щелочной реагент.

К недостаткам настоящего метода относится увеличение уровней образования остатков, которые требуют дополнительного обезвреживания.

Системы полусухой очистки конструктивно исполнены в виде оросительной колонны и рукавного фильтра.

Рециркуляция реагентов имеет следующие преимущества по сравнению с другими системами газоочистки:

- пониженное потребление реагентов (по сравнению с сухой и полусухой системами);

- пониженное образование твердых остатков (содержат меньше непрореагировавшего реагента);

- пониженное потребление воды и отсутствие образования стока (по сравнению с мокрыми системами).

Впрыск реагента и скорость захвата молекул загрязняющих веществ требуют оптимизации для предотвращения нагрузки по сорбенту и возможного проскока вещества (например, ртути и ПХДД/ПХДФ, абсорбируемых на угле).

Требуется проведение мониторинга и регулирование уровня влажности для поддержания эффективности абсорбции кислых газов.

Системы сухой очистки дымовых газов. Известь (например, гашеная известь, известь с высокой удельной поверхностью) и бикарбонат натрия обычно используются в качестве щелочных реагентов. Добавка активированного угля предусматривается для улавливания с помощью абсорбции ртути и ПХДД/ПХДФ.

При впрыскивании мелко измельченного бикарбоната натрия в горячие газы (выше 140 °С) он превращается в карбонат натрия с высокой удельной поверхностью и становится эффективным реагентом для абсорбции кислых газов.

Подбор щелочного реагента. В системах газоочистки используются различные щелочные реагенты (и их сочетания). Каждый вариант обладает преимуществами и недостатками. Подбор реагентов является комплексной технологической задачей.

Во всех типах систем очистки дымовых газов используется известь, однако чаще всего — в системах мокрой и полусухой очистки. Это как гашеная известь в сухих системах, так и гидратированная известь в полусухих системах, а также известь с высокой удельной поверхностью. Бикарбонат натрия применяется для некоторых, главным образом сухих, систем. Гидроксид натрия и известняк применяются только для влажных систем газоочистки.

В некоторых случаях реализуются смешанные системы очистки дымовых газов.

Прямая добавка щелочных реагентов к отходам используется для снижения нагрузки на элементы установки термического обезвреживания отходов благодаря тому, что щелочные реагенты взаимодействуют с кислыми газами по мере их образования в печи. Адсорбция в печи при высоких температурах намного более эффективна для SO_2, чем для HCl.

Использование щелочных реагентов будет изменять состав шлака, а также состав и электрическое сопротивление летучей золы.

5.2.7.3 Снижение выбросов оксидов азота

Селективное каталитическое восстановление (СКВ). При сжигании отходов СКВ применяется после обеспыливания и очистки от кислых газов. При использовании данного способа обычно требуется подогрев дымовых газов после предыдущих стадий газоочистки (температура на выходе из газоочистки составляет 70 °С для мокрых систем и 120 °С —180 °С для большинства рукавных фильтров). Для достижения рабочих температур для системы СКВ необходима температура 230 °С — 320 °С.

Катализируемые реакции СКВ представлены ниже:

$4NO + 4NH_3 + O_2 \rightarrow 4N_2 + 6H_2O$

$NO + NO_2 + 2NH_3 \rightarrow 2N_2 + 3H_2O$

$2NO_2 + 4NH_3 + O_2 \rightarrow 3N_2 + 6H_2O$

$6NO_2 + 8NH_3 \rightarrow 7N_2 + 12H_2O$

СКВ может также каталитически разрушать ПХДД/ПХДФ (эффективность деструкции составляет 98 % — 99,9 %).

Рабочая температура катализатора — 100 °С — 220 °С.

Пониженные температуры систем СКВ менее эффективны для деструкции ПХДД/ПХДФ, что может потребовать дополнительных расходов катализатора.

Селективное некаталитическое восстановление (СНКВ). В процессе СНКВ аммиак (NH_3) или мочевина ($CO(NH_2)_2$) впрыскиваются в печь для снижения выбросов NO_x.

$4NO + 4NH_3 + O_2 \rightarrow 4N_2 + 6H_2O$

NH_3 наиболее эффективно реагирует с NO_x в диапазоне температур от 850 °С до 950 °С. При использовании мочевины эффективными являются температуры до 1050 °С. Если температура выше указанной, в результате конкурирующей окислительной реакции образуются нежелательные NO_x. Если температура ниже необходимых диапазонов или время пребывания для реакции между NH_3 и NO_x недостаточное, эффективность восстановления NO_x снижается и могут возрасти выбросы избыточного аммиака (проскок аммиака).

Основными факторами, влияющими на функционирование систем очистки от NO_x, являются:

- смешение реагентов с отходящими газами;
- температура;
- время пребывания в температурном окне.

Этот способ применяется тогда, когда:

- разрешенное среднесуточное установленное значение выбросов находится в диапазоне от 100 до 200 мг/нм^3;

- нет возможностей для установки СКВ;

- имеются подходящие места для впрыска реагента (включая соблюдение требований к температуре).

При выборе реагента необходимо учитывать различные факторы, связанные с эксплуатационными показателями процесса и затратами на него, для обеспечения оптимального выбора для соответствующей установки (см. таблицу 5.4).

Результатом применения обоих реагентов является снижение выбросов NO_x. Выбор реагента, который лучше всего подходит для использования на установках термического обезвреживания отходов в печи, должен обеспечивать снижение выбросов NO_x с минимальным проскоком аммиака и образованием N_2O.

Таблица 5.4 — Преимущества и недостатки использования мочевины и аммиака для СНКВ

Реагент	Преимущества	Недостатки
Аммиак	- Возможность подавления высоких пиковых значений NO_x (при хорошей оптимизации); - более низкие выбросы N_2O (10–15 мг/нм^3)	- Узкий температурный диапазон (850 °С — 950 °С), поэтому требуется тщательный контроль; - обращение и хранение опасного вещества; - повышенные затраты на тонну отходов; - проскок аммиака примерно 10 мг/нм^3; - запах аммиака при контакте потоков с влажной средой
Мочевина	- Шире диапазон эффективных температур (540 °С — 1000 °С), поэтому температурный контроль менее критичен; - меньше опасность при хранении и обращении; - ниже затраты на тонну отходов	- меньший потенциал подавления пиковых значений NO_x (по сравнению с аммиаком при оптимизации); - выше выбросы N_2O (25–35 мг/нм^3); - проскок аммиака порядка 1 мг/нм^3
Примечание — Пониженные затраты на мочевину наиболее значимы для относительно небольших установок. Для более крупных установок повышенные затраты на хранение аммиака могут быть полностью скомпенсированы.		

5.2.7.4 Снижение выбросов ПХДД/ПХДФ

Для большинства отходов невозможно достижение требуемых норм по выбросам ПХДД/ПХДФ только за счет оптимизации процесса сжигания.

Предотвращение вторичного образования ПХДД/ПХДФ в системе газоочистки. Снижение времени пребывания запыленного газа в температурной зоне от 450 °С до 200 °С снижает риски образования ПХДД/ПХДФ и подобных соединений.

Если стадии удаления пыли используются в этой температурной зоне, время пребывания летучей золы в этом диапазоне удлиняется, следовательно, формируется рисковая зона образования ПХДД/ПХДФ. Температура на входе в стадию обеспыливания поэтому должна быть ниже 200 °С. Этого можно достичь с помощью:

- дополнительного охлаждения в котле-утилизаторе (конструктивно котел-утилизатор в диапазоне температур 450 °С — 200 °С должен быть выполнен так, чтобы ограничить пребывание пыли в нисходящем потоке);

- использованием оросительной колонны для снижения температуры на выходе котла-утилизатора до температуры ниже 200 °С для последующих стадий очистки газа;

- полного охлаждения от температур сжигания до 70 °С (на установках обезвреживания отходов с высоким содержанием ПХБ);

- теплообмена газ/газ (газ с входа на скруббер/газ с выхода скруббера).

Существует подход, в соответствии с которым стадия обеспыливания должна проводиться на высокотемпературных установках удаления пыли. После чего выполняют ударное охлаждение с использованием или преобразованием тепловой энергии.

Деструкция ПХДД/ПХДФ с использованием селективного каталитического восстановления (СКВ).

Важно отметить, что при сжигании отходов большая часть содержащихся в воздухе ПХДД/ПХДФ соединяется с пылью, с достижением равновесия ПХДД/ПХДФ в газовой фазе. Способы, которые используются для удаления пыли, должны поэтому удалять переносимые с пылью ПХДД/ПХДФ, в то время как СКВ (и другие каталитические методы) только разрушают небольшую их часть в газовой фазе. Сочетание удаления пыли и деструкция обычно приводят к минимальным общим выбросам ПХДД/ПХДФ в воздух.

Эффективность деструкции для газовой фазы ПХДД/ПХДФ составляет от 98 % до 99,9 %. СКВ применяется после начального обеспыливания.

Снижение концентрации ПХДД/ПХДФ с помощью блока СКВ будет зависеть от количества слоев катализатора.

Деструкция ПХДД/ПХДФ с использованием каталитических рукавных фильтров.

Эффективность деструкции ПХДД/ПХДФ, поступающих в каталитические рукавные фильтры, достигает более 99 %. Фильтры также обеспечивают удаление пыли.

Общие выбросы диоксинов снижаются за счет деструкции и в меньшей степени за счет адсорбции (активированным углем).

Температурный диапазон для протекания каталитической реакции составляет от 180 °С до 260 °С.

Этот способ реализуется там, где:

- не имеется места для СКВ, а альтернативные средства для снижения выбросов NO_x уже установлены;

- альтернативные средства для снижения выбросов ртути уже установлены (каталитические фильтры не улавливают соединения ртути).

Деструкция ПХДД/ПХДФ с помощью повторного обжига абсорбентов. Основной принцип состоит в том, что остатки ПХДД/ПХДФ, собранные в системе газоочистки, могут быть подвергнуты деструкции с помощью сжигания их в установке для обезвреживания отходов, тем самым снижая общий выход с установки ПХДД/ПХДФ.

ПХДД/ПХДФ подвергаются деструкции в процессе обезвреживания. Однако имеется риск того, что произойдет рециркуляция металлической ртути (и, следовательно, выбросов), если на этапе очистки дымовых газов не предусмотрено специальных способов для ее удаления.

Адсорбция ПХДД/ПХДФ с помощью инжекции активированного угля или других реагентов. Активированный уголь впрыскивается однокомпонентно или в сочетании с известью или бикарбонатом натрия (щелочным реагентом). Впрыскиваемый щелочной реагент, продукты реакции и угольный адсорбент затем собираются в пылеосадителе. Адсорбция ПХДД/ПХДФ происходит в газовом потоке на слое реагента.

Адсорбированные ПХДД/ПХДФ сбрасываются с другими твердыми отходами из рукавного фильтра, электрофильтра или других устройств для сбора пыли в нисходящем потоке.

Минеральные адсорбенты (например, цеолит, смеси глинистых минералов, филлосиликат (слоистый кремниевый минерал) и доломит) также могут использоваться для адсорбции ПХДД/ПХДФ при температурах до 260 °С без риска возгорания в рукавном фильтре.

На поверхности активированного кокса в некоторой степени происходит каталитическая деструкция ПХДД/ПХДФ.

Адсорбция ПХДД/ПХДФ в неподвижном слое. Используются мокрый и сухой неподвижный коксовый/угольный слой. Мокрая система имеет противоток.

Использование материалов, пропитанных углеродом, для адсорбции ПХДД/ПХДФ в мокрой газоочистке. ПХДД/ПХДФ активно адсорбируются на частицах углерода в материале. Поэтому выбросы снижаются и предотвращается эффект памяти выделения ПХДД/ПХДФ. Можно снизить выбросы при пуске.

Отработанный пропитанный материал может размещаться на полигонах или дополнительно обезвреживаться. В некоторых случаях он подвергается сжиганию в установках для обезвреживания отходов.

Способ применим к процессам, для которых уже используются системы с мокрыми скрубберами. Однако имеются данные о накоплении ПХДД/ПХДФ.

Использование угольной суспензии в мокрой газоочистке. Использование суспензии из активированного угля в мокром скруббере может способствовать снижению уровня выбросов диоксинов в потоке дымовых газов и предотвращению накапливания диоксинов в материале скруббера.

При околонейтральном диапазоне pH активированный уголь добавляется в систему с концентрацией до 50 г/л. После системы мокрой очистки должен быть предусмотрен фильтр-отстойник, в котором осаждается отработанный уголь, а вода рециркулируется.

ПХДД/ПХДФ переходят в жидкость, которой орошается дымовой газ в скруббере и осаждаются на активных центрах активированного угля в результате каталитической реакции. Активированный уголь обладает также адсорбционной способностью к ртути.

5.2.7.5 Снижение выбросов ртути

Мокрая газоочистка с низким pH и добавка аддитивов. Использование мокрых скрубберов для удаления кислых газов приводит к снижению pH в скруббере. Большая часть мокрых скрубберов выполняет очистку в две стадии. Первая используется главным образом для HCl, HF и некоторой части SO_2. На второй стадии pH поддерживается на уровне 6–8. Здесь происходит удаление SO_2.

Регулирование значения pH ниже 1 позволяет увеличить эффективность удаления ионной ртути в виде $HgCl_2$ до 95 %. $HgCl_2$ является основным соединением ртути после сжигания отходов. Однако степень удаления металлической ртути составляет менее 10 %.

Адсорбция металлической ртути может быть повышена максимум до 20% — 30 %:

- с помощью добавки соединений серы к раствору в скруббере;

- с помощью добавки активированного угля к раствору в скруббере;

- с помощью добавки окислителей, например перекиси водорода, к раствору в скруббере. С помощью этого способа металлическая ртуть превращается в ионную форму в виде $HgCl_2$, что облегчает ее осаждение.

Общая эффективность удаления ртути (как металлической, так и ионной) составляет около 85 %.

Достигаемые уровни выбросов после системы мокрой газоочистки составляют приблизительно 36 мкг/нм^3, с мокрым скруббером и фильтром из активированного угля — < 2 мкг/нм^3 и при сочетании процесса впрыска и мокрого скруббера — 4 мкг/нм^3.

Впрыск активированного угля для адсорбции ртути. Адсорбция в потоке и использование фильтров (рукавный фильтр и фильтры с иммобилизованными реагентами).

Металлическая ртуть адсорбируется (обычно эффективность удаления около 95 %), и выбросы в воздух оказываются ниже 30 мкг/нм^3. Ионная ртуть также удаляется с помощью хемосорбции, возникающей при содержании серы в дымовых газах, или при наличии некоторых типов активированного угля, пропитанного серой.

В случаях, когда твердый реагент подвергается повторному обжигу (для деструкции ПХДД/ПХДФ) в установке для сжигания, важно, чтобы:

- установка имела выход для ртути, который предотвращает появление внутреннего загрязняющего вещества (и случайный проскок с выбросом);

- альтернативный выход с достаточной степенью удаления загрязняющего вещества;

- при использовании мокрых скрубберов ртуть могла попадать в поток стока (затем она может осаждаться в твердых остатках при использовании очистки).

Различные типы активированного угля обладают различной адсорбционной способностью. Еще одной возможностью повышения удаления ртути является пропитка адсорбента серой.

Отделение ртути с использованием смоляного фильтра. После отделения пыли и первой мокрой кислотной промывки кислоты с тяжелыми металлами с ионной связью уносятся через ионообменный фильтр с ртутью. Ртуть отделяется в смоляном фильтре. Затем происходит нейтрализация кислоты с использованием известкового молока.

Инжекция хлорита для контроля элементарной ртути. Из-за того, что элементарная ртуть не растворяется в мокром кислотном скруббере, в ряде случаев трудно достичь значительного ее подавления.

Впрыск агента с сильной окислительной способностью должен превратить элементарную ртуть в окисленную ртуть и сделает возможной очистку в мокром скруббере. Чтобы не применять мокрый скруббер, агент с сильной окислительной способностью используется в режиме реакции с другими соединениями (например, с диоксидом

серы), и он вводится непосредственно перед распылительными насадками первого кислотного скруббера. В этом скруббере pH поддерживается в диапазоне от 0,5 до 2.

Когда жидкость после распылительного сопла вступает в контакт с парами кислоты, содержащими хлористый водород, хлор трансформируется в диоксид хлора, который является активным соединением. Следует отметить, что в отличие от других окислителей, таких как гипохлорит (отбеливатель), хлорит или диоксид хлора не обладает способностью вводить атом хлора в ароматическое кольцо и поэтому не может изменять диоксиновый баланс.

Добавка перекиси водорода для мокрой газоочистки. Цель системы состоит в отделении Hg, HCl и SO_2 из дымовых газов. В процессе вся элементарная ртуть окисляется до водорастворимой ртути.

Дымовые газы вступают в контакт с жидкостью скруббера, содержащей перекись водорода. Жидкость скруббера реагирует с дымовыми газами, и кислые сточные воды передаются для нейтрализации и осаждения ртути.

5.2.8 Обезвреживание остатков, образующихся при очистке газообразных продуктов сгорания

Цементирование остатков от очистки дымовых газов представляет собой процесс смешивания с минеральными или гидравлическими вяжущими (например, цемент, летучая зола угля и т. д.), реагентами для регулирования свойств материала (для снижения выщелачиваемости свинца используются реагенты на основе оксида кремния, а для снижения выщелачиваемости других металлов — реагенты на основе сульфидов) и достаточным количеством воды для обеспечения того, чтоьы произошли реакции гидратации для связывания цемента.

Обычно остатки должны реагировать с водой и цементом с образованием гидроксидов металлов или карбонатов, которые хуже растворимы, чем соединения исходных металлов в матрице остатка.

Отвердевшие продукты размещаются на полигоне. Выщелачивание тяжелых металлов из продуктов в краткосрочной перспективе относительно низкое; однако высокий уровень pH системы на цементной основе может привести к значительному выщелачиванию амфотерных металлов (свинец и цинк).

Остекловывание и плавление остатков приводит к мобилизации летучих элементов, таких как ртуть, свинец и цинк в течение процесса обезвреживания; это используется в сочетании с другими параметрами для производства материала с низким содержанием тяжелых металлов.

Известны некоторые способы, используемые для нагрева остатков: системы электроплавки, системы, отапливаемые горелками, и плавка с дутьем. Они отличаются по способу передачи энергии, окислительному либо восстановительному состоянию в течение работы и по количеству образующихся газообразных продуктов сгорания. Для этого используются металлургические печи.

Способы, используемые для остекловывания и плавления остатков, похожи во многих отношениях. Основное различие главным образом состоит в процессе охлаждения, а также в использовании специальных добавок.

Экстрагирование кислотой. Летучая зола очищается кислыми стоками с первой (кислотной) стадии мокрого скруббера. Затем очищенные остатки промываются и обычно смешиваются со шлаком перед размещением на полигоне.

В процессе удаляется значительная часть общего количества тяжелых металлов из остатков (Cd ≥ 85 %; Zn ≥ 85 %; Pb, Cu ≥ 33 %; Hg ≥ 95 %). Выщелачиваемость остатка снижается в 100–1000 раз.

Обработка остатков от очистки дымовых газов, появляющихся в процессе очистки сухим бикарбонатом натрия, для использования в производстве кальцинированной соды. Остатки от очистки дымовых газов, появляющиеся в процессе очистки сухим бикарбонатом натрия, накапливаются в бункере до обезвреживания. Затем остатки растворяют при регулировании pH и при добавке реагентов. Образующаяся суспензия проходит через фильтр-пресс, в котором отделяются нерастворимые вещества: гидроксиды тяжелых металлов, активированный уголь и летучая зола. Таким образом, получается неочищенный рассол и отфильтрованный остаток.

Неочищенный рассол затем проходит через песочный фильтр и поступает в колонку с активированным углем, который абсорбирует органические соединения, которые могут находиться в рассоле. Следовые количества тяжелых металлов удаляются в двух колонках с ионообменными смолами, для того чтобы достичь класса качества природного рассола, который можно использовать в промышленном производстве кальцинированной соды.

Остаток фильтрования, который является единственным остающимся отходом, размещается на полигоне. Общее количество составляет не более 2–4 кг на тонну сжигаемых ТКО.

Очищенный рассол и остаток фильтрования являются единственными конечными продуктами. Промывная вода, реагенты ионообменных смол и т. д. полностью подвергаются промежуточной очистке и повторному использованию.

Обработка остатков от очистки дымовых газов, появляющихся в процессе очистки сухим бикарбонатом натрия, с использованием гидравлических вяжущих. Остатки от очистки дымовых газов, появляющихся в процессе очистки сухим бикарбонатом натрия, накапливаются в бункере до обезвреживания. Затем остатки смешиваются с гидравлическим вяжущим, а потом вводятся в водный раствор с некоторыми реагентами. Образующаяся при этом суспензия проходит через фильтр-пресс, где происходит отделение нерастворимых веществ (содержащих, в частности, большинство тяжелых металлов). Получающимися продуктами являются рассол и остаток от фильтрования.

Рассол затем подвергается очистке таким образом, чтобы его можно было повторно использовать при производстве кальцинированной соды.

Остаток от фильтрования, содержащий гидравлические вяжущие, отверждается в инертный материал для размещения на полигоне.

5.2.9 Удаление остатков, образующихся при очистке газообразных продуктов сгорания

Отделение стадии улавливания пыли от других стадий очистки дымовых газов имеет важное значение. Удаление пыли перед стадиями газоочистки (стадии удаления кислых газов и диоксинов), при использовании электрофильтров, циклонов или рукавных фильтров, без добавки реагентов позволяет рассмотреть переработку и последующее обезвреживание удаленной пыли.

Отделенная зола может быть возвращена на стадию сжигания для дальнейшей деструкции любых ПХДД/ПХДФ, что может привести к снижению общего выхода диоксинов с установки.

Предварительное обеспыливание может повысить надежность полусухой очистки дымовых газов и других систем газоочистки. Снижается унос твердых частиц в последующие стадии газоочистки (в особенности системы мокрой газоочистки), что может улучшить их функционирование и снизить затраты на этих стадиях.

5.2.10 Мониторинг (производственный контроль) и регулирование выбросов

Неоднородный состав поступающих на обезвреживание отходов требует постоянного производственного контроля в независимости от степени автоматизации системы. Контроль основывается на получении достоверной информации о процессе посредством использования контрольно-измерительных приборов. Необходимо иметь данные о: температуре в различных местах камеры сжигания, толщине слоя отходов

на полу или в подподовой зоне, степени разрежения в зоне горения, температурном градиенте по поверхности печи, изменениях концентраций CO, O_2, CO_2 и (или) H_2O (в разных местах), длине и позиционировании фронта горения в печи, концентрации веществ в выбросах на дымовой трубе.

Важным способом контроля процесса является использование оптических или инфракрасных измерительных систем, ультразвуковых и визуальных камер.

Непрерывная корректировка коэффициента избытка воздуха может улучшить процесс сжигания и предотвратить образование ряда вредных веществ.

Инфракрасная камера является примером технологии, которая может быть использована для создания термографии слоя сжигаемых отходов. Используются также ультразвуковые и визуальные камеры. Распределение температур на решетке появляется на экране как изотермическое поле с постепенно изменяющимися окрашенными областями.

Для последующего контроля работы печи можно определить характеристические температуры индивидуальных зон и передать информацию в контроллер, управляющий работой печи, как входные параметры для переменных печи. С использованием нечеткой логики, некоторых переменных (например, температура, содержание CO, O_2) можно определить последовательность правил для поддержания процесса в заданных параметрах.

С помощью использования быстродействующего мониторинга HCl до и после блока газоочистки появляется возможность корректировать работу системы очистки дымовых газов, с тем чтобы количество используемого щелочного реагента было оптимизировано для заданного значения выбросов. Этот способ обычно применяется как дополнительный метод для регулирования пиковых концентраций, с созданием слоя реагента в рукавных фильтрах, обеспечивая также важный буферный эффект для флуктуаций реагента.

Время реакции контролирующего устройства должно быть быстрым для прохождения управляющего сигнала на оборудование и своевременного дозирования реагента для обеспечения эффективной реакции.

Контроль устойчивости к коррозии является важным аспектом, так как речь идет о чрезвычайно агрессивной среде. Проблемой может также быть обрастание внутренних материалов и элементов оборудования золой и другими компонентами отходящих газов, а также загрязнителями, содержащимися в холодном теплоносителе теплообменных аппаратов.

Изменение в дозировании для поддержания адсорбционной способности в системе очистки дымовых газов можно сделать:

- с помощью изменения расхода с использованием насосов с переменной скоростью или шнека-дозатора с переменной скоростью;

- с помощью изменения концентрации реагентов в полусухих системах, когда небольшие объемы смесителя повышают скорость изменения концентрации.

Важной задачей мониторинга и регулирования выбросов при сжигании отходов является ретроспективный анализ параметров технологического процесса (помимо прогнозного метода).

Для этого необходимо предусматривать запись и хранение результатов показаний контрольно-измерительных приборов и газоаналитических модулей (датчиков), лабораторного диагностирования.

5.2.11 Контроль и обработка сточных вод

Использование технической воды для обеспечения реализации технологий термического обезвреживания отходов требуется для работы газоочистки от кислых газов (использование мокрых скрубберов, скрубберов Вентури); удовлетворения требований пожарной безопасности при предотвращении возгорания отходов (обеспечение подвода воды к блоку загрузки сырья); теплообменных процессов (где используемая вода применяется в качестве холодного теплоносителя) и парогенерации (в основном для процессов пиролиза и газификации).

После применения соответствующих технологических блоков качество вод будет отличаться от исходных. Несмотря на то, что, как правило, вода используется в соответствующих блоках циклически, периодически требуется ее очистка.

Контроль сточных вод для производственного процесса состоит из фиксирования pH и концентрации механических примесей — для принятия решений в части возможности повторного и (или) дальнейшего их использования с дозированием химических реагентов.

Ориентировочные перечень загрязняющих веществ и уровни загрязнения сточных вод в сбросах с систем газоочистки установкок термического обезвреживания отходов приведены в таблице 3.5.

Наиболее актуальным этот вопрос считается для очистки сточных вод, образующихся при обработке газообразных продуктов горения. В таких сточных водах могут содержаться тяжелые металлы, соли реакции нейтрализации, непрореагировавшие

кислые и щелочные вещества, механические примеси и высокотоксичные соединения диоксиновой группы.

Состав загрязнителей отработанного абсорбционного раствора определяет перспективность использования мембранных технологий или технологий на основе обратного осмоса или термического выпаривания. Использование мембранных технологий, обратного осмоса и выпаривания, не смотря на высокую стоимость процессов, эффективно для очистки вод от растворенных солей, которые образуются в отработанном абсорбционном растворе после поглощения кислых газов.

Также нашло применение использование фильтров. Однако использование последних актуально при отсутствии блока пылеосаждения на этапе газоочистки. Это ведет к осаждению механических примесей в мокром скруббере и требует их концентрирования в виде шлама для предотвращения вторичного загрязнения газов, особенно при наличии тяжелых металлов.

Сжигание такого шлама (загрузка фильтра и собственно выделенных компонентов) является источником формирования рисковых зон. Так как, тяжелые металлы, ПХДД/ПХДФ снова будут переходить в среды повышенной миграционной активности.

Для получения информации об использовании технических решений для очистки сточных вод, образующихся в блоках газоочистки, следует пользоваться справочником НДТ «Очистка сточных вод при производстве продукции (товаров), выполнении работ и оказании услуг на крупных предприятиях».

5.2.12 Обработка и обезвреживание шлаков и зольных остатков, образующихся в результате сжигания

В течение процессов сжигания могут образовываться твердые отходы. Такие твердые отходы обычно называются «зола» или «шлак». Зола бывает двух типов: один называют «нелетучий остаток», обычно извлекаемый на поду камеры сжигания, другой, называемый «летучая зола», состоит из мелкодисперсных фракций и уносится с дымовыми газами. Этот последний тип обычно извлекается с помощью оборудования для очистки дымовых газов.

Зола от сжигания и остатки от очистки дымовых газов являются одним из основных потоков отходов, обрабатываемых с помощью процессов стабилизации и отверждения либо в установке для сжигания (например, в некоторых инсинераторах). Другими методами являются очистка и рециклинг некоторых компонентов (например, солей). Применяется также и метод переработки золы от сжигания путем плавления золы в плазме при очень высоких температурах, чтобы стекловать структуру.

Технические решения по обезвреживанию твердых остатков от сжигания отходов обычно определяются с помощью:

- содержания органических соединений в остатках;
- содержания тяжелых металлов в остатках;
- выщелачиваемости металлов, солей и тяжелых металлов в остатках;
- физической пригодности (например, размера и прочности частиц в остатках).

Улучшение дожигания шлака может быть достигнуто с помощью оптимизации параметров сжигания, для того чтобы произошло полное сжигание связанного углерода.

Повышение температуры сгорания вместе с температурой слоя топлива вызывает рост образования CaO в шлаке. Это вызывает рост значения pH шлака. Значение pH свежего шлака часто превышает 12.

Этот рост pH также может привести к росту растворимости амфотерных металлов, таких как свинец и цинк, которые находятся в высоком количестве в шлаке. Величина pH шлака может снизиться после стадии сжигания с помощью вызревания.

Отделение шлака от остатков очистки дымовых газов. Смешение остатков очистки дымовых газов со шлаком приводит к загрязнению шлака. Вследствие более высокого содержания металлов, выщелачиваемости металлов и содержания органического вещества в остатках системы газоочистки снижается качество шлака. Это ограничивает варианты для последующего использования шлака.

Разделение шлака и остатков системы газоочистки состоит в раздельном сборе, хранении и транспортировании обоих потоков остатков. Это связано, например, со специально выделенными бункерами для хранения и контейнерами, а также специальными способами обращения с мелкими фракциями и пыльными остатками системы газоочистки.

Отделение остатков системы газоочистки от шлака создает возможность его дальнейшего использования (например, с помощью сухой обработки или промывки водорастворимых солей, тяжелых металлов в экстракторе золы), например, для производства заменителей песка и гравия. Такое производство должно осуществляться на основании технической документации, получившей положительное заключение государственной экологической экспертизы на новые технику, технологию и/или новые вещества.

Сепарация металлов из шлака. Сепарация черных металлов осуществляется с использованием магнита. Шлак выгружается на движущийся транспортер или вибрационный конвейер, и все магнитные частицы притягиваются подвешенным магнитом. Та-

кая сепарация черных металлов может быть выполнена на необработанном шлаке после того, как он покинул экстрактор золы. Для эффективной сепарации черных металлов требуется многостадийная обработка с промежуточной стадией дробления и просеивания.

Сепарация цветных металлов осуществляется с использованием сепаратора вихревых токов. Быстро вращающаяся катушка индуктивности наводит магнитное поле в частицах цветных металлов, что выталкивает их из потока. Способ является эффективным для частиц с размером от 4 до 30 мм и требует хорошего распределения материала на движущемся транспортере. Сепарация осуществляется после отделения черных металлов, дробления и просеивания.

Грохочение и дробление шлака. Различные операции по механической обработке шлака предназначены для подготовки материалов для дорожного строительства и земляных работ, которые обладают удовлетворительными геотехническими характеристиками. Некоторые операции могут проводиться в течение процесса подготовки:

- гранулометрическая сепарация с помощью грохочения;

- уменьшение размеров с помощью дробления крупных фракций или иных способов разрушения;

- сортировка в воздушном потоке для удаления легких несгоревших фракций.

В линии переработки может быть установлена дробилка для разбивания больших кусков (обычно на выходе из первого грохота). Часть установок оснащена дробилками, в некоторых используется специальное оборудование (механическая лопата, погрузчик, камнедробилка и т. д.) для дробления блоков.

Разбивание больших кусков имеет несколько преимуществ: уменьшается количество крупного надситочного продукта; повышается геотехническое качество.

Отделение легких несгоревших фракций или отделение в воздушном потоке обеспечивается с помощью продувки или аспирации.

Обработка шлака с использованием вызревания. После сепарации металлов шлак можно хранить на открытом воздухе или в специализированном крытом здании в течение нескольких недель. Хранение обычно осуществляется в отвалах на бетонном полу. Дренаж и сточная вода собираются для очистки. Отвалы могут быть увлажнены при необходимости с использованием спринклерного оросителя или рукавной системы, для того чтобы предотвратить образование пыли и выбросов и создания благоприятных условий для выщелачивания солей и карбонизации, если шлак недостаточно влажный.

На практике обычно устанавливается период старения от 6 до 20 нед (или он предписывается) для обработки шлака перед использованием в качестве строительного материала или в некоторых случаях перед размещением на полигоне.

Выщелачивание можно классифицировать следующим образом:

- снижение pH вследствие потребления CO_2 из воздуха или биологической активности;

- создание бескислородных, восстановительных условий вследствие биоразложения остаточного органического вещества;

- местные восстановительные условия вследствие выделения водорода;

- гидратирование и другие изменения в минеральных фазах, вызывающие сцепление частиц.

Этот способ можно применять ко всем новым и существующим установкам, на которых образуется шлак.

Обработка шлака с использованием систем сухой очистки. Установки для сухого обогащения шлака сочетают способы сепарации черных металлов, уменьшения размеров и грохочения, сепарации цветных металлов и старения обработанного шлака.

Обработка шлака с использованием систем мокрой очистки. Использование систем мокрой очистки для обработки шлака позволяет получать шлак с минимальной выщелачиваемостью металлов и анионов (например, солей). Шлак после сжигания обрабатывается для уменьшения размеров, грохочения, промывки и сепарации металлов.

Основной особенностью этой обработки является мокрое разделение фракции 0–2 мм. Так как большая часть выщелачиваемых компонентов и органических соединений остается в мелкой фракции, это приводит к снижению выщелачиваемости остающейся фракции продукта (> 2 мм).

Обработка шлака с помощью термических систем в диапазоне от 1100 °C до 2000 °C или более высоких температур (для плазменных систем).

Плазменные системы используются для остекловывания и плавления различных потоков неорганических отходов, включая шлак и летучую золу (температуры, используемые для остекловывания с помощью плазменной дуги, обычно находятся в диапазоне от 1400 °C до 1500 °C), с поставляемой электроэнергией.

Плазменные печи работают с удельной мощностью от 0,25 до 0,5 МВт/м^2 и имеют производительность плавления 300 кг/ч/м^2. Зона влияния процесса обычно небольшая.

Результатом этого способа является снижение объема (на 33 % — 50 %), очень низкий уровень выщелачивания и чрезвычайно стабильный остаток, который можно легко утилизировать как наполнитель.

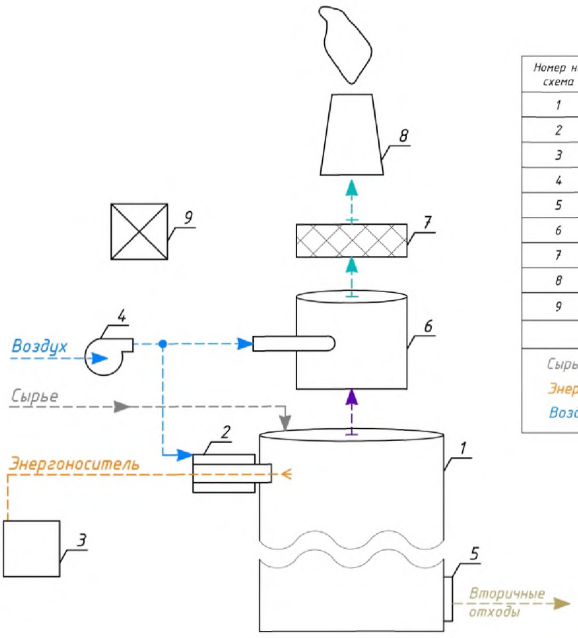
Необходимость очистки отходящих газов с установки плавления золы определяет возможность интеграции настоящей установки с технологическим комплексом термического обезвреживания отходов в части общих очистных сооружений.

5.3 Варианты технологического процесса

5.3.1 Технологические процессы на базе методов сжигания

Использование слоевых топок для обезвреживания органических отходов должно сопровождаться предварительной подготовкой отходов перед загрузкой в печь.

Контролируемое высокотемпературное обезвреживание отходов в установках С6-2С, С7-1С, С7-2С, С16-1С, С20-1С, С20-2С, С20-3С (см. таблицу 5.5) (загрязненных отработанных сорбентов, отработанных фильтров, обтирочной ветоши, отходов древесины подходящих размеров, отходов бумажных изделий и других органических отходов подходящих размеров) и в С16-1С (см. таблицу 5.5) (биологических и медицинских отходов (классов А и Б) и вышеперечисленных) по технологической схеме (см. рисунок 5.5), может рассматриваться в качестве базовых НДТ.



Экспликация оборудования

Номер на схеме	Наименование	Количество
1	Блок первичной термической обработки	1
2	Блок горелок	1
3	Ёмкость хранения энергоносителя	1
4	Вентилятор	1
5	Блок выгрузки золы	1
6	Блок дожига	1
7	Огнепреградитель	1
8	Дымовая труба	1
9	Блок управления	1

Обозначение материальный потоков

Сырье	Пирогаз
Энергоноситель	Отходящие газы
Воздух	Вторичные отходы

Рисунок 5.5 — Принципиальная схема слоевого сжигания отходов на базе технологических установок С6-2С, С7-1С, С7-2С, С16-1С, С20-1С, С20-2С, С20-3С (см. таблицу 5.5)

Подобная технология имеет наибольшее промышленное внедрение (см. подраздел 3.1). Установки, которые предназначены для обезвреживания узкого диапазона определенных отходов (или подвергнутых высокому уровню предварительной подготовки, а следовательно, более гомогенных отходов), работают в более узком диапазоне предельных характеристик, чем те установки, которые принимают отходы с более переменными характеристиками. Следовательно, риски, связанные с приемкой отходов, влекут за собой ряд негативных воздействий на окружающую среду, минимизация которых может обеспечиваться за счет контроля процесса сжигания и регулирования параметров технологического процесса.

Удовлетворительные экономические показатели обеспечиваются низкими капитальными затратами. Использование блока управления, современных горелочных устройств с регулируемым подводом воздуха в зону сжигания; тщательный входной контроль подаваемых на сжигание отходов; достаточное время пребывания сырья в блоке термического обезвреживания обеспечивают удовлетворительные экологические характеристики. Соответствие показателям технологического процесса

обеспечивается качеством энергоносителя, штатным режимом работы горелок и соблюдением норм по коэффициенту избытка воздуха для различных обезвреживаемых отходов, турбилизацией в камере дожигания за счет подачи воздуха.

Изготавливаемое оборудование может быть использовано по принципу легкотранспортируемых мобильных установок. Максимальная производительность ограничена периодическим режимом с ручной загрузкой отходов.

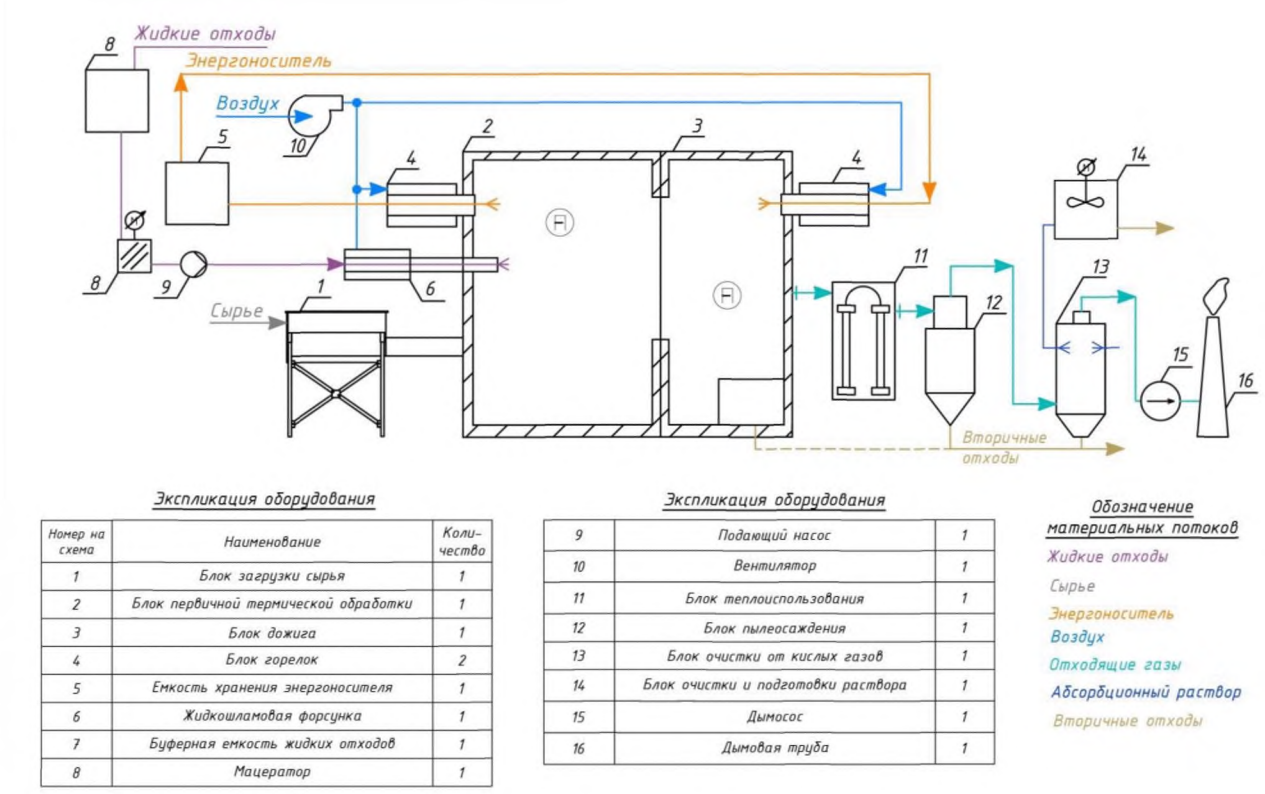
В качестве альтернативного процесса рационально рассмотреть технологию, реализуемую в соответствии с С24-1С. Здесь предусмотрено быстрое упаривание и улучшение сжигания при максимальном тепловом воздействии с использованием нисходящего пламени горелок, а также прямой передачи тепла из вторичной камеры вниз через огнеупорный материал. Имеются данные об обеспечении преимущества в отношении скорости процесса, расхода топлива и автоматизации.

Безопасность термического обезвреживания отходов с помощью слоевых (подовых) печей обеспечивается автоматизацией и контролем технологического процесса, отсутствием задымлений на местах работы обслуживающего персонала и возможностью очистки дымовых газов. Следует дооснащать установки тягодутьевым оборудованием и блоком многоступенчатой очистки и обезвреживания отходящих газов, газоаналитическим оборудованием для контроля выбросов в атмосферу в режиме онлайн по основным загрязняющим веществам.

Для имеющихся технических решений настоящие предпосылки реализации подового сжигания характерны для С2-1П, С2-2П, С2-3П, С15-1П, С15-2П, С26-1П (см. таблицу 5.5).

Сырье — медицинские отходы (классов А, Б, В, Г — частично), биологические отходы, нефтешламы, нефтезагрязненные грунты, промаслянная ветошь, отработанные загрязненные сорбенты и фильтры, твердые коммунальные отходы.

Распространение промышленного внедрения такого метода является значительным (см. раздел 2). Однако наличие в поставках оборудования блоков 12 и 13 не является обязательным в рамках зоны ответственности производителей оборудования. Следовательно, настоящий вариант технологического процесса может быть удовлетворительно оценен по уровню негативного воздействия на окружающую среду — при его соответствии настоящей схеме (см. рисунок 5.6). Также имеется тягодутьевое оборудование, являющееся источником шумового загрязнения. Использование превентивных мероприятий в этой части во многом складывается из правильного монтажа оборудования и конструктивных особенностей блоков 10 и 15.



Экспликация оборудования

Номер на схема	Наименование	Коли-чество
1	Блок загрузки сырья	1
2	Блок первичной термической обработки	1
3	Блок дожига	1
4	Блок горелок	2
5	Емкость хранения энергоносителя	1
6	Жидкошламовая форсунка	1
7	Буферная емкость жидких отходов	1
8	Мацератор	1

Экспликация оборудования

9	Подающий насос	1
10	Вентилятор	1
11	Блок теплоиспользования	1
12	Блок пылеосаждения	1
13	Блок очистки от кислых газов	1
14	Блок очистки и подготовки раствора	1
15	Дымосос	1
16	Дымовая труба	1

Обозначение материальных потоков

Жидкие отходы
Сырье
Энергоноситель
Воздух
Отходящие газы
Абсорбционный раствор
Вторичные отходы

Рисунок 5.6 — Технологическая схема слоевого (подового) сжигания отходов на базе технологических решений С2-1П, С2-2П, С2-3П, С15-1П, С15-2П, С26-1П (см. таблицу 5.5)

При этом организация процесса термического обезвреживания отходов по настоящей технологии должна учитывать относительно низкую производительность этой конструкции печи и слоевого сжигания отходов в целом.

Загрузочное устройство выполняется в виде шнекового, ленточного транспортера, гидравлического толкателя.

Периодический ввод жидких шламов в подовые печи рассматривается как источник резервного энергоснабжения при обезвреживании отходов с высокой теплотворной способностью (нефтешламы, отработанные и загрязненные нефтепродукты и т. д.). Производительность по жидким отходам в таком случае ориентировочно в три раза меньше, чем по твердым отходам — базовому сырью.

Прогрессивные диапазоны технологических параметров, использование ресурсо- и энергосберегающих методов позволили использовать установку для обезвреживания специальных отходов.

Удовлетворительные экологические показатели по выбросам вредных веществ с отходящими газами обеспечиваются многоступенчатой газовой очисткой (от взвешенных веществ и вредных компонентов, улавливаемых щелочными и щелочноземельны-

ми реагентами); контролем поступающих отходов; контролем процесса горения отходов. Для обеспечения последнего в подобных установках используются исправные горелочные устройства, отвечающие современному уровню техники (с возможностью регулирования подачи энергоносителя и автоматическим поддержанием соответствующего коэффициента избытка воздуха; визуализацией параметров технологического процесса и их архивированием); смотровые окна.

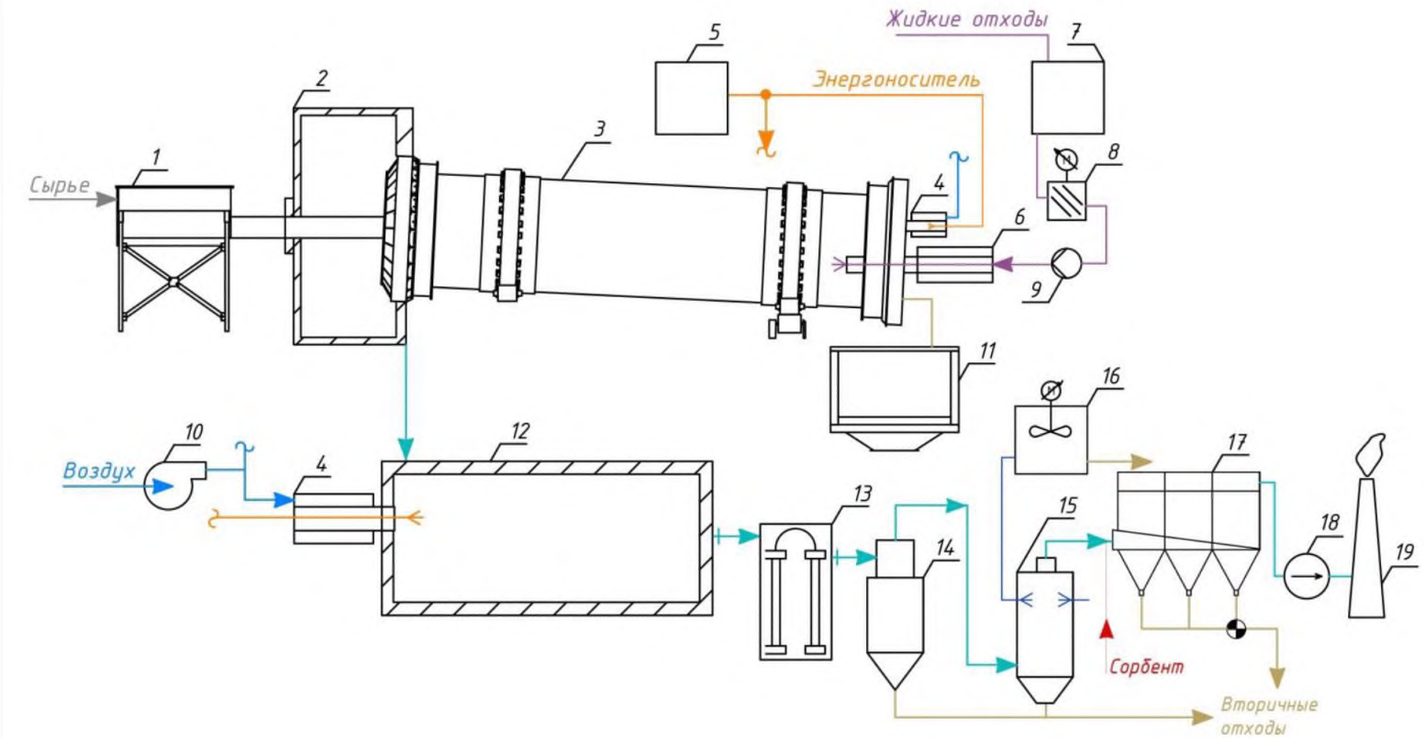
Очистка газов от взвешенных примесей производится в пылеосадительных камерах, электрофильтрах, циклонах и в мокрых пылеуловителях (для экономической эффективности в отечественной практике последнее интегрируется с мокрыми скрубберами).

При использовании мокрых скрубберов абсорбционный раствор используется циклически. При этом к базовым технологическим решениям относятся локальные очистные установки, работающие по принципу фильтрации. Следует использовать внутриреакторную очистку, которая обеспечивается уровнем подвода очищаемых дымовых газов в скруббер и его гидравлическими характеристиками. При этом сгущаемый осадок транспортируется шнековым транспортером (С15-3В, С15-2П) (см. таблицу 5.5). Также имеется опыт механической фильтрации и отстаивания (С2-4В, С15 (см. таблицу 5.5).

В качестве доступного технического подхода следует рассматривать использование мембранных технологий очистки сточных вод, образующихся в мокрых скрубберах, реализация которых обуславливает удорожание процесса переработки отходов в целом и может рассматриваться для оснащения производственно-технических комплексов или мусоросжигательных заводов. Как правило, дооснащение этим блоком не влечет значительных затрат, а также значительно сокращает влияние на окружающую среду.

Сжигание отходов с помощью барабанных вращающихся печей — наиболее распространенный метод. Реализация технологий с помощью такой конструкции печи представлена С2-4В, С5-1В, С6-1В, С14-1В, С14-2В, С15-3В (см. таблицу 5.5 и рисунок 5.7). Их использование позволяет изменять режимы работы без существенного технического перевооружения и смены технологии, следовательно, использование этой конструкции дает возможность переработки более широкого спектра отходов. В их число входят твердые коммунальные и промышленные отходы, нефтяные шламы, обезвоженные осадки очистных сооружений, медицинские отходы, биологические отходы, CO_3-содержащие отходы и т. п. Многоцелевое назначение определяет более серьезные требования к обеспечению экологической безопасности. Для этих целей ис-

пользуется многоступенчатая газоочистка, в составе которой рационально использование адсорбционных реакторов, наиболее часто исполненных в виде рукавных фильтров (однако имеются и другие конструкции). В качестве адсорбентов тяжелых металлов и соединений группы диоксинов используется активированный уголь и цеолиты.



Экспликация оборудования

Номер на схема	Наименование	Коли-чество
1	Блок загрузки сырья	1
2	Приемная камера	1
3	Вращающаяся печь	1
4	Блок горелок	2
5	Емкость хранения энергоносителя	1
6	Жидкошламовая форсунка	1
7	Буферная емкость жидких отходов	1
8	Мацератор	1
9	Подающий насос	1

Экспликация оборудования

10	Вентилятор	1
11	Золосборник	1
12	Блок дожига	1
13	Блок теплоиспользования	1
14	Блок пылеосаждения	1
15	Блок очистки кислых газов	1
16	Блок очистки и подготовки раствора	1
17	Блок тонкой очистки	
18	Дымосос	1
19	Дымовая труба	1

Обозначение материальных потоков

- Жидкие отходы
- Сырье
- Энергоноситель
- Воздух
- Отходящие газы
- Абсорбционный раствор
- Вторичные отходы
- Активированный уголь

Рисунок 5.7 — Принципиальная технологическая схема сжигания отходов во вращающейся барабанной печи на базе технологических решений С2-4В, С5-1В, С6-1В, С14-1В, С14-2В, С15-3В (см. таблицу 5.5)

На рисунке 5.7, кроме принципиального состава блоков, имеется блок тонкой очистки с возможностью впрыска активных сорбентов.

Методы ресурсо- и энергосбережения могут сводиться к использованию жидких отходов в качестве альтернативного топлива на специальных форсунках и системами утилизации тепла, например, на обеспечение горячим водоснабжением и отоплением производственных и внутриплощадных нужд.

Многовариантная техническая проработка природоохранного оборудования в составе технологических решений С2 (см. таблицу 5.5) позволяет сделать вывод о лучших значениях по критериям уровня воздействия на окружающую среду.

Модификация конструкции печи в виде циклонного реактора (позиция 13 на рисунке 5.8) позволяет увеличить производительность по жидким отходам.

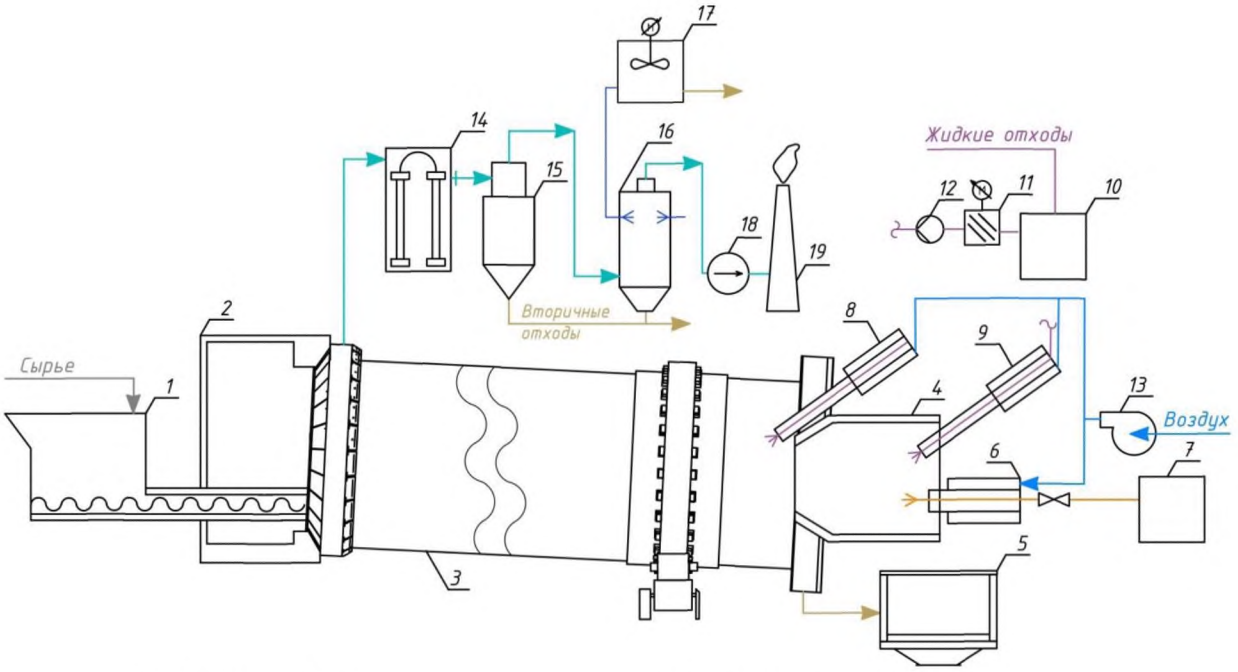
Циклонная камера сжигания оборудуется тангенциально расположенными горелками, работающими на газообразном или жидком топливе, форсунками подачи жидких отходов (в зависимости от комплектации), пылесборником (или камерой солеотложения).

Распространены технологические решения, где циклонный реактор используется в качестве камеры дожига (см. рисунок 5.7). Необходимость вихревого режима определяется требованиями к сжиганию высокотоксичных сред. Этот подход реализован на установке С27-1Ц (см. таблицу 5.5), прошедшей модернизацию по внедрению автоматического режима управления. Имеется информация, что это позволило сократить выбросы и уменьшить потери, уменьшить количество рабочих мест и сделать технологию более безопасной.

Циклонная топка обеспечивает более качественное сжигание и относительную минимизацию концентрации контролируемых загрязняющих веществ.

В качестве альтернативных технологических подходов следует отметить интегрированные решения, ориентированные на высокую производительность, минимизацию вредного воздействия на окружающую среду и основные принципы энерго- и ресурсосбережения: И23-2К, П23-3Н, И23-4 (см. таблицу 5.5).

При прочих равных условиях (производительности, видам отходов и т. д.) реализацию варианта технологической схемы в соответствии с рисунком 5.8 можно считать оптимальным решением, так как альтернативное решение требует значительно больших капитальных затрат.



Экспликация оборудования

Номер на схема	Наименование	Коли-чество
1	Блок загрузки сырья	1
2	Приемная камера	1
3	Блок первичной термической обработки	1
4	Камера дожига	2
5	Золосборник	1
6	Блок горелок	1
7	Емкость хранения энергоносителей	1
8	Водная форсунка	1
9	Шламовая форсунка	1
10	Буферная емкость жидких отходов	1
11	Мацератор	1
12	Подающий насос	1

Экспликация оборудования

13	Вентилятор	1
14	Блок теплоиспользования	1
15	Блок пылеосаждения	1
16	Блок очистки кислых газов	
17	Блок очистки и подготовки раствора	1
18	Дымосос	1
19	Дымовая труба	1

Обозначение материальных потоков

Жидкие отходы — Отходящие газы
Сырье — Абсорбционный раствор
Энергоноситель — Вторичные отходы
Воздух

Рисунок 5.8 — Принципиальная технологическая схема сжигания отходов с использованием циклонного дожигателя на базе технологических решений С2-5Ц, С15-4Ц (см. таблицу 5.5)

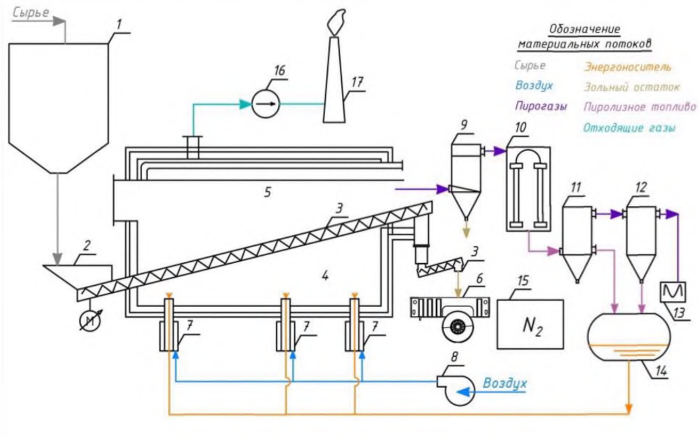
5.3.2 Технологические процессы на базе методов пиролиза

В отечественной практике обращения с резинотехническими и нефтесодержащими отходами известна технология термической деструкции сырья, которая в П8-1Н и П8-2Н (см. таблицу 5.5) реализуется в виде сухого низкотемпературного пиролиза (см. рисунок 5.9). Процесс представляет собой совокупность элементарных реакций разложения (деструкции) органического вещества на продукты с меньшей молекулярной массой. При этом под сухим пиролизом понимают процесс деструкции, протекающий в реакторе без доступа кислорода, под низкотемпературным пиролизом понимается процесс деструкции при поддержании температуры в пиролизном реакторе до

550 °С. К давлению для обеспечения пиролиза особых требований не предъявляется. Кроме этого в технологиях П8 допускается реализация технологии сушки без доступа кислорода (с целью снижения влажности сырья), технологии регенерации отдельных категорий сырья (отходов растворителей и др.) методом дистилляции под атмосферным давлением, а также комбинированных технологий переработки сырья.

Температурный уровень для технологии сушки сырья и регенерации методом дистилляции устанавливается в зависимости от химического состава перерабатываемого сырья (в зависимости от температуры кипения целевого продукта).

Техническое оснащение в части ректификации получаемого печного топлива и уровень автоматизации технологического процесса позволяют соблюдать допустимый уровень эмиссий загрязняющих веществ в отходящих газах.



Обозначение материальных потоков

Сырье	Энергоноситель
Воздух	Зольный остаток
Пирогазы	Пиролизное топливо
	Отходящие газы

Экспликация оборудования

Номер на схема	Наименование	Количество
1	Блок загрузки сырья	1
2	Приемная камера	1
3	Шнековый транспортер	1
4	Топка	1
5	Пиролизная камера	1
6	Золосборник	3
7	Блок горелок	1
8	Компрессор	1
9	Фильтр пиролизных газов	1
10	Блок теплоиспользования	1
11	Газожидкостный разделитель	1
12	Газосушильная колонна	1
13	Гидрозатвор	1
14	Топливный бак	1
15	Система продувки азотом	1
16	Дымосос	1
17	Дымовая труба	1

Рисунок 5.9 — Технологическая схема пиролиза с получением печного топлива по технологиям П8-1Н, П8-2Н (см. таблицу 5.5)

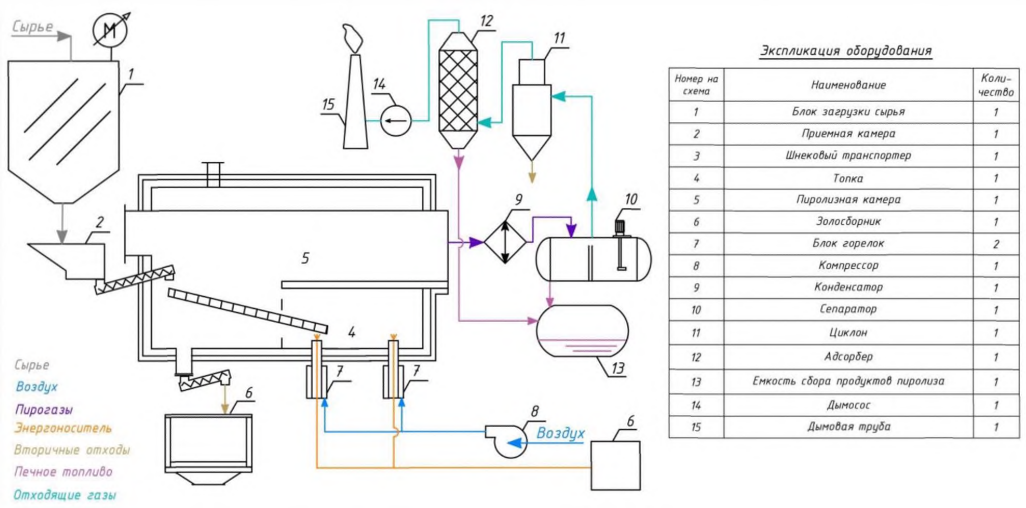
Экономическая эффективность процесса обеспечивается получением топлива из отходов.

Возможность комплектации установки системой рекуперации тепла и (или) выработки электроэнергии, а также использование конденсируемого топлива в качестве альтернативного дизельному топливу энергоснабжения отвечают критерию «Применение ресурсо- и энергосберегающих технологий».

Аналогичное технологическое решение реализовано П22-1Н (см. таблицу 5.5 и рисунок 5.10). Имеется ряд конструктивных отличий, в частности использование колосниковой печи.

Однако настоящая технология имеет преимущество перед предыдущей, так как укомплектовано газоочистным оборудованием.

В качестве альтернативной технологии рассмотренным вариантам выступает способ реализации технологии низкотемпературного пиролиза с использованием пара (термолиз) в соответствии с П4-1 (см. таблицу 5.5 и рисунок 5.11).



Экспликация оборудования

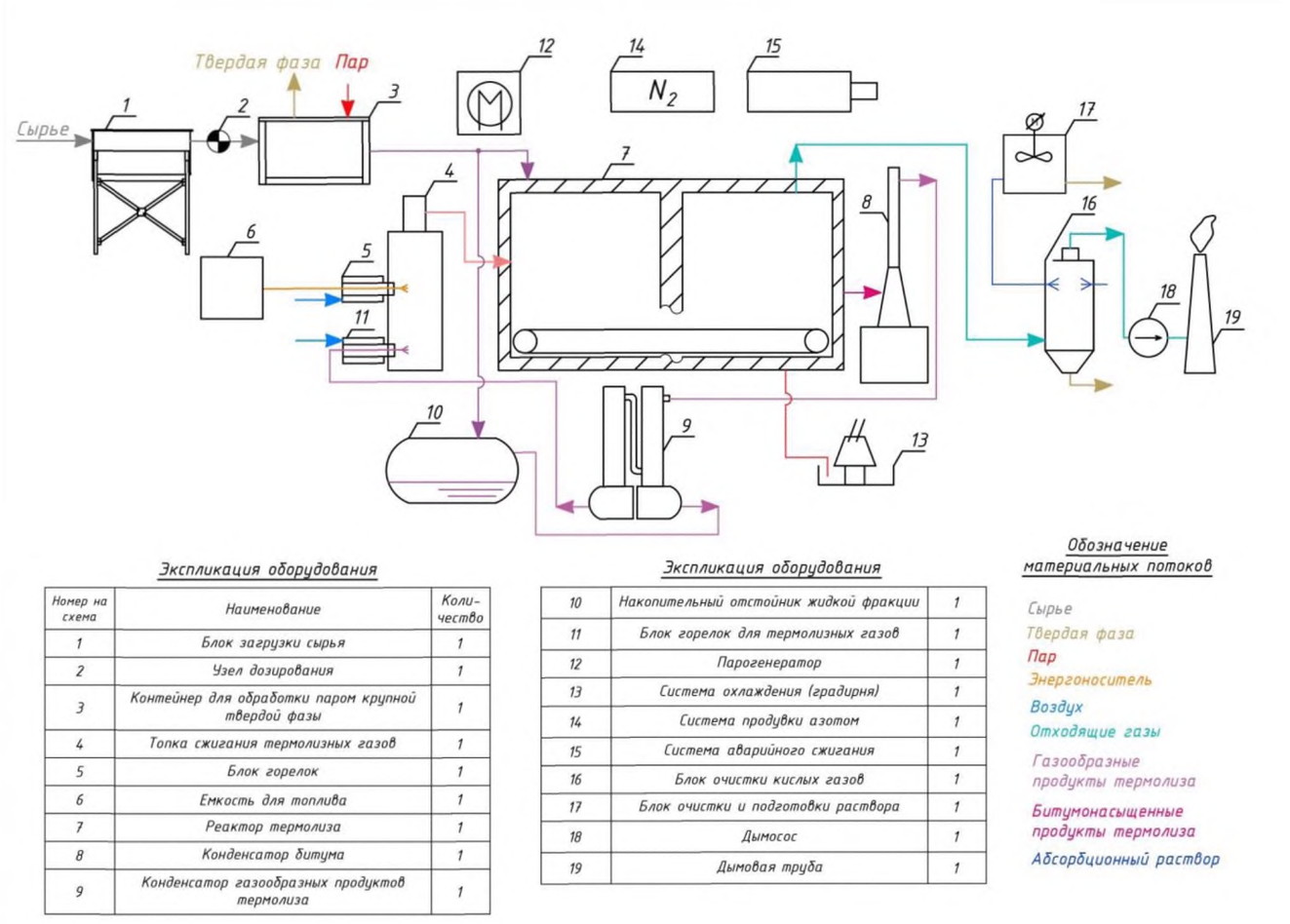
Номер на схема	Наименование	Коли-чество
1	Блок загрузки сырья	1
2	Приемная камера	1
3	Шнековый транспортер	1
4	Топка	1
5	Пиролизная камера	1
6	Золосборник	1
7	Блок горелок	2
8	Компрессор	1
9	Конденсатор	1
10	Сепаратор	1
11	Циклон	1
12	Адсорбер	1
13	Емкость сбора продуктов пиролиза	1
14	Дымосос	1
15	Дымовая труба	1

Рисунок 5.10 — Технологическая схема пиролиза с получением топлива по технологии П22-1Н (см. таблицу 5.5)

Технология реализуется в следующей последовательности: разогрев и сепарация шлама, пиролиз шлама, охлаждение и конденсация пиролизного газа, охлаждение твердых продуктов пиролиза, сжигание газа и получение теплоносителя для нагрева реактора, охлаждение и очистка отработанного теплоносителя.

Настоящий вариант интересен с точки зрения оценки критериев: «Наименьшего уровня негативного воздействия на окружающую среду» и «Применения ресурсо- и энергосберегающих методов».

Указанный технологический комплекс может найти широкое применение для утилизации нефтешламов, резинотехнических изделий и т. д.



Экспликация оборудования

Номер на схема	Наименование	Коли-чество
1	Блок загрузки сырья	1
2	Узел дозирования	1
3	Контейнер для обработки паром крупной твердой фазы	1
4	Топка сжигания термолизных газов	1
5	Блок горелок	1
6	Емкость для топлива	1
7	Реактор термолиза	1
8	Конденсатор битума	1
9	Конденсатор газообразных продуктов термолиза	1

Экспликация оборудования

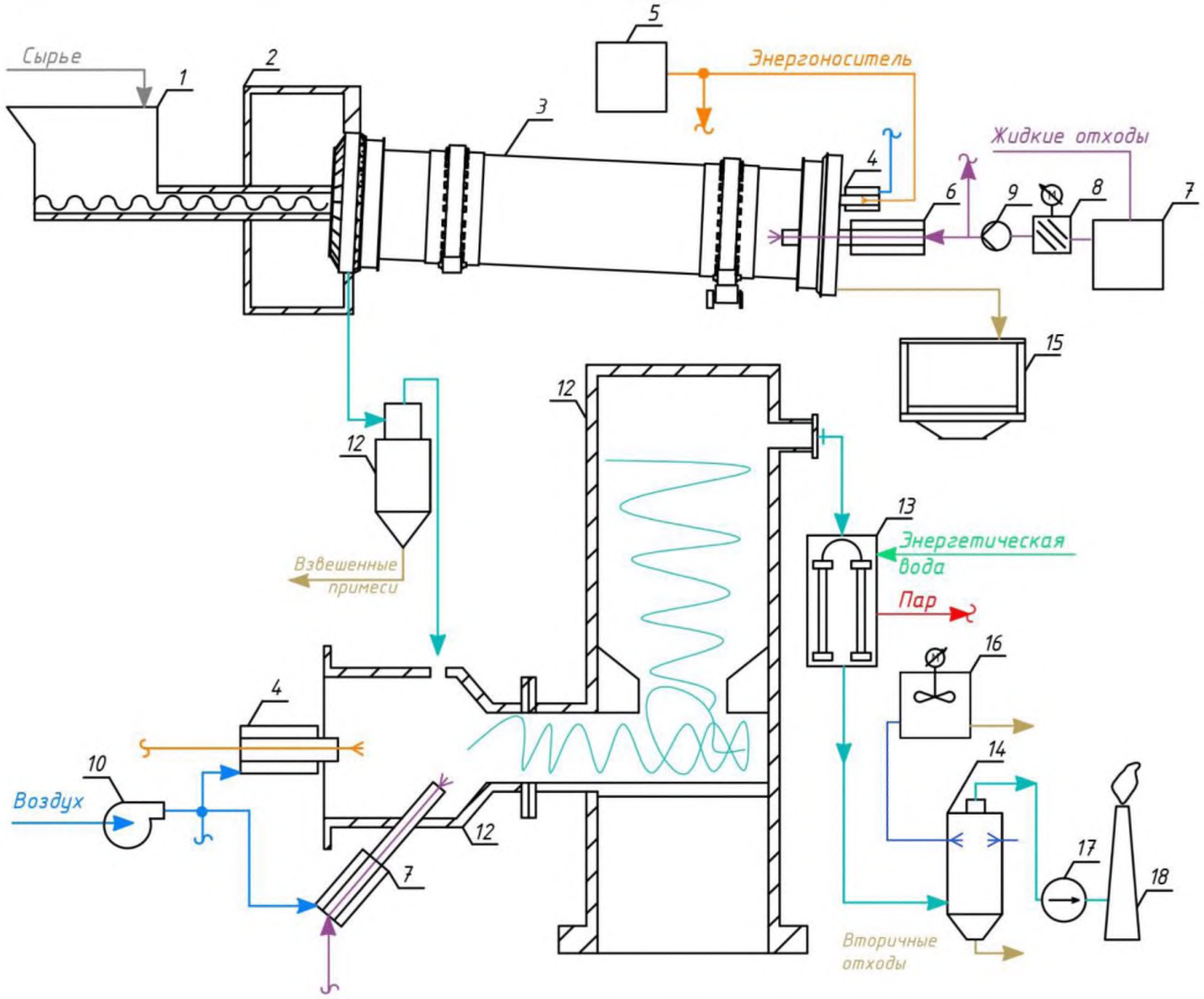
10	Накопительный отстойник жидкой фракции	1
11	Блок горелок для термолизных газов	1
12	Парогенератор	1
13	Система охлаждения (градирня)	1
14	Система продувки азотом	1
15	Система аварийного сжигания	1
16	Блок очистки кислых газов	1
17	Блок очистки и подготовки раствора	1
18	Дымосос	1
19	Дымовая труба	1

Обозначение материальных потоков

Сырье
Твердая фаза
Пар
Энергоноситель
Воздух
Отходящие газы
Газообразные продукты термолиза
Битумонасыщенные продукты термолиза
Абсорбционный раствор

Рисунок 5.11 — Технологическая схема термолизной переработки нефтешламов в соответствии с технологией П4-1 (см. таблицу 5.5)

Принципиальная схема процесса высокотемпературного пиролиза в практике температурного обезвреживания отходов представлена на рисунке 5.12, в соответствии с которой во вращающейся печи образуются пирогазы. Последние появляются при первичной термической обработке в условиях недостатка кислорода. Это оправдано с точки зрения экономии энергоресурсов, так как получаемый пирогаз имеет значительное количество недоокисленных компонентов, обладающих высокой теплотворной способностью. Причем доокисление пирогаза может проводиться при условии поддержания температуры самовоспламенения и избытка воздуха.



Экспликация оборудования

Номер на схема	Наименование	Коли-чество
1	Блок загрузки сырья	1
2	Приемная камера	1
3	Вращающаяся печь	1
4	Блок горелок	2
5	Емкость хранения энергоносителя	1
6	Жидкошламовая форсунка	2
7	Буферная емкость жидких отходов	1
8	Мацератор	1
9	Подающий насос	1
10	Вентилятор	1
11	Блок пылеосаждения	1
12	Циклонный дожигатель	1
13	Блок теплоиспользования	1
14	Блок очистки кислых газов	1
15	Золосборник	1
16	Блок очистки и подготовки раствора	1
17	Дымосос	1
18	Дымовая труба	1

Обозначение материальных потоков

Жидкие отходы	Отходящие газы
Сырье	Энергоноситель
Воздух	Вторичные отходы
Сорбент	Энергетическая вода
Пар	Абсорбционный раствор

Рисунок 5.12 — Технологическая схема высокотемпературного пиролиза в соответствии с технологией П23-3В (см. таблицу 5.5)

Технология может быть реализована в мобильном исполнении, что расширяет функциональные возможности ее использования.

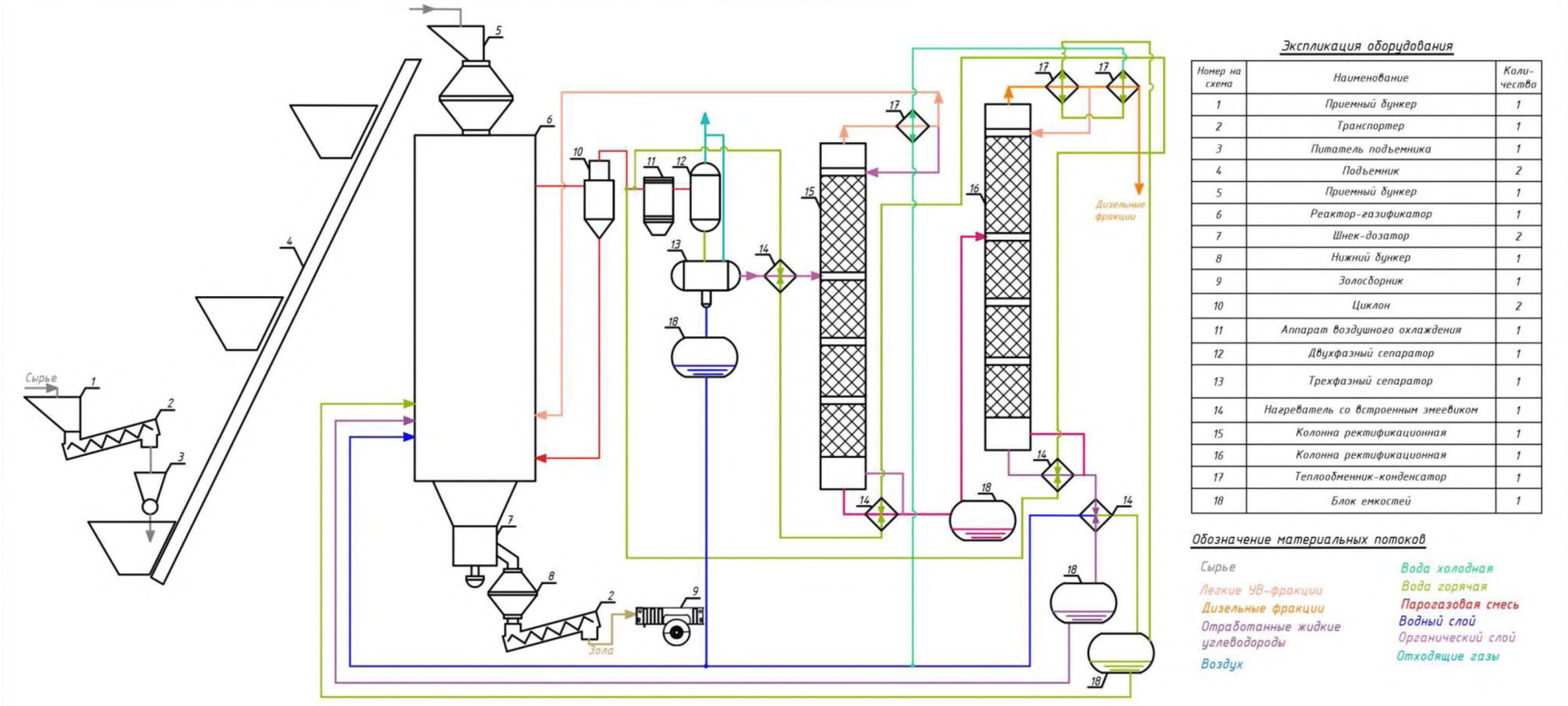
5.3.3 Технологические процессы на базе методов газификации

Переработка отходов газификацией имеет следующие преимущества по сравнению с методом сжигания: получаемые горючие газы могут быть использованы в качестве энергетического и технологического топлива, в то время как при сжигании практически возможно только энергетическое использование теплоты отходов (получение водяного пара или горячей воды); получаемая смола может быть использована как жидкое топливо и как химическое сырье; сокращаются выбросы золы и сернистых соединений в атмосферу. Схема технологического процесса газификации, реализуемой в соответствии с Г19-1, представлена на рисунке 5.13.

Углеводородсодержащее сырье подвергают термической обработке в недостатке окислительных компонентов сжигаемой смеси. Синтез-газ очищается от твердых частиц и капель, происходит охлаждение и конденсация. Для удаления капель отличной плотности необходимо использовать систему циклонов. После чего смесь подвергают ректификации для выделения органических фракций в температурном диапазоне 180 °С — 300 °С. Более легкая фракция рециркулируется в реактор в паровой фазе. Кубовая часть ректификационной колонны (блок 16 на рисунке 5.13) подается в реактор (позиция 6 на рисунке 5.13) через верхнюю крышку.

Реактор работает по циклическому принципу, в непрерывном режиме. Синхронизация стадий загрузки сырья и насадка с выгрузкой насадки и золы позволяют увеличить качество продуктов. Контроль и корректировка зоны горения с помощью введения воздуха и пара способствуют оптимизации технологического процесса.

В качестве конечных продуктов образуются: легкие жидкие углеводороды (жидкое топливо — дизельное топливо, бензин), метанол, аммиак (карбамид, сульфат аммония).



Экспликация оборудования

Номер на схема	Наименование	Коли-чество
1	Приемный бункер	1
2	Транспортер	1
3	Питатель подъемника	1
4	Подъемник	2
5	Приемный бункер	1
6	Реактор-газификатор	1
7	Шнек-дозатор	2
8	Нижний бункер	1
9	Золосборник	1
10	Циклон	2
11	Аппарат воздушного охлаждения	1
12	Двухфазный сепаратор	1
13	Трехфазный сепаратор	1
14	Нагреватель со встроенным змеевиком	1
15	Колонна ректификационная	1
16	Колонна ректификационная	1
17	Теплообменник-конденсатор	1
18	Блок емкостей	1

Обозначение материальных потоков

Сырье
Легкие УВ-фракции
Дизельные фракции
Отработанные жидкие углеводороды
Воздух
Вода холодная
Вода горячая
Парогазовая смесь
Водный слой
Органический слой
Отходящие газы

Рисунок 5.13 — Технологическая схема газификации углеводородсодержащих отходов в соответствии с технологией Г19-1 (см. таблицу 5.5)

5.3.4 Технологические процессы на базе комбинации методов термического обезвреживания

Примером реализации комбинированных методов в отечественной практике являются технологические системы, представленные на рисунках 5.14, 5.15 и 5.16, исполненные в соответствии с техническими решениями И23-4, И23-2, И21-1 (см. таблицу 5.5) соответственно.

Каждая из них выполнена с учетом базовых и специальных НДТ, приведённых в европейских справочниках НДТ.

И23-4 (см. таблицу 5.5) предназначена для обезвреживания осадков водоочистных сооружений и избыточного активного ила. Процессу термического обезвреживания предшествует обработка на ленточном фильтр-прессе. В блоке 3 проводится пиролиз, в 4 — термодесорбция. Отбивка золы уноса выполняется блоком циклонов. Пирогазы обезвреживаются в блоке 6 (см. рисунок 5.14) с последующей парогенерацией. Очистка дымовых газов реализуется в рукавных фильтрах с предварительным впрыском активных сорбентов.

Технология (см. рисунок 5.15) реализуема для обезвреживания нефтяных шламов и осадков очистных сооружений.

Сжиганию в кипящем слое предшествует декантация на трехфазной центрифуге и декантере. Процесс может быть полностью автоматизирован.

Для реализации критерия «Ресурсо- и энергоэффективности» имеется техническая возможность. Например, использование тепла частично ведется для нагрева воздуха, подаваемого в зоны горения для целей сокращения ресурсопотребления.

Для эксплуатации технологического комплекса требуется топливо (возможно, некондиционное), сорбенты и песок для периодической замены кипящего (псевдоожиженного) слоя ввиду его старения.

Технологический процесс И21-1 реализуем для многотоннажного обезвреживания различных отходов (см. рисунок 5.16).

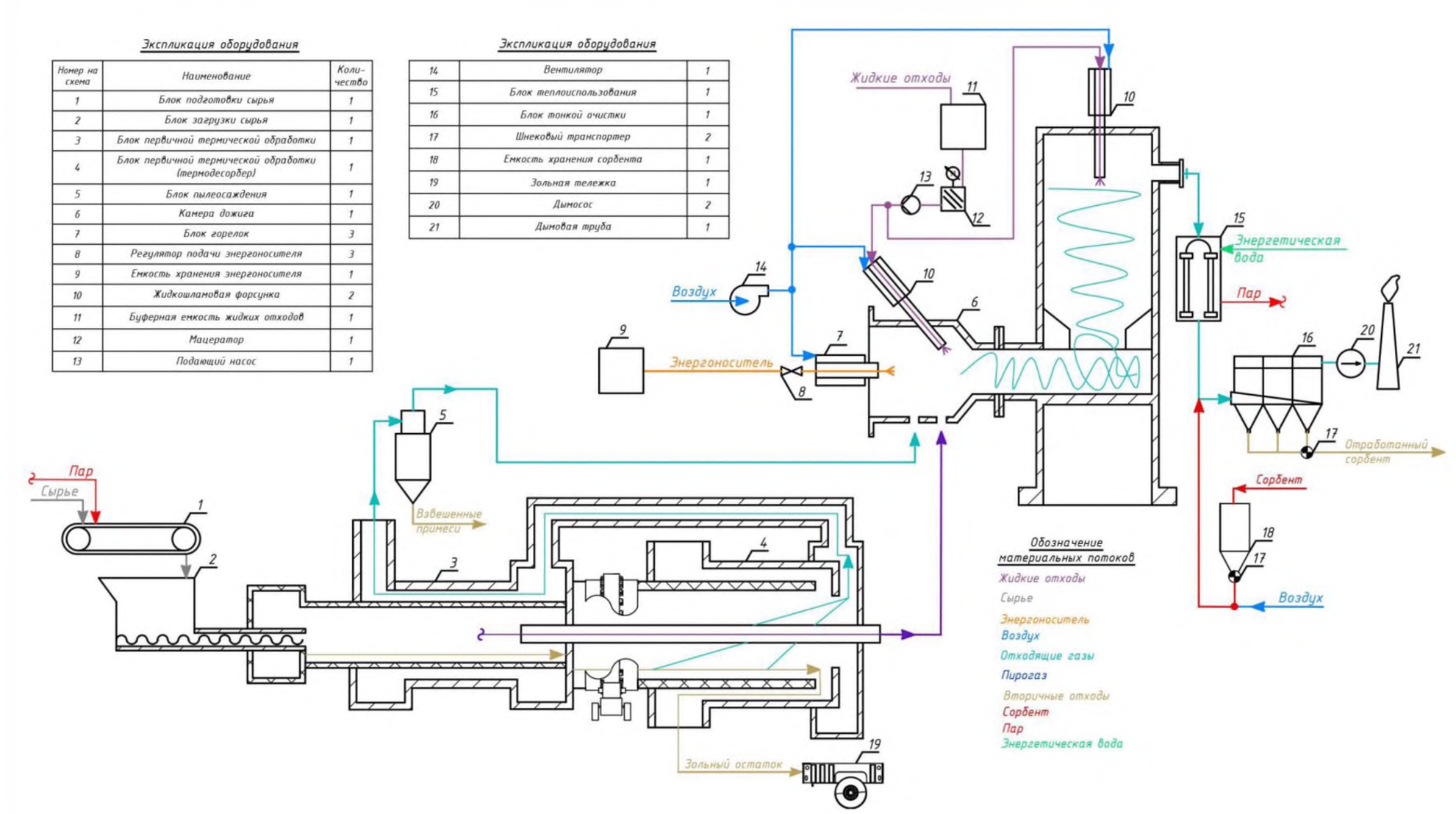
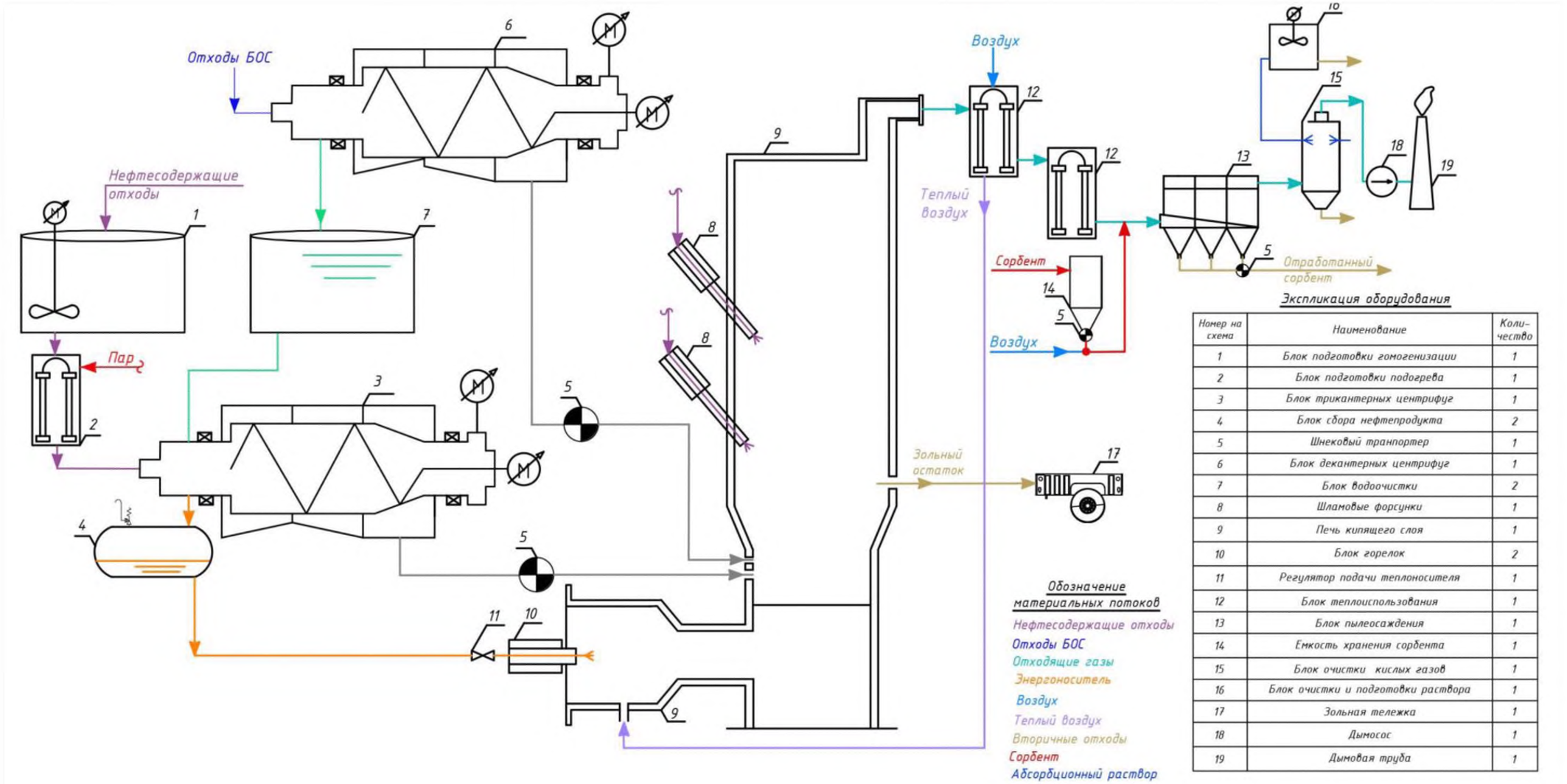


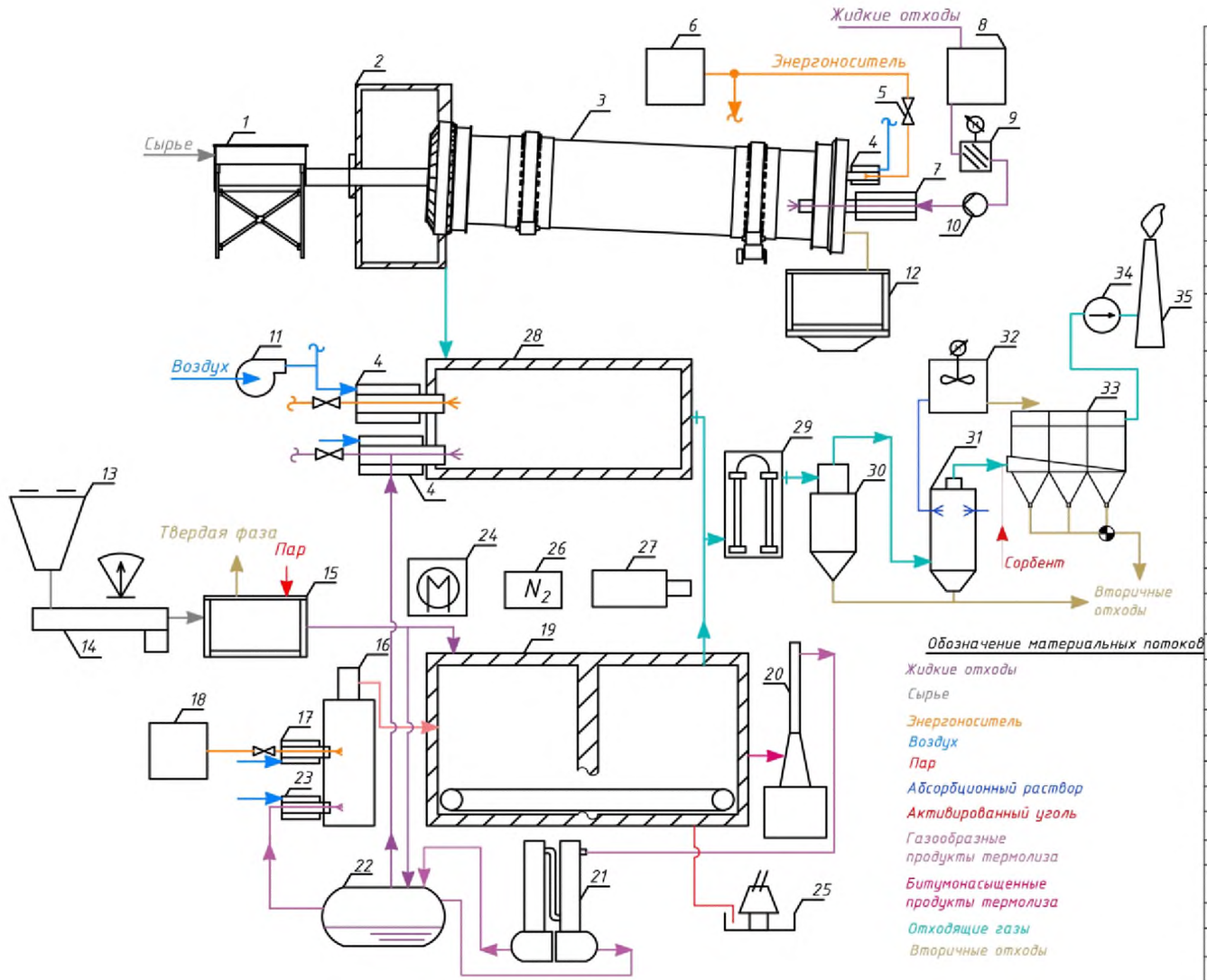
Рисунок 5.14 — Технологическая схема комбинации пиролиза, термодесорбции, сжигания в соответствии с технологией И23-4 (см. таблицу 5.5)



Экспликация оборудования

Номер на схема	Наименование	Коли-чество
1	Блок подготовки гомогенизации	1
2	Блок подготовки подогрева	1
3	Блок трикантерных центрифуг	1
4	Блок сбора нефтепродукта	2
5	Шнековый транпортер	1
6	Блок декантерных центрифуг	1
7	Блок водоочистки	2
8	Шламовые форсунки	1
9	Печь кипящего слоя	1
10	Блок горелок	2
11	Регулятор подачи теплоносителя	1
12	Блок теплоиспользования	1
13	Блок пылеосаждения	1
14	Емкость хранения сорбента	1
15	Блок очистки кислых газов	1
16	Блок очистки и подготовки раствора	1
17	Зольная тележка	1
18	Дымосос	1
19	Дымовая труба	1

Рисунок 5.15 — Технологическая схема комбинации физико-химической обработки отходов и сжигания в соответствии с технологией И23-2 (см. таблицу 5.5)



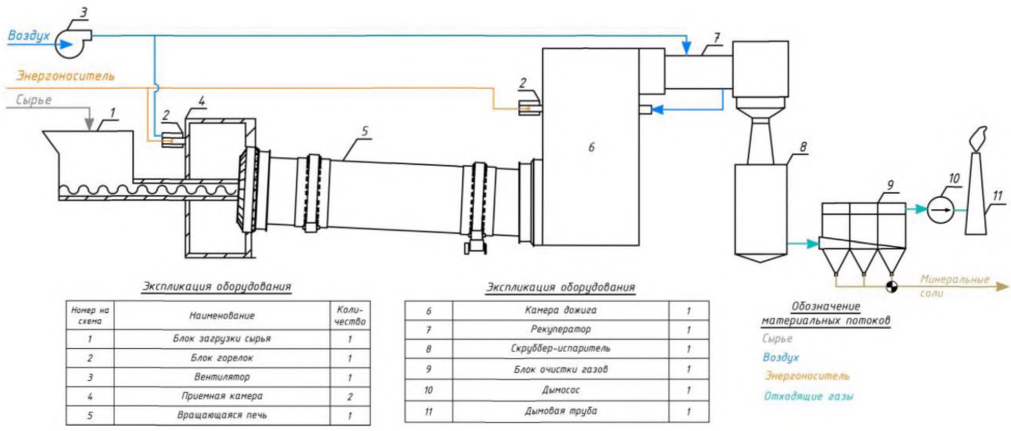
Экспликация оборудования

Номер на схема	Наименование	Коли-чество
1	Блок загрузки сырья	1
2	Приемная камера	1
3	Вращающаяся печь	1
4	Блок горелок	2
5	Регулятор подачи энергоносителя	1
6	Емкость хранения энергоносителя	1
7	Жидкошламовая форсунка	1
8	Буферная емкость жидких отходов	1
9	Мацератор	1
10	Подающий насос	1
11	Вентилятор	1
12	Золосборник	1
13	Блок загрузки сырья	1
14	Узел дозирования	1
15	Контейнер для обработки парам крупной твердой фазы	1
16	Топка сжигания термолизных газов	1
17	Блок горелок термолиза	2
18	Емкость для топлива	1
19	Реактор термолиза	1
20	Конденсатор битума	1
21	Конденсатор газообразных продуктов термолиза	1
22	Накопительный отстойник жидкой фракции	1
23	Блок горелок для термолизных газов	1
24	Парогенератор	1
25	Система охлаждения (градирня)	1
26	Система продувки азотом	1
27	Система аварийного сжигания	1
28	Блок дожига	1
29	Блок теплоиспользования	1
30	Блок пылеосаждения	1
31	Блок очистки кислых газов	1
32	Блок очистки и подготовки раствора	1
33	Блок тонкой очистки	1
34	Дымосос	1
35	Дымовая труба	1

Рисунок 5.16 — Технологическая схема комбинации пиролиза и сжигания в соответствии с технологией И21-1 (см. таблицу 5.5)

5.4 Технические аспекты НДТ в области термического обезвреживания отходов

Использование вращающихся печей довольно широко распространено в отечественной практике. Пример реализации сжигания с помощью такой конструкции показан на рисунке 5.17.



Экспликация оборудования

Номер на схема	Наименование	Количество
1	Блок загрузки сырья	1
2	Блок горелок	1
3	Вентилятор	1
4	Приемная камера	2
5	Вращающаяся печь	1

Экспликация оборудования

6	Камера дожига	1
7	Рекуператор	1
8	Скруббер-испаритель	1
9	Блок очистки газов	1
10	Дымосос	1
11	Дымовая труба	1

Рисунок 5.17 — Технологическая схема огневого обезвреживания пришедших в негодность пестицидов

Для эффективного, энерго- и ресурсосберегающего процесса обезвреживания коммунальных отходов и других шламов известно использование двухкамерной вращающейся трубчатой печи (И23-4). Траектория движения шлама (см. рисунок 5.18) позволяет минимизировать недожог органических составляющих в зольном остатке (шлаке). Путь дымовых газов интересен с точки зрения стабилизации нагрузок на футеровки печей и обеспечения реализации ресурсосберегающего процесса.

В качестве примера НДТ может рассматриваться схема слоевого колосникового сжигания ТКО. В ней может быть организована система генерации электрической энергии.

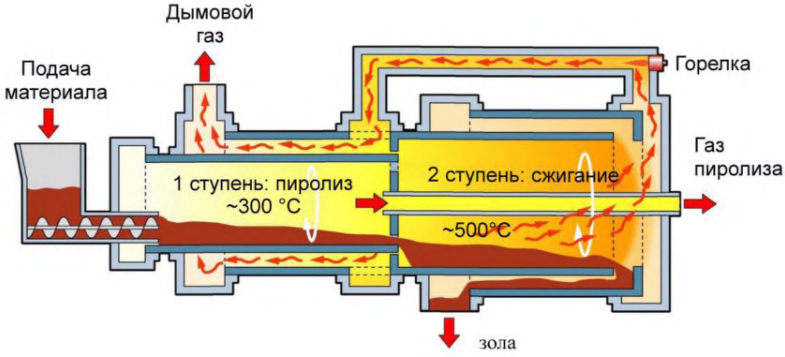


Рисунок 5.18 — Пример оборудования для высокотурбулентного сжигания отходов и дожигания пирогазов (П23-3В) (см. таблицу 5.5)

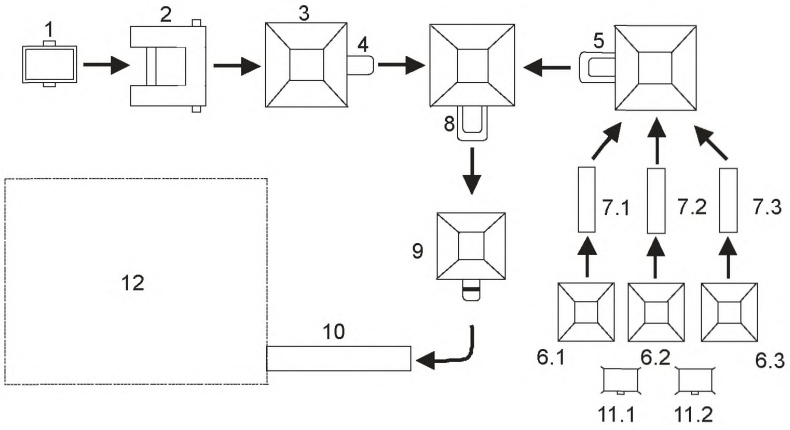
Факторами, определяющими эффективность обезвреживания, является температура процесса и соотношение компонентов горения. Температура процесса обезвреживания зависит от состава отходов и находится в интервале от 850 °С до 1300 °С. При рабочих температурах 850 °С — 900 °С подавляющее большинство органических соединений (спирты, кислоты, альдегиды, кетоны) становятся термически нестойкими. Для термического обезвреживания отходов, содержащих циклические, хлорорганические соединения, полимеры, требуется температура 1000 °С — 1300 °С, которая может создаться в вихревом дожигателе дымовых газов (Г13-1, С15-4Ц (см. таблицу 5.5)) при одновременной нейтрализации галогенов путем введения нейтрализующих добавок. В качестве технической альтернативы настоящему устройству может рассматриваться: устройство типа циклонный дожигатель П23-3В, И23-4 (см. таблицу 5.5 и рисунок 5.19).

Стоит отметить, что в результате реализации на практике настоящего подхода получают материал для устройства амбаров (футеровки его стенок и подготовки к дальнейшему использованию).



Рисунок 5.19 — Пример конструкции и принципа работы оборудования для высокотурбулентного сжигания отходов и дожигания пирогазов (П23) (см. таблицу 5.5)

Обеспечение стадии подготовки твердых отходов (сырья для установки термического обезвреживания) для придания получаемым продуктам и материалам определенных характеристик представлено на рисунке 5.20.



1 — приемный бункер для твердой фазы отходов бурения; 2 — устройство подачи отходов из приемного контейнера в приемный бункер (опрокидыватель, скиповый подъемник — в зависимости от комплектации); 3 — приемный бункер; 4 — шнековый подаватель отходов; 5 — двухвальный смеситель сухих добавок; 6.1, 6.2, 6.3 — мерные приемные бункера добавок; 7.1, 7.2, 7.3 — шнеки-дозаторы подачи добавок; 8 — двухвальный смеситель для смешения отходов с добавками; 9 — гранулятор (в зависимости от комплектации); 10 — ленточный транспортер; 11.1, 11.2 — растариватель сыпучих материалов; 12 — площадка хранения и отгрузки готовой продукции

Рисунок 5.20 — Принципиальная схема установки по подготовке твердой фазы отходов бурения с целью получения смеси для последующего обжига (С12-2)

Наличие в конструкции печи дополнительных технологических отверстий, которые могут быть использованы для опытно-промышленных испытаний, пусконаладочных работ и дополнительного мониторинга процесса на различных стадиях модернизации является важным аспектом реализации технологий термического обезвреживания в соответствии с принципами НДТ.

5.5 Технологические показатели наилучших доступных технологий

Установка для термического обезвреживания отходов должна представлять собой совокупность оборудования, обеспечивающего загрузку и подачу отходов, их термическое обезвреживание, очистку и удаление дымовых газов, выгрузку золы и продуктов газоочистки (в том числе летучей золы).

Модернизация существующих производственно-технических комплексов по термическому обезвреживанию отходов с заменой основного оборудования при внедрении НДТ может потребовать значительно больших затрат, чем использование оборудования, спроектированного в соответствии с установленными технологическими показателями НДТ.

При этом под внедрением НДТ понимается ограниченный во времени процесс проектирования, реконструкции, технического перевооружения объектов, оказывающих негативное воздействие на окружающую среду, установки оборудования, а также применения технологий, которые описаны в опубликованных информационно-технических справочниках НДТ и (или) показатели воздействия на окружающую среду которых не должны превышать установленные технологические показатели НДТ.

Выбор и внедрение НДТ направлены на обеспечение комплексного подхода к предотвращению или минимизации техногенного воздействия и базируются на сопоставлении эффективности планируемых мероприятий по охране окружающей среды с установленными затратами, которые должен при этом нести субъект хозяйственной и иной деятельности для предотвращения или минимизации оказываемого им воздействия на различные природные среды.

Для определения НДТ учитывается комбинация критериев достижения целей охраны окружающей среды и энерго- и ресурсоэффективности, а именно:

- наименьший уровень негативного воздействия на окружающую среду в расчете на единицу времени и общая (проектная и фактическая) производительность основного оборудования (сушка, сжигание, пиролиз (низко- и высокотемпературный), газификация, плазменный метод (отдельно и (или) в сочетании технологических процессов));

- экономическая эффективность ее внедрения и эксплуатации в соответствии с перечнем обезвреживаемых отходов по классам опасности;

- использование ресурсо- и энергосберегающих методов с учетом ограничений на применение;

- период ее внедрения с учетом характера модернизации;

- промышленное внедрение этой технологии на двух и более объектах, оказывающих негативное воздействие на окружающую среду.

Наименования внедренных технологий, техники и оборудования термического обезвреживания представлены в таблице 5.5.

Таблица 5.5 — Наименование внедренных технологий, техники и оборудования термического обезвреживания

Шифр	Наименование технологии, техники, оборудования	Количество инсталляций	Производительность, менее, т/ч	Сырье	Технические и технологические решения
1	2	3	4	5	6
С1-1	Установки по переработке отходов производства	1	45000 т/год	3 13 000 00 00 0 4 06 000 00 00 0 4 42 500 00 00 0 4 43 000 00 00 0 9 19 201 00 00 0 9 19 204 00 00 0 9 21 300 00 00 0	Насосное оборудование, теплообменное оборудование, аппарат воздушного охлаждения, блоки емкостей, радиантно-конвективные печи, печи с горизонтальным расположением труб, коробчатые типы печей, диффузионные горелки, фильтры
С2-1П	Комплекс термического обезвреживания отходов КТО-50.К40.П, КТО-50.К20.П, КТО-50.БМ.П	Более 15	0,05 (т) 0,021 (ж)	4 05 000 00 00 0 4 06 000 00 00 0 4 42 500 00 00 0 7 22 200 00 00 0 7 31 000 00 00 0 7 33 000 00 00 0 7 36 000 00 00 0 9 11 000 00 00 0 9 21 000 00 00 0 9 19 200 00 00 0, медицинские отходы	Подовая печь, загрузочный люк, горелки, форсунки подачи жидких отходов (в зависимости от комплектации), устройство выгрузки зольного остатка, сборник зольного остатка, ворошители (при необходимости)
С2-2П	КТО-100.К40.П КТО-100.МК	2	0,1		
С2-3П	КТО-150.3.П КТО-150.БМ.П	3	0,15		
С2-4В	КТО-1000.3.В / КТО-1000.Ш	2	1		Барабанная вращающаяся печь, шиберная заслонка, загрузочный люк, горелки, форсунки подачи жидких отходов (в зависимости от комплектации), устройство выгрузки зольного остатка, сборник зольного остатка, толкатель
С2-5Ц	КТО-1000.БМ.КСЖ / КТО-1000.БМ.Ц	4	1	-«-	Циклонный реактор, горелки (тангенциально расположенные), форсунки подачи жидких отходов (в зависимости от комплектации), пылесборник (или камера солеотложения)
	КТО-1000-ПС.НГМ / КТО-1000.БМ.Ц		1		
	КТО-800.3.Ц		0,8		
	КТО-10Т.ХБПС.БМ		10		

1	2	3	4	5	6
С3-1	Сжигание на механической колосниковой решетке			7 30 000 00 00 0 7 40 000 00 00 0	Сжигание и газоочистка, выработка электроэнергии, нейтрализация продуктов газоочистки
П4-1	Термолизная переработка нефтешламов	2	0,5	3 08 000 00 00 0 4 06 000 00 00 0 7 41 500 00 00 0 9 19 200 00 00 0 9 19 201 00 00 0 9 31 000 00 00 0	Блок приема и загрузки отходов, реактор термолиза, теплообменник-сепаратор, система конденсации, скруббер, градирня, дымосос, труба
С5-1В	Установка переработки шламов УПНШ-05	1	8,4	2 91 100 00 00 0 7 41 500 00 00 0 9 19 200 00 00 0	Барабан термической переработки, горелка жидкотопливная
С6-1В	Установка утилизации нефтешламов УУН-0,8	1	6	9 19 201 00 00 0 9 31 000 00 00 0	Печь отжига (вращающаяся камера сжигания и станина), загрузочное устройство, горелка, воздуходувка, бак топливный, циклон для очистки отходящих газов, скруббер, блок водоподготовки, дымосос, труба
С6-2С	Установка для сжигания нефтесодержащих, промышленных и бытовых отходов «Факел-1М»	2	0,06	4 40 000 00 00 0 4 42 500 00 00 0 8 92 000 00 00 0 9 19 200 00 00 0	Станина, вентиляционный блок (центробежный вентилятор и двигатель), лебедка для перемещения эжекторной камеры сгорания, внутренний патрубок подачи воздуха в зону горения, труба, бочка, закрытая кожухом
С7-1С	Установка для сжигания нефтесодержащих, промышленных и ТБО «Факел-Э»	Более 2	0,07	4 40 000 00 00 0 4 42 500 00 00 0 8 92 000 00 00 0 9 19 200 00 00 0	Камера сгорания с устанавливаемой крышкой (крышка имеет патрубок для подвода воздуха в камеру сгорания и дожига), камера дожига сверху через сетку (искроудерживающая решетка, искрорассеиватель), гибкие воздушные шланги, шибер
С7-2С	Установка для сжигания нефтесодержащих, промышленных и ТБО «Факел-МЭ»	Более 2	0,03		
П8-1Н	Установка термической деструкции УТД-1	Более 1	0,1–1,5	2 91 100 00 00 0 3 30 000 00 00 0	Загрузочное устройство, блок пиролиза, блок емкостей, блок конденсации, блок

1	2	3	4	5	6
П8-2Н	Установка термической деструкции УТД-2	Более 1	1	4 30 000 00 00 0 7 41 500 00 00 0 9 19 200 00 00 0	горелок (на пиролизном топливе и первичных энергоносителях), охлаждения газов, выгрузка остатка, дымосос, труба дымовая
С9	Установка демеркуризации ртутьсодержащих отходов УДМ-300	Более 20	0,05	Ртутьсодержащие отходы	Контейнер, дозатор-дробилка, нагреватель печи, шнековая печь, дожигатель, конденсатор, адсорбер, вентмодуль, конвейер, сепаратор
С10-1	Печь трубчатая вращающаяся № 1 Установка репульпатора	1	2	Ртутьсодержащие отходы	Обжиг во вращающейся печи, циклон, конденсатор ртути, реагентная очистка, кондиционирование, обжиг шлама
Г11-1	Вихревой газогенераторный агрегат ГГВ-3000 в составе технического комплекса переработки ТБО	НИОКР	1,5	7 30 000 00 00 0 7 40 000 00 00 0	Термическая конверсия при недостатке кислорода, сортировка, сушка хвостов ТБО, измельчение, вихревая газификация хвостов ТБО, очистка и охлаждение газа
С12-1	Установка термической ликвидации сточных вод УТЛСВ	1	10–50	2 12 000 00 00 0 2 91 100 00 00 0	Подача жидкой фазы отходов бурения в распыленном парообразном состоянии в пламя факела при отработке газовых и газоконденсатных скважин
С12-2	Установка по переработке шламов и буровых отходов мобильная СБШ100	1	10	2 12 000 00 00 0 2 91 100 00 00 0	Приемный контейнер, устройство подачи отходов, приемный бункер, шнековый подаватель отходов, блок подготовки добавок, двухвальный смеситель, гранулятор, ленточный транспортер, растариватель материалов и площадка хранения продукции
С12-3	Мобильная модульная установка переработки буровых шламов ММУП БШ 500	1		2 12 000 00 00 0 2 91 100 00 00 0	Первичная переработка (подготовка) буровых шламов
Г13-1	Дожигатель газов регенеративный ДГР-0,5, ДРГ-5, ДРГ-10, ДРГ-20	1	4000–6000 $м^3$/ч	Газы	Вихревая печь с регенерацией тепла

1	2	3	4	5	6
С14-1В	Установка для утилизации замазученных грунтов с жаростойкой камерой сгорания УЗГ-1МГЖ	Более 2	6	2 91 220 01 29 3 4 14 100 00 00 0 7 23 101 01 39 4 9 19 201 00 00 0 9 21 130 02 50 4	Загрузка, топливный бак, ПУ, вращающаяся печь, коробка скоростей, дымосос, циклон, бак с водой, скребковый конвейер, горелка, взрывной клапан, рама, регулятор опоры, дымовая труба
С14-2В	Установка для утилизации замазученных грунтов буровых шламов окалины и пропантов УЗГ-1м	Более 2	6	2 12 000 00 00 0 2 91 100 00 00 0 7 23 101 01 39 4 9 211 30 02 50 4	
С15-1П	Инсинератор ИН-50.02, ИН-50.02М, ИН-50.02К, ИН-50.02КМ	36	0,05 (т) 0,025 (ж)	2 91 100 00 00 0 3 07 000 00 00 0 3 08 000 00 00 0 3 13 000 00 00 0 3 15 000 00 00 0 3 18 100 00 00 0 3 61 000 00 00 0	Камера сжигания, горелка, бак для дизельного топлива, скруббер, дымосос, дымовая труба, пульт управления. В комплектации М — бак для дизельного топлива, вентилятор, компрессор, бак для нефтешламов, фильтр, насос, шламовая форсунка
С15-2П	Инсинератор ИН-50.1 (М),	6	0,10	4 05 000 00 00 0 4 06 000 00 00 0 4 17 000 00 00 0 4 35 000 00 00 0 4 38 000 00 00 0 4 42 500 00 00 0 4 43 000 00 00 0	Камера сжигания, горелка, бак для дизельного топлива, вентилятор, скруббер, дымосос, дымовая труба, пульт управления. В комплектации М — бак для дизельного топлива, вентилятор, компрессор, бак для нефтешламов, фильтр, насос, шламовая форсунка
	ИН-50.2, -50.2М, -50.2К, -50.2КМ,	3			
С15-3В	ИН-50.2КВ, -50.2КВМ	ОКР	0,10	7 22 200 00 00 0 7 23 000 00 00 0 7 33 000 00 00 0 7 41 000 00 00 0 8 26 000 00 00 0 8 41 000 00 00 0 8 42 101 02 21 4 8 91 000 00 00 0 9 11 000 00 00 0	Загрузочное устройство, транспортер, дробилка, вращающаяся печь, камера дожигания, теплообменник, устройство съема тепла, циклон, установка скруббера, рукавный фильтр, дымосос, дымовая труба, пульт управления; в комплектации М — бак для дизельного топлива, вентилятор, компрессор, бак для нефтешламов, фильтр, насос
	Инсинератор ИН-50.4, -50.04М, -50.4КВ, -50.4КВМ, -50.4В, -50.4ВМ	6	0,30		
	ИН-50.5, -50.5М, -50.5В, -50.5ВМ, -50.5ВМЦ	5	0,50		
	ИН-50.6, -50.6М, -50.6В, -50.6ВМ, -50.6КВ	2	1,00		
	ИН-50.7В, -50.7ВМ, -50.7ВМЦ	2	2,00		

1	2	3	4	5	6
	ИН-50.8.8В, -50.8ВМ	ОКР	Более 3,00	9 19 000 00 00 0 9 21 000 00 00 0 9 31 000 00 00 0 Медицинские отходы	нефтешламов, шламовая форсунка
С15-4Ц	ИН-50.5-ВМЦ, ИН-50.5КЦ, ИН-50.6ВМЦ	3	1,00	Те же и 3 30 000 00 00 0	-«- циклонно-вихревой реактор
С16-1С	Установка по утилизации биологических, промышленных и бытовых отходов, нефтешлама (инсинератор) Инсинераторная установка ИУ-80	1	0,18	4 05 000 00 00 0 4 05 900 00 00 0 4 06 000 00 00 0 9 19 201 00 00 0 9 19 204 00 00 0 9 21 000 00 00 0 Медицинские отходы (А, Б)	Камера сжигания, крышка с камерой дожигания, выходная труба, механизм подъема крышки, люк для выгреба золы, шиберная заслонка, горелка дизельная, вентиляторы, панель управления с местом для хранения горелки дизельной, рама металлическая, топливный бак, зонт
Г17-1	Печь сжигания отходов производства	1	6,3 $м^3$/ч	3 10 100 00 00 0 3 10 101 00 00 0 3 13 000 00 00 0 4 06 000 00 00 0 7 20 000 00 00 0	Раздельное накопление отходов, термическое уничтожение разнообразных отходов производства в пламени природного газа
С18-1П	Сжигание замасленного шлама и приготовление раствора дифенилоксида	1	150,6 т/г	4 14 000 00 00 0	Камерная печь, предотвращение выброса вредных веществ с помощью масляного затвора, работа в атмосфере азота
Г19-1	Установка газификации углеводородсодержащих отходов	1	3	3 08 000 00 00 0 3 61 222 02 31 4 4 06 000 00 00 0 7 23 000 00 00 0	Реагентная подготовка, шнековая загрузка, бункер реактора, циклон, теплообменники, абсорбционная очистка, дистилляция синтез-газа
С20-1С	Установка для сжигания отходов «Форсаж-1»	8	0,05	4 05 000 00 00 0 4 05 900 00 00 0 4 06 000 00 00 0 9 19 201 00 00 0 9 19 204 00 00 0 9 21 000 00 00 0	Транспортная тележка с ремиверной камерой, крышка с камерой дожигания, первичная камера сжигания (бочка 200 л), труба, воздуховодный металлорукав, стержень для перемешивания сжигаемых отходов

1	2	3	4	5	6
С20-2С	Установка для сжигания промышленно-бытовых отходов «Форсаж-2»	2	0,10		-«-
С20-3С	Установка для сжигания отходов «Форсаж-2М»	2	0,18		Камера сжигания, расположенная на опорной раме, крышка с камерой дожигания, ПУ, горелка дизельная, рукава воздуховодные, труба, механизм подъема крышки, поворотный механизм
И21-1	Комплекс термической утилизации КТУ-1000, КТУ-2000	2	2 (т) 1 (ж)	Аналогично С15 и также 1 14 100 00 00 0 1 14 120 00 00 0 1 14 141 00 00 0	Первичная термодеструкция, камера дожига, теплообменники, пропаривание, термолиз, конденсирование, сепарация, блок горелок, газоочистное оборудование, дымосос, дымовая труба
П22-1Н	Установка по переработке резиносодержащих отходов и ветоши УПОР-1	1	5 т/сут	9 19 201 00 00 0 9 19 204 00 00 0 9 21 000 00 00 0	Блок загрузки, колосник, бункер загрузки, люк выгрузки, конденсатор (теплообменная колонна), адсорбер (насадочная колонна тонкой очистки), центробежный сепаратор аэрозолей, газовая горелка, циклон, вентилятор, дымосос, дымовая труба
С23-1П	Печь периодического действия	1	0,5	Химическое оружие, твердые и пастообразные отходы	Печь периодического действия — чамбустор, горелка, блок теплоиспользования, рукавный фильтр (с возможностью предварительного впрыска сорбентов), охладитель, дымосос, дымовая труба
И23-2	Механическая и термическая утилизация нефтешламов Печь с кипящим слоем	1	3	3 08 000 00 00 0 4 06 000 00 00 0 7 22 200 00 00 0 7 23 000 00 00 0 9 19 201 00 00 0 9 31 000 00 00 0	Блок подготовки, блок центрифуг, блок гомогенизации, теплообмена, печь с кипящим слоем, блок горелок, шламовые форсунки, блок теплоиспользования, рукавный фильтр, охладитель и скруббер вентури, дымосос, дымовая труба

1	2	3	4	5	6
П23-3В	Установка вращающейся трубчатой печи	1	2		-«- Шнековое загрузочное устройство, вращающаяся трубчатая печь, циклон, камера дожигания (турабустор), блок теплоиспользования или паровой котел и электрогенератор, скруббер
И23-4	Термическая утилизация городских стоков	1	4	7 22 200 00 00 0 7 23 000 00 00 0 9 31 000 00 00 0	Обезвоживание шлама в сушилке на базе ленточного фильтр-пресса, Двухкамерная вращающаяся трубчатая печь (пиробустор), циклон, камера дожигания (турабустор), масляный теплообменник, дозирование сорбентов, рукавный фильтр, дымосос,
С24-1С	Мусоросжигательная установка СВ 128SW-L	1	0,3	4 05 000 00 00 0 4 05 900 00 00 0 4 06 000 00 00 0 9 19 201 00 00 0 9 19 204 00 00 0 9 21 000 00 00 0	Камера сжигания, камера дожигания, блок горелок, дымовая труба; работа в автоматическом режиме, использование УФ-датчиков пламени, реле регуляторов пламени горелок, форсунок
С25-1	Печи сжигания твердых и жидких отходов General combusution A1214/G 1958	1	2,5 т/сут 0,0005 т/ч	4 14 000 00 00 0 4 42 500 00 00 0 4 43 000 00 00 0 7 23 000 00 00 0 9 19 204 00 00 0	Печь сжигания твердых и жидких отходов, дымосос, закалочный бак, скруббер Вентури, туманоосадитель
С26-1П	Мобильный инсинератор Hurikan-150	1	0,15	7 30 000 00 00 0 8 41 000 00 00 0 9 21 000 00 00 0 4 05 000 00 00 0 3 08 220 00 00 0	Камера сжигания, камера дожигания, горелки, вентилятор, подподовый золосборник, пульт управления, портативный электрический генератор
С27-1Ц	Схема обезвреживания кубовых остатков и промстоков		1,3 (т) 0,006 (ж)	3 10 100 00 00 0 3 13 000 00 00 0	Циклонная печь, автоматизация технологического процесса

Для определения технологических показателей НДТ были проанализированы представленные в анкетах текущие уровни выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух от российских объектов обезвреживания отходов термическим способом, являющиеся существенным экологическим аспектом данного вида деятельности, соответствующие европейские технологические показатели. Как уже говорилось в подразделе 3.1, текущие уровни выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух от российских объектов по всем показателям ниже установленных европейских, по отдельным показателям – значительно ниже. Эксперты, члены технической рабочей группы, проводившие анализ исходной информации, содержащейся в анкетах предприятий, пришли к общему выводу о том, что большинство предприятий информацию о текущих уровнях воздействия на окружающую среду представили на основании результатов опытно-промышленной эксплуатации установок, когда условия эксплуатации наиболее благоприятны. В связи с этим принято решение предложить технологические показатели НДТ для российских объектов обезвреживания отходов термическим способом на уровне европейских технологических показателей, кроме показателей по выбросам углеводородов предельных C_{12}-C_{19} и бенз(а)пирену, которые установлены по верхней границе текущих выбросов (см. таблицу 5.6).

Таблица 5.6 – Предложения по установлению технологических показателей

№ п/п	Перечень технологических показателей	Уровни выбросов в соответствии с данными анкет, мг/м^3	Европейские технологические показатели (по Европейскому справочнику НДТ), мг/м^3	Предложения по установлению технологических показателей, мг/м^3
1	NOx	30-100	200	200
2	серы диоксид	1-40	50	50
3	углерода оксид	5-30	50	50
4	углеводороды предельные C_{12}-C_{19}	1-10	-	10
5	углерод (сажа)	<10	10	10
6	взвешенные вещества	1-5	10	10
7	бензапирен, нг/м3	0,001	-	0,001
8	хлористый водород	1-8	10	10
9	фтористый водород	< 1	1	1
10	диоксины, нг/м3	0,01-0,05	0,1 нг/м3	0,1 нг/м3
11	ртуть и ее соединения	0,001-0,02	0,05	0,05
12	Cd + Tl	0,001-0,03	0,05	0,05
14	сумма остальных тяжелых металлов	0,005-0,05	0,5	0,5

Аналитический контроль (лабораторный, автоматический) по основным стадиям технологического процесса термического обезвреживания отходов различными методами проводится в соответствии с таблицей 5.7.

Таблица 5.7 — Аналитический контроль технологического процесса

№ п/п	Наименование стадий процесса, анализируемый продукт	Контролируемые показатели	Нормативные документы на методы измерений (испытаний контроля, анализов)
1	2	3	4
1	Стадия загрузки отходов, отходы различного класса опасности	Определение химического состава отходов	Хромато-масс-спектрометрический
		- содержание воды, %	РД 39-0147098-015—90
		- содержание ртути в отходах	Хромато-масс-спектрометрический
		- содержание мышьяка	Хромато-масс-спектрометрический
		Радиологический контроль, Бк/кг	ГОСТ 30108—94
		Крупногабаритные предметы	Визуальный контроль
		Емкости под давлением	
		Толстостенные металлические предметы	
2	«Мокрая» очистка газовых выбросов, техническая (грунтовая) вода	Общее солесодержание, мг/л	ГОСТ Р 52963–2008
		pH, в пределах	ГОСТ Р 52963—2008
		некарбонатная жесткость, мг-экв/л	ГОСТ Р 52407—2005
3	«Мокрая» щелочная очистка газовых выбросов, сточные воды	Взвешенные вещества, г/л	ГОСТ 3351—74
		Сульфат натрия, г/л, не более	ГОСТ Р 52964—2008
		Хлорид натрия, г/л, не более	ГОСТ 4245—72
4	Золоудаление, зольный остаток	Содержание нефтепродуктов, мг/кг, не более	РД 39-0147098-015—90
5	«Мокрая» очистка газовых выбросов, орошающий раствор	pH	ГОСТ Р 52963—2008
6	Контроль маркерных загрязняющих веществ в выбросах в атмосферный воздух	Согласно таблице 3.2	

Каждая из перечисленных в разделе 5 НДТ имеет преимущества и недостатки, поэтому выбор конкретного метода обезвреживания отходов следует вести с учетом многих факторов и показателей, наиболее важными из которых являются:

- капитальные и эксплуатационные затраты;

- технико-экономические показатели работы оборудования и неизменность себестоимости производимых работ или продукции с учетом вносимых изменений в технологию производства;

- экологические показатели конкретного метода переработки;

- практическая возможность внедрения данного метода в условиях конкретного производства;

- возможность утилизации образующихся побочных продуктов от утилизации основного первоначального отхода на самом предприятии без увеличения негативной техногенной нагрузки на окружающую среду;

- сведение к минимуму практической вероятности аварийного или опасного состояния работы предприятия.

Производительность установок может превышать 3 т/ч. Это одновременно увеличивает риск ослабления входного контроля отходов и ведет к увеличению объемов дымовых газов, что в свою очередь определяет повышенную нагрузку на оборудование очистки отходящих газов. Реализация таких технологий должна выполняться с коэффициентом запаса, для чего могут использоваться параллельные линии с одинаковым оборудованием для равномерного распределения нагрузок и (или) резервных линий, переключение на которые может выполняться автоматически и (или) в ручном режиме.

Экологическая эффективность термического обезвреживания отходов, содержащих токсичные компоненты, обеспечивается поддержанием некоторых параметров:

- температурный уровень процесса — более 800 °С (в барабанной печи), 1200 °С — 1250 °С (в камере дожигания);

- время пребывания газов при указанной температуре — более 2 с;

- эффективное турбулентное перемешивание горящих отходов и газов.

Установки могут работать под разрежением и обеспечивают термическое обезвреживание отходов с температурным режимом 850 °С — 1250 °С.

Применение НДТ обеспечивает выполнение данных условий, предотвращает образование суперэкотоксикантов (фураны, бенз(а)пирен и др.), понижает класс опасности отходов после обезвреживания.

Общая оптимизация и взаимодействие между элементами систем газоочистки (а также остальными частями процесса сжигания отходов) важны как для новых, так и для существующих установок. Для существующих варианты их модернизации могут быть ограничены по сравнению с новыми установками такими причинами как необходимость расширения производственных помещений, вероятность нарушения герметичности блоков заводской готовности при замене отдельных элементов установки и т.п.

Сравнение альтернативных технических решений позволяет выявить присущие методу мокрой очистки характеристики:

- самые низкие уровни потребления реагентов;
- самые низкие уровни образования твердых остатков;
- повышенное потребление воды;
- образование стоков, которые требуют управления;
- повышенная видимость шлейфа загрязнений;
- накопление ПХДД/ПХДФ (эффект памяти) на пластиковых компонентах скруббера требует принятия мер;
- если температура на выходе слишком высокая, материал, используемый в конструкции мокрого скруббера, может быть разрушен.

На существующих установках такие изменения потребуют детальной переоценки процесса очистки дымовых газов, уделяя особое внимание распределению и использованию тепла.

Перспективно также реализовывать комбинацию мероприятий, предусматривающих более длительное воздействие при термическом обезвреживании, повышение температур в камере сгорания, интенсификацию механического перемешивания отходов.

Экономическая эффективность процесса возрастает с повышением надежности и увеличением срока эксплуатации оборудования, а также с внедрением дополнительных технологий по выпуску сертифицированной продукции (топлива, строительных материалов и т.д.).

Возможность комплектации установки системой рекуперации тепла и или выработки электроэнергии, а также использование конденсируемого топлива в качестве альтернативного дизельному топливу энергоснабжения отвечают критерию «Применение ресурсо- и энергосберегающих технологий».

Улучшение степени дожигания золошлаков (твердых остатков) может быть достигнуто с помощью оптимизации параметров термического обезвреживания, которые рассмотрены в разделе 5.

Концентрация оксидов тяжелых металлов в золе часто бывает на порядок выше, чем в сжигаемых отходах. Поэтому, хотя метод сжигания и позволяет существенно сократить объем отходов, при этом образуются еще более опасные для окружающей среды вещества, которые требуют отдельных затратных мер по утилизации или размещению.

Возможность утилизации твердых остатков обычно определяется в зависимости от:

- содержания органических соединений;

- общего содержания металлов;

- выщелачиваемости металлов, солей и тяжелых металлов;

- их физической пригодности.

Для полного обезвреживания отходов и минимизации выбросов (особенно в воздух) количество энергии, необходимой для работы установки, должно обеспечивать термическое обезвреживание с проектной производительностью.

Наиболее энергоемкими в процессе сжигания являются:

- вытяжной и нагнетательный вентилятор для поддержания давления в системе подачи воздуха для сжигания;

- оборудование для перевозки/загрузки отходов (например, насосы/краны и грейферы/шнековые питатели);

- калориферы;

- оборудование для подготовки отходов к переработке (шредеры и т. д.);

- система подогрева дымовых газов перед устройствами для очистки загрязняющих веществ (например, рукавные фильтры);

- подача топлива для пуска/остановки (наиболее актуально для отходов с низкой теплотой сгорания);

- система мокрой очистки дымовых газов, охлаждающая эффективнее, чем полусухая и сухая системы;

- система электроснабжения, необходимая для дополнительных устройств.

К мерам, позволяющим снизить потребность процессов в дополнительной энергии, относятся:

- исключение из процесса дополнительного оборудования;

- комплексный подход с оптимизацией потребления энергии всей установкой;

- размещение высокотемпературного оборудования в специально отапливаемых помещениях (зонах);

- ввод в систему теплообменников для снижения потребления энергии;

- использование энергии, производимой на установке для сжигания отходов, для собственных целей;

- эксплуатация вращающегося оборудования (вентиляторы и насосы), имеющего элементы, работающие с переменной скоростью, с частотным регулированием при пониженной нагрузке. Это позволит существенно снизить среднее потребление энергии,

поскольку изменения давления будут за счет изменения скоростей, а не с помощью регулирования работы клапанов.

Некоторое количество генерируемой энергии возможно использовать при работе самой установки.

Оптимизация работы установки состоит в оптимизации всего технологичнского процесса. Она заключается в снижении энергопотерь в технологическом процессе.

Снижение потребности процесса в энергии уменьшает потребность в производстве энергии из внешних источников или позволяет поставлять большее количество энергии. Это достигается за счет подбора оптимальной по типу и производительности системы газоочистки.

Дополнительно утилизируемая энергия может быть использована в собственных целях, при этом должно обеспечиваться безопасное и эффективное обезвреживание отходов.

Повышенный доход от реализации продаж энергии получают за счет:

- увеличения объема поставок электрической энергии на 20 % — 30 %. Высокие уровни достигаются при предварительной подготовке отходов (отметим, что стадии предварительной подготовки отходов часто требуют энергии, и при этом можно использовать энергию, полученную в результате сжигания топлива), в частности при производстве энергии из отходов при сжигании в кипящем слое, и высоких показателях пара — выше 40 атм. и 400 °С;

- инвестиции в модернизацию тепловых сетей для повышения использования имеющейся энергии на уровне КПД до 80 % — 90 %, если в течение всего года имеется спрос на тепловую энергию.

Если большая часть тепловой энергии не может быть использована, правильнее будет осуществлять комбинированное производство тепловой и электрической энергии. Если тепловая энергия полностью не реализуется, то полученную энергию необходимо преобразовать в электрическую.

Производство электроэнергии в полном объеме может быть достигнуто с помощью использования пара с повышенными параметрами. Выбор параметров пара (высокие или низкие) в большинстве случаев оценивается по экономическим показателям.

Значительная часть дополнительно потребляемой энергии связана с применением дополнительных технологий очистки дымовых газов, которые сами по себе потребляют энергию.

При полной реконструкции на работающей установке выбор вариантов ограничен вследствие дополнительных затрат. Установки, которые были модернизированы с

целью достижения конкретных предельных значений выбросов, имеют повышенное энергопотребление, так как устанавливаются на «конце трубы».

Раздел 6. Экономические аспекты реализации наилучших доступных технологий

При внедрении НДТ на объекте хозяйственной деятельности необходимо учитывать затраты на все технологические переделы и потребности в необходимом аппаратурном оснащении производства с учетом затрат хозяйствующих субъектов, ожидаемой экономической целесообразности внедрения НДТ и воздействия на окружающую среду.

Организации на всех этапах внедрения НДТ обязаны:

- обеспечивать учет образования, обезвреживания, утилизации и размещения отходов в соответствии с критериями их отнесения к классу опасности для окружающей среды;

- осуществлять определение класса опасности отходов, что влечет за собой выполнение определенных требований при обращении с ними в зависимости от степени вредного воздействия на окружающую среду;

- обеспечивать производственный контроль всех процессов по обращению с отходами, организуя проведение мониторинга;

- проводить мониторинг состояния окружающей среды на объектах по размещению отходов и в зоне их влияния с учетом регламентированных и фактических уровней эмиссий в окружающую среду.

Внедрение НДТ посредством реализации технических мероприятий, направленных на модернизацию отдельных элементов оборудования, приводит к определённому улучшению существующих технологических процессов, что, в свою очередь, может привести к снижению затрат, например, повышению эффективности модернизируемой системы термического обезвреживания (сжигания, пиролиза, газификации).

К факторам, ограничивающим в отдельных случаях внедрение НДТ термического обезвреживания отходов, следует отнести относительно высокую стоимость технологического оборудования и необходимость в значительных начальных капитальных вложениях с учетом гарантированного срока службы оборудования.

Краткий обзор основных экономически проблем в сфере обезвреживания отходов термическим способом представлен в подразделе 1.2 справочника НДТ.

Основные принципы (1–4) методологии определения НДТ с учетом оценки аспектов ее комплексного воздействия на окружающую среду представлены в разделе 4.

Применение этих основных принципов должно позволить как пользователю, так и лицу, принимающему решение, сравнить прозрачным и равноправным способом имеющиеся варианты, включая те, когда термическое обезвреживание является единственно приемлемым методом. Важно также, чтобы были решены социальные, финансовые и организационные задачи сортировки отходов потребления.

На практике данные о затратах оцениваются достаточно часто, но редко детализируются по компонентам или до уровня, когда ежегодные изменения затрат могут быть показаны с заданной степенью точности. Это ограничивается возможностями выполнения объективного сравнительного анализа технико-экономических и экологических характеристик.

Затраты следует структурировать с достаточным уровнем детализации, который показывает, какие затраты относятся к инвестиционным расходам и какие относятся к эксплуатационным затратам относительно результатов анализа значимых стадий жизненного цикла установки.

К затратам на приобретение специального оборудования относятся:

- затраты на технологическое оборудование;

- затраты на оборудование для контроля, улавливания, извлечения первичных загрязняющих веществ, образующихся в технологическом процессе;

- затраты на оборудование для очистки выбросов и сбросов загрязняющих веществ, накопления (хранения) обезвреживаемых и образующихся в результате обезвреживания отходов;

- вспомогательное (запасное) оборудование;

- аппаратура и инструменты;

- плата за перевозку и доставку оборудования;

- модификации иного оборудования.

К предотвращенным издержкам относятся:

- экономия сырьевых материалов;

- экономия вспомогательных материалов (химических реагентов, воды) и услуг;

- экономия энергоносителей;

- экономия трудовых затрат;

- экономия затрат на мониторинг выбросов/сбросов.

Данные о затратах могут быть получены из различных источников, но, каким бы ни был источник получения этих данных, пользователю необходимо оценить достовер-

ность полученных данных, пробелы и неопределенности предварительной оценки о потенциальном воздействии технологий на окружающую среду.

Для повышения обоснованности данных о затратах пользователь должен собрать их по возможности из нескольких независимых источников. Источники происхождения всех собранных данных следует документировать. Это позволит проследить путь получения и обоснования данных, если позднее в этом возникнет необходимость. Если источник данных — это опубликованное сообщение (отчет, доклад) или база данных, то достаточно стандартной библиографии. Если же источником данных служит устное или другое недокументированное сообщение, то в этом случае должен быть зафиксирован источник информации и указана дата ее получения.

Возможными источниками получения данных о затратах являются:

- информация отраслей экономики (например, планы строительства, проектная документация о планируемых к реализации промышленных объектах, документация);

- поставщики технологии, оборудования и пр. (например, каталоги, предложения, конкурсы);

- органы исполнительной власти;

- эксперты и консультанты;

- специализированные компании (например, в случае проведения пилотных проектов);

- официальная информация (например, доклады, отчеты, специализированные журналы, материалы выставочно-конгрессных мероприятий);

- исследования затрат в идентичных проектах в смежных отраслях.

Ранжирование вариантов НДТ по мере возрастания экономической эффективности предусматривает учет экологической выгоды. Например, реализация практической возможности обезвреживать отходы непосредственно в местах их образования и одновременно использовать часть твердых коммунальных отходов методом компостирования.

После того как возможные варианты ранжируются с точки зрения экологической результативности, вариант с наименьшим воздействием на окружающую может быть признан наилучшим, но только в том случае, если такой вариант доступен с экономической точки зрения.

Затраты и цены в секторе обращения с отходами устанавливаются обычно на основе первоначальных инвестиций, принимая во внимание широкие пределы изменения свойств и калорийности обезвреживаемых отходов, и расходов на эксплуатацию с учетом возможности утилизации тепла.

В состав оценки капитальных затрат иногда включаются непредвиденные расходы, чтобы покрыть затраты, которые не могут быть точно оценены. Сюда относятся те расходы, о которых известно, что они возникнут, но определить их детально и добавить в смету затрат не представляется возможным. По мере реализации проекта статьи затрат становятся более детальными и непредвиденные расходы уменьшаются. Размер резерва на непредвиденные расходы — вопрос обсуждения и опыта, который будет зависеть прежде всего от степени технической достоверности (определенности), которая закладывается в проект. Непредвиденные расходы обычно указываются как процент от капитальных затрат. Любые обстоятельства, которые могут привести к непредвиденным расходам, должны указываться отдельно и гарантировать прозрачность. Если для рассматриваемых альтернативных вариантов технологий указаны различные непредвиденные затраты, включая, например, необходимость и практические возможности биологической обработки отходов после их раздельного сбора, они должны быть обоснованы и подтверждены.

Наиболее явный способ сравнить затраты на реализацию мероприятия и извлекаемые выгоды состоит в представлении в денежной форме и сравнении их методом анализа затрат и выгод. Если сравнение показывает, что выгоды перевешивают затраты, то это означает, что инвестиции в мероприятие оправданны. Например, целесообразна реализация проектов по модернизации и новому строительству установок термического обезвреживания отходов в интеграции с объектами теплоэлектроснабжения.

Если различные альтернативные мероприятия дают положительные результаты, то мероприятием с самым высоким результатом считается такое, которое дает самое лучшее соотношение «цена/качество».

При выборе технологий термического обезвреживания отходов необходимо учитывать их класс опасности, природно-климатические условия и экономические возможности предприятия, которое внедряет НДТ.

Экономическая целесообразность как таковая является неотъемлемой составной частью концепции НДТ. Углубленную оценку экономической целесообразности следует проводить только в тех случаях, когда существуют явные разногласия относительно того, какие именно НДТ могут быть внедрены в отрасли промышленности экономически эффективным образом.

Относительно методологии определения НДТ использование подхода экономической целесообразности не является самодостаточным.

При этом детальный анализ необходимо проводить только в том случае, если существуют реальные основания полагать, что технология (или комбинация технологий) является чрезмерно дорогостоящей, чтобы считаться НДТ.

НДТ также часто обеспечивают и существенное снижение производственных затрат, связанное, в том числе, с ресурсосбережением. Поэтому показатели производственных затрат наряду с характеристиками загрязняющих веществ необходимо включить в максимальный набор эколого-экономических показателей.

Экономия инвестиционных и эксплуатационных затрат может быть связана:

- с обязательным контролем поступающих на обезвреживание отходов, обеспечивающим снижение рисков выхода из штатного режима эксплуатации оборудования и вероятности превышения допустимых уровней воздействия на окружающую среду и нанесения вреда здоровью людей;

- с выбором альтернативных вариантов НДТ, оснащенных системой очистки дымовых газов, обеспечивающей допустимый уровень воздействия на атмосферный воздух;

- со снижением потребления ресурсов в системе очистки дымовых газов при условии достижения проектных значений эмиссий загрязняющих веществ.

После оценки комплексного воздействия технологий на окружающую среду может потребоваться сравнение затрат на внедрение рассматриваемых технологий. Для объективной оценки альтернатив важно, чтобы информация о затратах, которая может быть получена из различных источников, была собрана и обработана одинаково.

Использование последовательного (поэтапного) подхода заключается в выборе наилучшей (оптимальной) или приемлемой, удовлетворительной альтернативы посредством определенных действий над множеством альтернатив, в результате которых получается подмножество допустимых (возможных) альтернатив, удовлетворяющих налагаемым ограничениям.

Сравнительный анализ, например, состава блоков оборудования установок с вращающей печью и кипящим слоем должен проводиться при равных технологических условиях (например, производительности) и одинаковых физико-химических показателей обезвреживаемых отходов с целью упрощения, удешевления, повышения надежности.

В качестве ограничений выступают затраты, способы использования ресурсов на осуществление альтернативы. Это позволяет сравнить альтернативные варианты даже в том случае, если данные были получены из различных компаний, различных от-

раслей промышленности с учетом географических факторов климата, а также сезонных и региональных колебаний объема и состава обезвреживаемых отходов.

Если рассматриваемые альтернативные варианты могут дать также выгоды и доходы «неэкологического» характера или могут привести к экономии некоторых затрат, то они должны быть указаны отдельно от капитальных затрат или затрат на эксплуатацию и техническое обслуживание.

К ожидаемым эксплуатационным расходам относятся:

- страховые премии;
- лицензионные платежи;
- резерв на непредвиденные случаи и аварийные работы;
- другие общие накладные расходы (например, административные).

Все затраты должны оцениваться по отношению к альтернативному варианту (технологии). В качестве альтернативного варианта (технологии) обычно берется существующая ситуация или базовый вариант, при котором не было установлено природоохранное оборудование. Базовый вариант устанавливают по методологии оценки НДТ, а затраты на альтернативные варианты выражают относительно базового варианта.

Опыт внедрения НДТ показал, что значительные затраты могут быть связаны с модификацией конструкции печи или котла-утилизатора и возможным снижением эмиссий. Например, реализация технических решений по снижению зарастания котла-утилизатора уменьшает также пребывание пыли в температурных зонах, которые могут вызвать риск образования диоксинов. Однако уменьшение температуры дымовых газов после котла-утилизатора применимо для ограничения негативного воздействия на систему очистки дымовых газов.

Необходимо учитывать дополнительные затраты, которые требуются для решения задачи сопряжения применяемого котла-утилизатора с системой газоочистки.

При проектировании следует также учитывать возможности повышения КПД котлов-утилизаторов до 75 %.

При детальной оценке в энергетическом отношении следует также учитывать минимизацию затрат на приобретение расходных материалов, включая возможности применения высококалорийных и малозольных топлив.

Оптимизация затрат, достигаемая в период эксплуатации за счет снижения технического обслуживания и возможности реализации энергии, может привести к очень коротким периодам окупаемости и может затем оправдать применение такой концепции на новых и модернизируемых установках.

Чистая прибыль может складываться из планируемых доходов от оказания услуг по термическому обезвреживанию отходов, от выработки горячей воды, электроэнергии и вычитания эксплуатационных затрат и налогов.

Для облегчения процесса сравнения данных должны быть четко установлены компоненты затрат с учетом возможностей использования вторичных материальных ресурсов.

Например, затраты на дополнительные блоки технологического процесса и производственные ресурсы можно скомпенсировать снижением затрат на размещение золошлаков и остатков от газоочистки, а также их использованием, например, в цементной промышленности.

Общие ежегодные затраты на НДТ корреспондируются к унифицированным ежегодным затратам, требуемым, чтобы покрыть как соответствующие эксплуатационные затраты и затраты на обслуживание, так и капитальные затраты.

Капитальные затраты при реконструкции и модернизации действующих установок термического обезвреживания отходов являются значительными, и в некоторых случаях они могут превышать величину рассчитываемой выгоды.

С целью оптимизации временных и финансовых затрат, связанных с проектированием, строительством и реконструкцией соответствующих отходообезвреживающих предприятий, с учетом требований по охране и восстановлению окружающей среды, предполагается реализовывать типовые проектные решения (ТПР).

Применение ТПР предусматривает проведение мероприятий по использованию в производстве нескольких унифицированных технологических линий термического обезвреживания опасных отходов в установленном законодательством порядке.

Использование апробированных ТПР позволит исключить необходимость самостоятельной разработки технологических решений и проектно-конструкторской проработки ответственных узлов и отдельных блоков, проектных и строительных решений и программы реконструкции.

Показатели достижения снижения текущего уровня воздействия и потребления при непрерывной эксплуатации включают в себя:

- темп подачи отходов на обезвреживание, сходный с производительностью технологического оборудования;

- период хранения отходов минимально допустимый для обеспечения непрерывной эксплуатации;

- организацию цепи поставки отходов на обезвреживание, обеспечивающей равномерное их поступление в соответствии с производительностью оборудования;

- использование отходов в качестве дополнительного топлива.

Предотвращение приостановки функционирования технологической линии может снизить затраты на термическое обезвреживание отходов следующим образом:

- в результате обеспечения применения установки в соответствии с проектом, т. е. в оптимальном режиме;

- в результате снижения тепловой нагрузки.

Процедуры контроля поступающих отходов могут снизить риски эксплуатационных сбоев и превышения уровней допустимого воздействия на окружающую среду.

Результаты проведения экологического мониторинга необходимо использовать в качестве основы для разработки комплекса организационных, технологических и технических мероприятий.

Эффективный контроль технологического процесса термического обезвреживания отходов имеет следующие характерные преимущества:

- обеспечивает оптимальный состав шлака;

- уменьшает образование летучей золы и количество несгоревшего вещества вследствие более стабильных условий процесса в печи;

- снижает образование CO и летучих органических соединений вследствие более стабильных условий протекания термического процесса, т. е. отсутствия «холодных» пятен;

- снижает образование NO_x вследствие более стабильных условий протекания термического процесса;

- снижает риск образования диоксинов вследствие более стабильных условий протекания термического процесса;

- обеспечивает более полное использование тепловой мощности;

- повышает энергоэффективность вследствие снижения потребления среднего количества воздуха для сжигания;

- оптимизирует функционирование котла-утилизатора (вследствие более стабильной температуры имеется меньше температурных пиков и, таким образом, меньше риск коррозии и забивания из-за образования летучей золы);

- улучшает работу системы очистки дымовых газов вследствие более стабильного количества и состава дымовых газов;

- обеспечивает полноту термической деструкции в сочетании с более эффективным сжиганием отходов вследствие функционирования автоматического регулирования оборудования, позволяющего поддерживать требуемый температурный режим в сочетании с загрузкой отходов и выгрузкой зольного остатка.

Установки термического обезвреживания необходимо оборудовать высокоэффективными газоочистными устройствами, стоимость которых может достигать 50 % общих капиталовложений на строительство установок.

Рентабельность инсинераторов малой производительности с минимизированной системой газоочистки может определяться сложившейся системой тарификации на обезвреживание твердых коммунальных отходов.

Технология мокрой очистки газов детально разработана и эффективна при условии минимизации задействования громоздкого технологического оборудования и соответствующих ему затрат.

Для снижения выбросов в атмосферу при использовании технологии мокрой очистки газов в соответствии с разделом 5 рекомендуется использовать скруббер с орошением абсорбционным раствором. В качестве абсорбционного раствора используется водный раствор реагента с рабочим диапазоном pH, необходимым для нейтрализации кислых газов — 8,5–9,0, который поддерживается автоматически. Абсорбционный раствор очищается от уловленных механических примесей, насыщается реагентом до требуемого диапазона pH и используется повторно.

В случае использования мокрого скруббера образуются стоки, при очистке которых появляется смолистый остаток, который затем требуется дополнительно обезвреживать.

Использование мокрого скруббера предполагает:

- низкие уровни потребления реагентов;
- минимальное образование твердых остатков;
- повышенное потребление воды;
- образование стоков, которые требуют очистки;
- накопление отложений на конструкциях скруббера;
- возможность разрушения материала, используемого в конструкции мокрого скруббера, если температура на выходе будет слишком высокая.

Также следует учитывать увеличенные капитальные и инвестиционные затраты, которые связаны с внедрением дополнительных элементов технологического процесса.

При осуществлении любых мер по вторичному использованию отходов необходимо принимать во внимание экономическую целесообразность и анализировать рентабельность процесса.

Внедрение ресурсосберегающих технологий предполагает создание оптимальных условий для преобразования топлива в энергию. Поэтому технологии, при которых

происходит полное сжигание и, следовательно, в золе остается минимальное количество органического углерода, могут в некоторой степени способствовать повышению энергоэффективности. Интенсивное перемешивание отходов при сжигании способствует тому, чтобы несгоревший углерод в шлаке переходил в газовую фазу и сгорал.

Также следует отслеживать ресурсоемкость реализуемой технологии (показатель, отражающий размеры изымаемого из природы вещества и энергии на единицу полученного результата) и ресурсосберегаемости с возможностью минимизации затрат на получение готовой продукции.

На установках для сжигания отходов возможно получить дополнительную электроэнергию, пар и горячую воду. В том случае, когда работа установки оптимизирована, оптимально используется энергетическая ценность отходов.

Вопросы энергоэффективости технологий термического обезвреживания отходов представлены в разделе 5.

Раздел 7. Перспективные технологии в сфере обезвреживания отходов термическим способом

В соответствии с ПНСТ 21—2014 к перспективным «относят технологии, которые находятся на стадии научно-исследовательских, опытно-конструкторских работ или опытно-промышленного внедрения, позволяющие повысить эффективность производства и сократить эмиссии в окружающую среду. Следует приводить сроки, в течение которых перспективные технологии могут стать коммерчески доступными». Вместе с тем в соответствии с требованиями Федерального закона от 21 июля 2014 г. № 219-ФЗ «О внесении изменений в Федеральный закон «Об охране окружающей среды» и отдельные законодательные акты Российской Федерации»[44] критерием доступности наилучшей технологии служит «промышленное внедрение этой технологии на двух и более объектах, оказывающих негативное воздействие на окружающую среду». Таким образом, для целей справочников НДТ во избежание исключения из рассмотрения качественных технологий, уже применяемых в промышленности в ограниченном масштабе, следует отнести и те технологии, рассмотрение которых невозможно в разделе наилучших доступных технологий вследствие недостаточно широкого применения.

Однако, поскольку отбор технологий при разработке справочника НДТ осуществлялся на основе анализа анкет, представляющих неполную информацию по очень небольшой нерепрезентативной выборке предприятий, составляющих область применения справочника НДТ, во избежание неопределенности, ведущей к рассмотрению в ка-

честве перспективных уже применяемых в промышленности технологий вследствие нерепрезентативности выборки, в настоящем разделе были рассмотрены только технологии, находящиеся (по данным авторов справочника) на стадии научно-исследовательских, опытно-конструкторских работ или опытно-промышленного внедрения.

В настоящее время в стадии НИР и НИОКР находятся следующие технологии термического обезвреживания отходов.

7.1 Плазменные технологии обезвреживания опасных отходов

Перспективным направлением является использование плазменных источников энергии (электродуговых генераторов) в установках высокотемпературного обезвреживания различных отходов, содержащих в своем составе органические вещества (твердых коммунальных, промышленных и медицинских).

С помощью плазменной технологии можно перерабатывать комплексные отходы, состоящие как из органических, так и неорганических компонентов, и производить в итоге стабильные, полностью безвредные конечные продукты. При этом достигается существенное сокращение объема отходов (до 95 %), а получаемые твердые остатки содержат вредные компоненты в связанном, безопасном состоянии. Устойчивость этих остеклованных продуктов сохраняется сотни лет.

Кроме того, поскольку в основе плазменной технологии лежит использование тепла электрической дуги, природное топливо в процессе не применяется. В результате объем газовых выбросов обычно намного меньше (до 90 %), чем в огневых системах с использованием органического топлива. Снижение объема газовых выбросов приводит, в свою очередь, к существенному уменьшению производительности систем газоочистки, приборов и средств экологического контроля загрязнения воздуха и соответствующему сокращению их стоимости.

Установки подобного рода находятся на этапе промышленной эксплуатации в Японии, в менее широких масштабах (включая опытно-промышленную эксплуатацию) — в США, Канаде и ряде государств — членов ЕС. К числу основных зарубежных разработчиков плазменных систем переработки отходов, активно работающих на рынке прогрессивных экологических технологий, можно отнести компании Startech Environmental Corporation, Geoplasma, Recovered Energy, PyroGenesis, EnviroArc, Plasco Energy, MSE Technology Applications (США), Westinghouse Plasma Corporation, Plasma Environmental Technologies, Resorption Canada Limited (Канада), ScanArc/EnviroArc (Швеция, Норвегия).

В настоящее время в Российской Федерации разработаны несколько плазменных технологий обработки опасных отходов, большинство из которых в настоящее время находится на этапе опытно-промышленной эксплуатации:

- технология плазмохимического уничтожения ПХБ РНЦ «Прикладная химия» [71];

- мобильная опытно-промышленная плазменная установка «ТехЭкоПлазма» [68];

- плазменная шахтная установка «Плутон» МосНПО «Радон» для переработки твердых радиоактивных отходов [77];

- плазмохимический реактор с жидкометаллическими электродами МНЦТЭ (г. Новосибирск) [75];

- камерная печь сжигания ОАО «НовосибирскНИИхиммаш» и Института теоретической и прикладной механики СО РАН [69].

Большинство подобных технологических подходов универсальны, т. е. позволяют эффективно обезвреживать самые различные отходы. Однако следует обратить внимание на общий недостаток плазменных технологий (как российских, так и зарубежных) — ограниченный срок службы плазмотронов, которые работают как на инертных, так и на кислородсодержащих газах. В большинстве плазменных технологий ресурс работы плазмотронов не превышает нескольких сотен часов.

В настоящее время ресурс работы плазмотронов составляет обычно 100–1000 ч в зависимости от конкретного технологического процесса, типа используемого плазмотрона и вида плазмообразующего газа [79]. Ресурс непрерывной работы плазмотронов компании Plasma Energy Corporation не превышает 200 ч, а плазмотронов компании Westinghouse Plasma Corp. — порядка 800 ч. Водяной пар интенсифицирует процесс эрозии электродов и тем самым еще более сокращает ресурс работы. Например, плазмотроны канадской корпорации High Temperature Technologies Corp. с медными электродами при работе на воздухе имеют ресурс работы 300 ч, а при работе на водяном паре — только 50 ч [80].

Кардинальное решение задачи повышения эксплуатационного ресурса электродуговых генераторов плазмы и увеличения их мощности получено специалистами Международного научного центра по теплофизике и энергетике (г. Новосибирск) [78]. Рисунок 7.1 иллюстрирует схему разработанного плазмотрона с жидкометаллическими электродами. Электрическая дуга «привязана к поверхности» расплавленного металла, являющейся электродом. Такие электроды не подвержены эрозии и, следовательно, не ограничивают ресурс, мощность дуги и тип плазмообразующего газа. Устранение

указанных ограничений открывает широкие возможности для промышленного применения плазмотронов с жидкометаллическими электродами (см. рисунок 7.2).

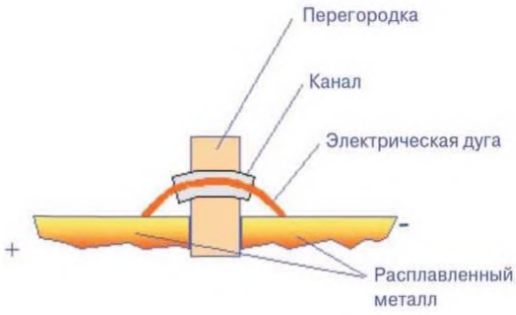


Рисунок 7.1 — Схема плазмотрона с жидкометаллическими электродами [78]

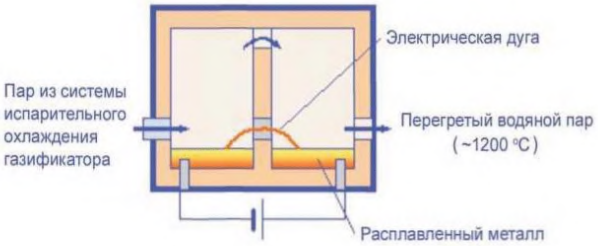


Рисунок 7.2 — Схема пароперегревателя на основе плазмотрона с жидкометаллическими электродами [78]

Поскольку в рабочем пространстве присутствуют зоны с экстремально высокими температурами (от тысяч до десятков тысяч градусов), присутствуют особые требования к выбору конструкции реактора и к материалу его стенок (если необходимы жаростойкие и химически инертные по отношению к отходам материалы).

7.2 Высокотемпературная паровая газификация отходов с помощью плазменных источников энергии

Технологический подход, представляющий собой двухстадийный пиролиз, предполагает проведение обработки опасных отходов в два этапа: на низкотемпературном этапе при температуре до 1000 °C (300 °C — 700 °C) токсичные компоненты максимально полно отделяют от инертных наполнителей, на высокотемпературном (плаз-

менном) при температуре свыше 1400 °С происходит полная деструкция соединений (в газовой фазе) [17].

Плазменные источники энергии применяются в процессе высокотемпературной газификации. Технология высокотемпературной газификации обладает существенно большим потенциалом эффективной работы, чем системы пиролиза и сжигания, что обусловлено высокой температурой процесса, почти полной конверсией углеродосодержащих веществ в синтетический горючий газ, а также получением безвредного неорганического шлака и, следовательно, обеспечением благоприятных экологических параметров для окружающей среды.

При паровой газификации органических веществ в высокотемпературном реакторе идут практически те же процессы, что и при паровой конверсии углеводородов, которая в настоящее время является основным процессом промышленного производства водорода.

Активные работы по паровой конверсии отходов проводят за рубежом Институт электросварки имени Е. О. Патона (Украина), Институт проблем горения (Казахстан), фирмы США, Японии, КНР и др. Исследования ведутся также в Греции, Болгарии, Польше и других странах.

В настоящее время в России в стадии НИР и ОКР находится оптимизация аппаратурного оформления процесса высокотемпературной паровой газификации отходов с плазменным источником энергии, в том числе разрабатываются:

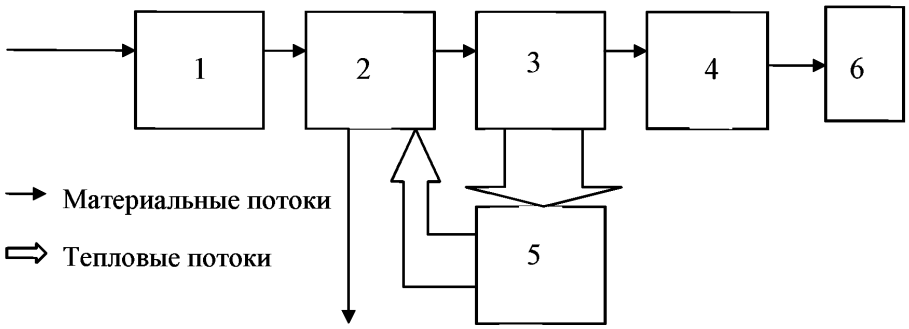
- рациональная конфигурация вертикального шахтного реактора-газификатора;

- плазмотрон с жидкометаллическими электродами с длительным ресурсом эксплуатации (Международный научный центр по теплофизике и энергетике, г. Новосибирск);

- компактный парогенератор с температурой водяного пара на выходе не менее 1200 °С.

Кроме того, в настоящее время осуществляется комплекс НИОКР для отработки основных блоков (плазменного генератора водяного пара, шахтного газификатора органических отходов и др.) и тепловых режимов устойчивого проведения процесса.

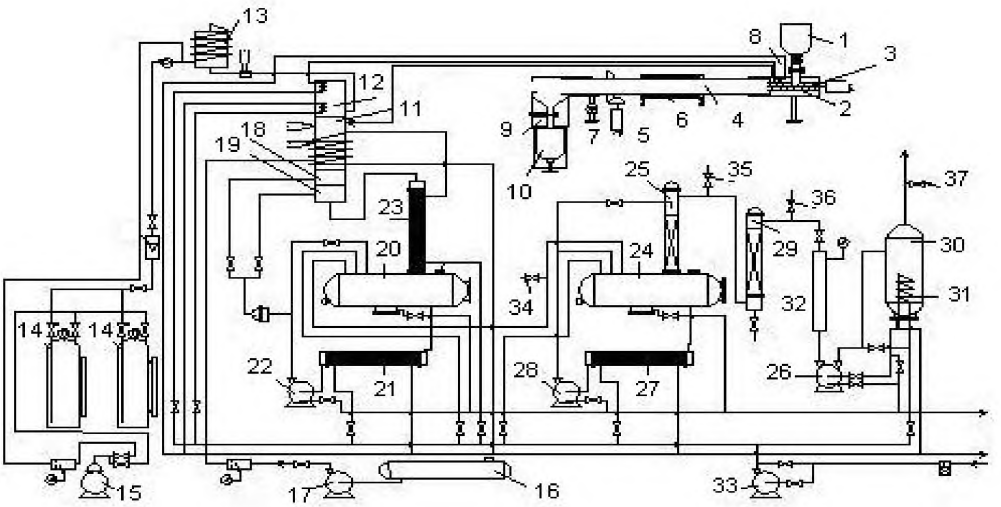
Для реализации данного способа обезвреживания отходов предложено [73] использовать устройство (см. рисунок 7.3).



1 — система подачи, перемещения и подготовки препаративных форм пестицидов к первичному пиролизу; 2 — печь первичного пиролиза; 3 — плазмотрон; 4 — система закалки и сепарации продуктов плазменного пиролиза; 5 — система использования выделяемого тепла для поддержания температурного режима в рабочей зоне печи первичного пиролиза; 6 — система газоотвода

Рисунок 7.3 — Схема плазменно-пиролитического устройства [73]

В ГОУ ВПО «Кубанский государственный университет» создана экспериментальная установка обезвреживания некондиционных пестицидов производительностью до 1 кг/час. Эта установка может эффективно использоваться и для обезвреживания опасных отходов. Принципиальная схема установки показана на рисунке 7.4.



1 — бункер; 2 — дозатор подачи; 3 — шнек; 4 — вращающаяся печь барабанного типа; 5 — электродвигатель, вращающий печь; 6 — электронагреватель; 7 — электромеханический подъемник; 8 — система водяного охлаждения шнека дозатора подачи; 9 — узел выгрузки; 10 — приемный бункер; 11 — реактор; 12 — плазмотрон; 13 — парогенератор; 14, 16 — емкости; 15 — компрессор; 17, 22, 26, 28, 33 — насосы; 18, 19 — закалочные устройства; 20, 24 — отстойники; 21, 23, 27 — теплообменники; 25 — абсорбционная колона насадочного типа; 29 — адсорбер; 30 — емкость; 31 — змеевик охлаждения; 32 — расширительная емкость; 34–37 — пробоотборники

Рисунок 7.4 — Схема установки для обезвреживания некондиционных пестицидов

На этой установке были отработаны режимы обезвреживания наиболее распространенных на территории Краснодарского края различных видов некондиционных пестицидов, а также определялась эффективность и экономичность их обезвреживания. При обезвреживании этих опасных отходов температура рабочей зоны печи первичного пиролиза варьировала в пределах от 400 °С до 1000 °С. Скорость подачи опасных отходов в печь первичного пиролиза изменялась в диапазоне 0,5–1,2 г/с. В качестве рабочего газа плазмотрона использовались пары воды.

Проведенные эксперименты показали, что в интервале температур 300 °С — 700 °С десорбция и перевод в газовую фазу любых органических веществ происходит с минимальными затратами энергии, что повышает экономичность процесса. При этом

термическое разложение только газовой фазы в струе плазмы значительно ускоряет, упрощает и удешевляет процесс обезвреживания.

7.3 Использование шахтных печей для высокотемпературной паровой газификации отходов с помощью плазменных источников энергии

Наибольшее распространение в практике пиролиза и газификации твердых бытовых, промышленных и медицинских отходов нашли вертикальные шахтные печи. Классическим примером противоточной шахтной печи для плазменного пиролиза твердых отходов является реактор, разработанный ГУП МосНПО «Радон» [78].

Упаковки с отходами поступают через узел загрузки в верхние слои шахты и, опускаясь под действием силы тяжести, нагреваются за счет теплоты газов, движущихся вверх им навстречу. Источником энергии служат дуговые плазмотроны, установленные в подовой части печи над ванной. В качестве плазмообразующего газа используется воздух. Применение воздушных плазмотронов достаточной мощности позволило отказаться от дополнительного топлива. В верхней части печи отходы проходят стадии сушки и пиролиза, сопровождающиеся интенсивным газовыделением. В высокотемпературной зоне шахтной печи в нижних слоях отходов происходит возгонка летучих соединений. В то же время в среднем и верхнем уровнях шахты печи, в зоне относительно низких температур, эти соединения концентрируются и сорбируются в слое отходов. Коксовый остаток в значительной степени выжигается, а минеральные компоненты плавятся и поступают в зону накопления расплава. Температура отходящих газов на выходе из шахтной печи не превышала 250 °С — 300 °С, пирогаз (помимо горючих газов) содержал смолистые вещества и аэрозоли сажи и золы, которые подвергались обработке в многоступенчатой системе пылегазоочистки. Температура шлакового расплава в ванне печи достигала 1600 °С — 1800 °С. После охлаждения образуется твердый остаток, пригодный для безопасного хранения.

Данная установка позволяет перерабатывать смешанные твердые отходы, содержащие не только горючие компоненты (древесину, бумагу, ветошь, пластики), но и негорючие (металл, стекло, грунт, изоляционные материалы).

Одной из наиболее эффективных разработок специалистов ГУП МосНПО «Радон» является технология плазменного сжигания твердых радиоактивных отходов низкого и среднего уровней активности. На предприятии создана и эксплуатируется установка «Плутон», обеспечивающая плазменную переработку отходов сложной морфо-

логии с получением кондиционированного продукта в одну стадию и высоким коэффициентом сокращения объемов радиоактивных отходов. На основе длительного цикла научно-исследовательских работ, выполненных на установке «Плутон», была осуществлена разработка демонстрационного комплекса по переработке ТБО в Израиле с проектной нагрузкой 500 кг/ч, введенного в опытную эксплуатацию в 2007 году по контракту между РНЦ «Курчатовский институт» и израильской компанией EER (Environmental Energy Resources). Проектно-конструкторские работы были выполнены ООО «ВАМИ» (г. Санкт-Петербург) при участии ОАО «ВНИИАМ» и ОАО «НПО Техэнергохимпром».

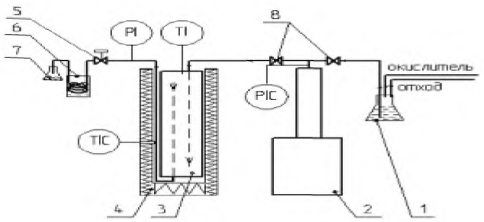
7.4 Комбинированный метод обезвреживания отходов с использованием плазмохимического реактора

Как было указано в подразделе 2.4.1, в России исследования по использованию плазмохимических реакторов для обезвреживания опасных отходов проводятся уже не первое десятилетие, однако по-прежнему остаются на стадии опытно-промышленного применения. Общие принципы реализации метода описаны в указанном подразделе. Из конкретных реализаций следует отметить установку для плазмохимической переработки жидких органических и хлорорганических промышленных отходов, разработанную в Исследовательском центре им. В.М. Келдыша [76]. В 2002 году она была изготовлена на базе установки АО НПО «Технолог» (г. Стерлитамак, Башкортостан). Эта установка рассчитана на переработку более 30 видов отходов, в том числе трихлорэтилена, метилхлорида, полихлорбифенилов, загрязнённых бензина, керосина, ацетона, толуола, бензола, отработанных эмульсий, смесей нефтепродуктов, лаков, красок и пр. В плазмохимическом реакторе отходы смешиваются с горячим воздухом и разлагаются с образованием нетоксичных веществ (диоксид углерода, водяной пар, хлористый водород и азот).

7.5 Обезвреживание опасных отходов методом сверхкритического водного окисления (СКВО)

Данный технологический подход базируется на обработке водных смесей, которые содержат вредные и токсичные вещества, сверхкритической водой при избытке кислорода, температуре 400 °С — 600 °С и давлении 200–300 атм. В таком состоянии сверхкритическая вода является очень сильным окислителем и практически универсальным растворителем, что позволяет превращать не менее 99,99 % вредных соеди-

нений исходной смеси в H_2O и CO_2. На рисунке 7.5 представлена принципиальная схема установки обезвреживания опасных отходов методом сверхкритического водного окисления (СКВО).



1 — емкость для приготовления смеси; 2 — шприцевой насос; 3 — ячейка для СКВО; 4 — печь; 5 — дросселирующее устройство; 6 — холодильник; 7 — сборник конденсата; 8 — запорные вентили; PI — манометр; TI — датчик температуры; PIC — датчик давления для контроля и регулирования давления нагнетания насоса; TIC — датчик температуры для контроля и регулирования температуры печи

Рисунок 7.5 — Схема установки СКВО [69]

В установке СКВО аммонийные вещества и азотсодержащие органические соединения разлагаются с выделением газообразного азота. Фтор, хлор, сера и фосфор (из органических веществ) образуют кислотные остатки и (при добавлении в раствор соответствующих катионов) легко выделяются в виде неорганических кислот или солей. Подавляющее количество неорганических соединений, которые устойчивы в этих условиях, являются малорастворимыми в сверхкритической воде, поэтому они выпадают в осадок или выделяются в виде газа при охлаждении или сбросе давления. Процесс окисления происходит с очень большой скоростью.

Изучение принципа СКВО применительно к переработке отходов началось в Университете Карлсруэ (Германия) в конце 1980-х годов. К середине 1990-х годов ряд компаний США предлагали опытно-промышленные установки переработки опасных отходов на основе СКВО. Одной из первых таких компаний стала компания MODAR, Inc. (позднее, в 1996 году, приобретенная компанией General Atomics (GA)). На основе технологических решений компании MODAR, Inc. в 1998 году в Японии компанией Organo Co. было построено предприятие по переработке опасных отходов полного цикла, функционирующее до сих пор. Компания General Atomics в настоящее время использует СКВО только для переработки химических боеприпасов. По лицензии технологию

MODAR использовали компании Komatsu, Ltd., Kurita Water Industries (Япония), NORAM Engineering and Constructors, Ltd. (Канада) и др.

Компания Model Development Corporation (США) разработала технологию MODEC, при использовании которой удавалось достичь более высокой коррозионной стойкости оборудования. По лицензии технологию MODEC использовали компании Hitachi Plant Engineering and Construction Co. и NGK Insulator Ltd. (Япония), NORAM Engineering and Constructors, Ltd. (Канада) и др. Как технология MODEC, так и технология MODAR активно использовались в США для нужд ВПК — уничтожения химического оружия, в автономных корабельных системах уничтожения отходов и пр. Таблица 7.1 представляет собой перечень ряда действующих за рубежом предприятий по переработке отходов на основе технологии СКВО.

Таблица 7.1 — Некоторые действующие предприятия по переработке отходов на основе технологии СКВО [67]

Лицензиар	Лицензиат	Предприятия полного цикла	Вид перерабатываемых отходов
MODAR	Organo	Nittetsu Semiconductor (Япония) (предприятие построено компанией Organo)	Отходы производства полупроводников
MODEC	Organo, Hitachi, NGK	Отсутствуют	Фармацевтические отходы, отходы ЦБК, шлам сточных вод
General Atomics	Komatsu, Kurita Waste Industries	U. S. Army Newport Chemical Depot (г. Ньюпорт, штат Индиана, США)	Нервнопаралитический газ, корабельные отходы, взрывчатые вещества и пр.
Foster-Wheeler		U. S. Army Pine Bluff Arsenal (г. Пайн Плафф, штат Арканзас, США), эксплуатируется Sandia National Laboratory	Красители, химическое оружие, корабельные отходы, взрывчатые вещества и пр.
EcoWaste Technologies (EWT)	Chematur	Huntsman Chemical (г. Остин, штат Техас, США)	Алкоголи, гликоли, амины
Chematur	Shinko Pantec	Johnson Matthey (г. Бримсдаун, Великобритания)	Отработанные катализаторы (извлечение платиноидов и деструкция органических веществ)
Chematur	Shinko Pantec	Япония	Шлам муниципальных сточных вод
SRI International	Mitsubishi Heavy Industries	Япония	Полихлорбифенилы, полихлордифенилы, хлорсодержащие отходы
Hydro-Processing		Harlingen Wastewater Treatment Plant No. 2 (г. Харлинген, штат Техас, США)	Шлам муниципальных и промышленных сточных вод
Hanwha Chemical		Namhae Chemical Corp (Южная Корея)	Сточные воды предприятия тонкой химической технологии

В России технология пока не выходит за пределы НИР/НИОКР. Исследования проводятся как на базе СО РАН, так и на уровне отдельных компаний, однако данными об опытно-промышленных установках, готовых к внедрению в промышленную эксплуатацию, рабочая группа не располагает.

7.6 Применение установок с акустическими генераторами пульсирующего потока для огневого обезвреживания твердых отходов

Установка для термического обезвреживания различных видов твердых отходов работает по принципу пульсирующего горения с применением газодинамического генератора акустических колебаний, излучающего резонансные колебания высокой интенсивности в широком диапазоне частот за счет турбулентных пульсаций и их усиления в стоячей волне акустического резонатора.

Использование пульсирующего режима горения является одним из перспективных направлений, поскольку одновременно решаются задачи: получение энергии за счет сжигания отходов и их утилизация путем полного уничтожения. Интенсификация процесса горения колебаниями дает возможность сжигать вещества, которые в обычных печах, с равномерным режимом, не горят или имеют низкую полноту сгорания.

Разработка [74] находится на этапе НИР, определены оптимальные параметры, необходимые для создания устойчивых резонансных колебаний с максимальной амплитудой акустического сигнала. Получаемая мощность звукового сигнала позволяет в дальнейшем создавать в зоне горения пульсирующий поток, необходимый для интенсификации процесса смешения топлива.

Заключительные положения и рекомендации

Для разработки справочника была сформирована Техническая рабочая группа (ТРГ 9) «Обезвреживание отходов термическим способом (сжигание отходов)», в состав которой вошли 53 представителя различных организаций. Состав ТРГ 9 был утверждён приказом Росстандарта от 17 июля 2015 г. №836 (ред. от 18.11.2015 г.). Наиболее активное участие в разработке справочника приняли члены ТРГ 9 Бернадинер И.М., Бернадинер М.Н., Боравская Т.В., Буряк А.К., Зрянин А.А., Кадыров О.Р., Мещеряков С.В., Остах С.В., Ощепкова А.З., Славин С.И., Сушкова А.В., Тимошин В.Н., Тугов А.Н., Янин Е.П.

В целях сбора информации о применяемых на объектах термического обезвреживания отходов технологических процессах, оборудовании, об источниках загрязнения окружающей среды, технологических, технических и организационных мероприятиях, направленных на снижение загрязнения окружающей среды и повышение энергоэффективности и ресурсосбережения, была подготовлена анкета для предприятий, содержащая формы для сбора данных, необходимых для разработки проекта настоящего справочника НДТ. В качестве основы для формирования анкеты был использован ПНСТ 23–2014 «Наилучшие доступные технологии. Формат описания технологий».

Анкета была направлена в адреса российских предприятий, на которых согласно данным различных источников информации применяется или могло применяться обезвреживание отходов термическим способом. В связи с отсутствием специализированного учёта объектов (деятельности) по термическому обезвреживанию отходов корректно оценить репрезентативность полученной выборки предприятий не представляется возможным. Тем не менее. сведения, полученные в результате анкетирования предприятий, были систематизированы и использованы при разработке справочника НДТ.

Итоги анализа поступивших от предприятий анкет выявили явную недостаточность информации по различным аспектам применения технологий в области термического обезвреживания отходов. В том числе и по этой причине при подготовке справочника использовались результаты научно-исследовательских и диссертационных работ, иные, в том числе международные, источники информации, предоставленные экспертами в данной сфере деятельности. Например, к перспективным технологиям отнесены не только отечественные разработки, но также и передовые технологии, применяемые на практике за рубежом, но до настоящего времени не внедрённые в Российской Федерации.

По результатам подготовки данного справочника НДТ можно сделать вывод, что отечественные компании в сфере термического обезвреживания отходов недостаточно активно занимаются внедрением современных технологических процессов и оборудования, разработкой программ повышения энергоэффективности и ресурсосбережения, экологической результативности производства. Цели, задачи и ожидаемые результаты перехода к технологическому нормированию на основе наилучших доступных технологий руководители предприятий понимают и оценивают по-разному.

Между тем установление технологических показателей НДТ в данной области применения может быть сопряжено с целым рядом трудностей, обусловленных межотраслевым характером справочника НДТ «Обезвреживание отходов термическим способом (сжигание отходов)». Для учёта межотраслевого характера и обеспечения внедрения справочника целесообразно разработать следующие нормативно-методические документы:

- порядок применения справочника НДТ;

- порядок установления и применения технологических показателей НДТ;

- порядок проведения производственного эколого-аналитического (инструментального) контроля соблюдения установленных технологических показателей НДТ.

Процесс совершенствования справочника должен отражать принцип последовательного улучшения – основной принцип современных систем менеджмента. Разработчики информационно-технического справочника по наилучшим доступным технологиям «Обезвреживание отходов термическим способом (сжигание отходов)» надеются, что коллеги готовы разделить эту позицию и поддержать совершенствование данного документа и продвижение наилучших доступных технологий в сфере обезвреживания отходов термическим способом.

Приложение А

(обязательное)

Перечень маркерных веществ

Наименование загрязняющего вещества	Класс опасности	Вид отходов, подлежащих термическому обезвреживанию *
Азота диоксид	III	1–5
Азота оксид	III	1–5
Серы диоксид	III	1–3, 5
Углерода оксид	IV	1–5
Алканы (углеводороды предельные С12 — С19)	IV	1, 2,5
Углерод (сажа)	III	1–5
Взвешенные вещества	III	1–5
Бенз(а)пирен	I	1–5
Хлористый водород	II	3,4
Фтористый водород	II	1–3, 5
Диоксины (в пересчете на 2,3,7,8-тетрахлордибензо-1,4-диоксин), нг/нм^3	I	1–5
Ртуть и её соединения	I	1–3, 5
Кадмий + таллий	I	1–3, 5
Сумма остальных тяжёлых металлов		1–3, 5

*) Виды отходов, подлежащих термическому обезвреживанию:

1 - отходы, содержащие в своем составе органические и неорганические вещества; 2 - отходы, которые кроме веществ первой группы содержат соединения азота; 3 - отходы, содержащие органические соединения элементов S, P, Cl, F; 4 - отходы, при обезвреживании которых образуются NaCl, Na_2SO4, $Na_4P_2O_7$, Na_2CO_3, KCl; 5 – отходы, содержащие органические вещества, элементы, их окислы, соли или органические соединения элементов

Приложение Б

(обязательное)

Перечень НДТ

Номер	Номер структурного элемента справочника НДТ, наименование НДТ	Краткое описание НДТ
1	2	3
1	5.2.2 Процедура проверки и отбора проб	НДТ содержит подходы в обращении с различными видами отходов, в том числе с имеющими «нежелательные» характеристики
2	5.2.2 Предварительный входной контроля отходов	НДТ содержит подходы, связанные с контролем отходов визуальными, инструментальными, лабораторными способами
3	5.2.3 Хранение (накопление) отходов	НДТ содержит подходы, связанные с обеспечением безопасности и оптимизации хранения отходов с учетом их специфики и морфологии
4	5.2.4 Предварительная подготовка отходов	НДТ содержит подходы, связанные с обработкой, перегруппировкой и предварительной подготовкой отходов в соответствии с их спецификой, с целью обеспечения гарантированного гомогенного и стабильного исходного сырья из отходов
5	5.2.5 Оптимизация стехиометрии воздуха	НДТ содержит подходы, учет которых обеспечивает подвод оптимального расчетного количества воздуха
6	5.2.5 Оптимизация и распределение подачи первичного воздуха	НДТ содержит подходы, связанные с точками подвода первичного воздуха в зависимости от конструкции печей для обеспечения необходимых условий для протекания технологических процессов и минимизации вредных выбросов

Номер	Номер структурного элемента справочника НДТ, наименование НДТ	Краткое описание НДТ
1	2	3
7	5.2.5 Инжекция вторичного воздуха, оптимизация и распределение	НДТ содержит подходы, связанные с обеспечением энергоэффективности технологий термического обезвреживания, посредством подвода вторичного воздуха (его подогрева, точек подвода)
8	5.2.5 Использование сопел специальной конструкции	НДТ содержит подходы, позволяющие снизить содержание азота в воздухе, температуры сопел, для сокращения NOx.
9	5.2.5 Рециркуляция дымовых газов	НДТ содержит подходы, связанные с частичной заменой вторичного воздуха на отходящие дымовые газы (после газоочистки) для оптимизации затрат на эксплуатацию газоочистного оборудования и сокращением выбросов NOx
10	5.2.5 Обогащение воздуха кислородом	НДТ содержит подходы, связанные с подводом кислорода для оптимизации температуры в камере сгорания в зависимости от требуемых технологических параметров
11	5.2.5 Охлаждаемые вращающиеся печи	НДТ содержит подходы, связанные с конструкцией печей, использование которой позволяет нивелировать требования к свойствам сырья. В качестве теплоносителей рассматриваются различные виды жидкостей и контуры охлаждения
12	5.2.5 Увеличение времени выдержки отходов в камере сжигания	НДТ содержит подходы, связанные с обеспечением полноты сгорания органической части отходов с одновременным увеличением термической деструкции отходов, улучшением возможностей для использования остатков, утилизации энергетической ценности отходов
13	5.2.5 Повышение турбулентности в камере дожига	НДТ содержит подходы, связанные с различными конструкциями камер дожига с целью улучшения качества отходящих дымовых газов относительно NOx, летучих органических соединений и CO
14	5.2.5 Оптимизация времени, температуры, турбулентности газов в зоне сжигания и концентрации кислорода.	НДТ содержит подходы, связанные с достижением эффективного дожигания отходящих дымовых газов

Номер	Номер структурного элемента справочника НДТ, наименование НДТ	Краткое описание НДТ
1	2	3
15	5.2.5 Использование автоматически работающих вспомогательных горелок	НДТ содержит подходы, связанные с гарантированным обеспечением достаточной температуры в камере сгорания и наилучшим запуском установки, в части экологических и эксплуатационных параметров
16	5.2.6, 5.4 Использование тепла	НДТ содержит подходы, связанные с использованием тепла от установок на внешние нужды, например, выработку энергии, производственного пара и т.п.
17	5.2.6 Переход с жидкого топлива на природный газ	НДТ содержит подходы, связанные с оптимальной конструкцией горелочных устройств и форсунок
18	5.2.6 Оптимизация КПД установок	НДТ содержит подходы, связанные с определением оптимальной энергетической эффективности с учетом ряда факторов
19	5.2.6 Автоматизация системы аналитического контроля	НДТ содержит подходы, направленные на выполнение задач технического обслуживания и технической поддержки
20	5.2.6 Использование частотно-регулируемых приводов	НДТ содержит подходы, связанные с обеспечением энергосбережения посредством оптимизации системы управления технологическим процессом и эксплуатационных параметров
21	5.2.6 Оптимизация системы охлаждения	НДТ содержит подходы, связанные с использованием различных систем охлаждения для оптимизации энергоэффективности в соответствии с условиями подключения к инженерным сетям
22	5.2.6 Оптимизация конструкции котла-утилизатора	НДТ содержит подходы, связанные с максимально полным использованием энергии отходящих газов с учетом требований к оптимизации конструкции котла-утилизатора
23	5.2.6 Использование тепловых насосов	НДТ содержит подходы, связанные с генерацией тепловой энергии посредством объединения низкотемпературных потоков
24	5.2.6 Внедрение автоматизированных систем	НДТ содержит подходы, связанные с многофакторным контролем технологических систем для эффективного функционирования установок

Номер	Номер структурного элемента справочника НДТ, наименование НДТ	Краткое описание НДТ
1	2	3
25	5.2.7.1 Снижение выбросов пыли	НДТ содержит подходы, связанные с обеспыливанием, посредством использования определенных технических систем
26	5.2.7.1 Использование рукавных фильтров	НДТ содержит подходы, связанные с обеспыливанием и улавливанием тяжелых металлов, ПХДД / ПХДФ; защитой от коррозии
27	5.2.7.1 Применение систем доочистки дымовых газов	НДТ содержит подходы, связанные с заключительным этапом очистки дымовых газов перед выбросом газов в дымовую трубу
28	5.2.7.1 Использование системы мокрой очистки дымовых газов	НДТ содержит подходы, связанные с необходимостью одновременного снижения выбросов пыли, тяжелых металлов, ртути, ПХДД / ПХДФ и кислых газов
29	5.2.7.1 Способ двойного фильтрования	НДТ содержит подходы, связанные с использованием двух рукавных фильтров
30	5.2.7.2 Мокрые системы пылегазоочистки	НДТ содержит подходы, связанные со снижением выбросов пыли, ПХДД/ПХДФ, Hg^{2+}
31	5.2.7.2 Полусухие системы газоочистки	НДТ содержит подходы, связанные с улавлением нерастворимых в абсорбционных растворах кислых газов, а также, пыли, ПХДД/ПХДФ и ртути
32	5.2.7.2 Рециркуляция реагентов	НДТ содержит подходы, связанные с увеличением эффективности мокрой системы газоочистки
33	5.2.7.2 Оптимизация интенсивности впрыска реагента	НДТ содержит подходы, связанные с минимизацией проскока загрязняющих веществ
34	5.2.7.2 Проведение мониторинга процесса абсорбции	НДТ содержит подходы, связанные с поддержанием эффективности абсорбции кислых газов
35	5.2.7.2 Системы сухой очистки дымовых газов	НДТ содержит подходы, связанные с использованием щелочных реагентов и добавкой активированного угля для одновременной очистки дымовых газов от ртути и ПХДД / ПХДФ

Номер	Номер структурного элемента справочника НДТ, наименование НДТ	Краткое описание НДТ
1	2	3
36	5.2.7.2 Подбор щелочного реагента	НДТ содержит подходы, связанные с оптимизацией выбора реагента в зависимости от конструкции аппаратов газоочистки
37	5.2.7.2 Прямая добавка щелочных реагентов	НДТ содержит подходы, связанные с необходимостью сокращения коррозионного воздействия на элементы камер сгорания и дожигания сырья (отходов)
38	5.2.7.3 Селективное каталитическое восстановление (СКВ)	НДТ содержит подходы, связанные с возможностью снижения выбросов NOx и ПХДД/ПХДФ после обеспыливания и очистки от кислых газов, посредством использования аммиака (NH_3)
39	5.2.7.3 Селективное некаталитическое восстановление (СНКВ)	НДТ содержит подходы, связанные с возможностью снижения выбросов NOx посредством впрыскивания аммиака (NH_3) или мочевина ($CO(NH_2)_2$) в печь
40	5.2.7.4 Предотвращение вторичного образования ПХДД/ПХДФ в системе газоочистки	НДТ содержит подходы, связанные со снижением пребывания запыленного газа в температурной зоне от 450 до 200°С
41	5.2.7.4 Обеспыливание на высокотемпературных установках	НДТ содержит подходы, связанные со снижением ПХДД/ПХДФ в результате ударного охлаждения с использованием или преобразованием тепловой энергии
42	5.2.7.4 Предотвращение ресинтеза диоксинов	НДТ содержит подходы, связанные с закалкой дымовых газов
43	5.2.7.4 Повторный обжиг абсорбентов	НДТ содержит подходы, связанные с обезвреживанием остатков ПХДД/ПХДФ, собранных в системе газоочистки
44	5.2.7.4 Адсорбция	НДТ содержит подходы, связанные с сокращением ПХДД/ПХДФ в отходящих газах в результате впрыска реагентов в газовом потоке
45	5.2.7.4 Каталитическая деструкция	НДТ содержит подходы, связанные с деструкцией ПХДД/ПХДФ на поверхности активированного кокса

Номер	Номер структурного элемента справочника НДТ, наименование НДТ	Краткое описание НДТ
1	2	3
46	5.2.7.4 Адсорбция в неподвижном слое	НДТ содержит подходы, связанные с сокращением ПХДД/ПХДФ в результате прохождения отходящих газов через мокрый и сухой неподвижный коксовый/угольный слой
47	5.2.7.4 Использование материалов, пропитанных углеродом	НДТ содержит подходы, связанные с возможностью адсорбции ПХДД/ПХДФ в системах мокрой газоочистки
48	5.2.7.4 Использование угольной суспензии в мокрой газоочистке	НДТ содержит подходы, связанные с возможностью адсорбции ПХДД/ПХДФ в системах мокрой газоочистки с одновременным сокращением их накопления
49	5.2.7.5 Мокрая газоочистка с низким pH и добавка аддитивов	НДТ содержит подходы, связанные с регулированием pH для удаления HCl, HF, SO_2, $HgCl_2$. Представлены подходы, позволяющие увеличить эффективность адсорбции металлической ртути
50	5.2.7.5 Впрыск активированного угля	НДТ содержит подходы, связанные с сокращением содержания металлической ртути в результате адсорбции и ионной ртути в результате хемосорбции
51	5.2.7.5 Пропитка адсорбента серой	НДТ содержит подходы, связанные с повышением удаления ртути в результате пропитки адсорбента серой
52	5.2.7.5 Использование смоляного фильтра	НДТ содержит подходы, связанные с удалением ртути
53	5.2.7.5 Инжекция хлорита и выбор агента с сильной окислительной формой	НДТ содержит подходы, связанные с удалением ртути посредством перевода элементарной ртути в окислительную форму с последующим осаждением в скруббере.
54	5.2.7.5 Добавка перекиси водорода для мокрой газоочистки	НДТ содержит подходы, связанные с удалением ртути, HCl и SO_2 из дымовых газов
55	5.2.8 Цементирование остатков	НДТ содержит подходы, связанные со смешением остатков термического обезреживания с минеральными или гидравлическими вяжущими

Номер	Номер структурного элемента справочника НДТ, наименование НДТ	Краткое описание НДТ
1	2	3
56	5.2.8 Остекловывание и плавление	НДТ содержит подходы, связанные с использованием систем электроплавки, систем, отапливаемых горелками и плавкой с дутьем
57	5.2.8 Экстрагирование кислотой	НДТ содержит подходы, связанные с одновременным использованием летучей золы и остатков с мокрого скруббера
58	5.2.8 Обработка остатков	НДТ содержит подходы, связанные с обезвреживанием остатков от очистки дымовых газов, появляющихся в процессе очистки сухим бикарбонатом натрия
59	5.2.8 Обработка остатков с использованием гидравлических вяжущих	НДТ содержит подходы, связанные с регенерацией рассола для производства кальцинированной соды и утилизацией остатка от фильтрования в инертный материал, которые образуются от очистки дымовых газов, появляющихся в процессе очистки сухим бикарбонатом натрия
60	5.2.9 Удаление остатков, образующихся при очистке газообразных продуктов сгорания	НДТ содержит подходы, связанные с удалением пыли после пылеосадительных аппаратов, возвращением золы на стадию сжигания для деструкции ПХДД/ПХДФ и предварительного обеспыливания
61	5.2.10 Мониторинг (производственный контроль) и регулирование выбросов	НДТ содержит подходы, связанные с использованием КИПиА для получения достоверной информации о параметрах технологического процесса
62	5.2.10 Мониторинг горения в печи и распределения температур	НДТ содержит подходы, связанные с использованием оптических или инфракрасных измерительных систем, ультразвуковых и визуальных камер
63	5.2.10 Контроль коэффициента избытка воздуха	НДТ содержит подходы, связанные с сокращением образования вредных веществ
64	5.2.10 Мониторинг HCl	НДТ содержит подходы, связанные с мониторингом HCl до и после блока газоочистки для корректировки количества используемого щелочного реагента
65	5.2.10 Регулирование в дозировании	НДТ содержит подходы, направленные на поддержание адсорбционной способности в системе очистки дымовых газов

Номер	Номер структурного элемента справочника НДТ, наименование НДТ	Краткое описание НДТ
1	2	3
66	5.2.10 ретроспективный анализ параметров технологического процесса	НДТ содержит подходы, связанные с хранением информации, полученной от КИПиА
67	5.2.11 Циклическое использование воды	НДТ содержит подходы, связанные с рациональностью использования локальных очистных сооружений, в основе которых закладываются мембранные технологии, технологии на основе обратного осмоса или термического выпаривания.
67	5.2.12 Переработка шлаков и зольных остатков, образующихся в результате сжигания	НДТ содержит подходы, связанные со стабилизацией, отверждением, сжиганием и плавлением золы в плазме
68	5.2.12 Обезвреживание шлаков и зольных остатков	НДТ содержит подходы, связанные с предшествующим контролем ряда параметров выбору технических решений
69	5.2.12 Улучшение дожигания шлака	НДТ содержит подходы, связанные с оптимизацией технологических параметров для уменьшения токсичности образующихся шлаков
70	5.2.12 Отделение шлака от остатков очистки дымовых газов	НДТ содержит подходы, связанные с отдельной обработкой и переработкой шлака от остатков очистки дымовых газов и зольных остатков
71	5.2.12 Сепарация металлов из шлака	НДТ содержит подходы, связанные с необходимостью извлечения черных и цветных металлов из зольных остатков
72	5.2.12 Обработка шлака с использованием вызревания	НДТ содержит подходы, связанные с возможностью хранения зольных остатков для приобретения ими требуемых свойств
73	5.2.12 Обработка шлака с использованием систем сухой очистки	НДТ содержит подходы, связанные с комбинированной обработкой шлака
74	5.2.12 Обработка шлака с использованием систем мокрой очистки	НДТ содержит подходы, связанные с возможностью получения шлака с минимальной выщелачиваемостью металлов и анионов
1	2	3

Номер	Номер структурного элемента справочника НДТ, наименование НДТ	Краткое описание НДТ
1	2	3
75	5.2.12 Остекловывание и плавление	НДТ содержит подходы, связанные с использованием плазменных печей
76	5.4 Траектория движения шлама	НДТ содержит технические подходы, связанные с минимизацией недожога органической части отходов
77	5.4 Путь движения дымовых газов	НДТ содержит технические подходы, связанные с обеспечением энергетической эффективности и стабильной нагрузки на футеровку
78	5.4 Подготовка твёрдых отходов	НДТ содержит технические подходы, связанные с приданием сырью (отходам) определенных параметров

Приложение В

(обязательное)

Перечень технологических показателей

Технологический показатель	Еденица измерения	Предложения по установлению технологических показателей, мг/м^3
NOx	мг/м^3	200
серы диоксид	мг/м^3	50
углерода оксид	мг/м^3	50
углеводороды предельные C_{12}-C_{19}	мг/м^3	10
углерод (сажа)	мг/м^3	10
взвешенные вещества	мг/м^3	10
бензапирен	нг/м^3	0,001
хлористый водород	мг/м^3	10
фтористый водород	мг/м^3	1
диоксины	нг/м^3	0,1 нг/м3
ртуть и ее соединения	мг/м^3	0,05
Cd + Tl	мг/м^3	0,05
сумма остальных тяжелых металлов	мг/м^3	0,5

Приложение Г

(справочное)

Термины и определения

Отходы производства и потребления — вещества или предметы, которые образованы в процессе производства, выполнения работ, оказания услуг или в процессе потребления, которые удаляются, предназначены для удаления или подлежат удалению в соответствии с настоящим федеральным законом ([64], ст. 1).

Обращение с отходами — деятельность по сбору, накоплению, транспортированию, обработке, утилизации, обезвреживанию, размещению отходов ([64], ст. 1).

Обезвреживание отходов — уменьшение массы отходов, изменение их состава, физических и химических свойств (включая сжигание и (или) обеззараживание на специализированных установках) в целях снижения негативного воздействия отходов на здоровье человека и окружающую среду ([64], ст. 1).

Обезвреживание отходов термическим способом — обезвреживание отходов, содержащих в своем составе органические вещества, с использованием методов сжигания, пиролиза, газификации.

Утилизация отходов — использование отходов для производства товаров (продукции), выполнения работ, оказания услуг, включая повторное применение отходов, в том числе повторное применение отходов по прямому назначению (рециклинг), их возврат в производственный цикл после соответствующей подготовки (регенерация), а также извлечение полезных компонентов для их повторного применения (рекуперация) ([64], ст. 1).

Объекты обезвреживания отходов — специально оборудованные сооружения, которые обустроены в соответствии с требованиями законодательства в области охраны окружающей среды и законодательства в области обеспечения санитарно-эпидемиологического благополучия населения и предназначены для обезвреживания отходов ([64], ст. 1).

Вид отходов — совокупность отходов, которые имеют общие признаки в соответствии с системой классификации отходов ([64], ст. 1).

Твердые коммунальные отходы — отходы, образующиеся в жилых помещениях в процессе потребления физическими лицами, а также товары, утратившие свои потребительские свойства в процессе их использования физическими лицами в жилых

помещениях в целях удовлетворения личных и бытовых нужд. К твердым коммунальным отходам также относятся отходы, образующиеся в процессе деятельности юридических лиц, индивидуальных предпринимателей и подобные по составу отходам, образующимся в жилых помещениях в процессе потребления физическими лицами ([64], ст. 1).

Группы однородных отходов — отходы, классифицированные по одному или нескольким признакам (происхождению, условиям образования, химическому и (или) компонентному составу, агрегатному состоянию и физической форме) ([64], ст. 1).

Побочный продукт — дополнительная продукция, образующаяся при производстве основной продукции и не являющаяся целью данного производства, но пригодная как сырье в другом производстве или для потребления в качестве готовой продукции ([81], п. 3.16).

Зола — несгоревший остаток, образовавшийся в результате сгорания органического вещества ([81], п. 3.45).

Остекловывание отходов — обработка отходов, в результате которой происходит их преобразование в стекловидные материалы ([81], п. 5.48).

Приложение Д
(обязательное)
Энергоэффективность

1. Краткая характеристика сферы деятельности с точки зрения ресурсо- и энергопотребления

Обезвреживание отходов термическим способом является энергоёмким процессом.

В сфере термического обезвреживания отходов используются такие виды топлива как природный газ, нефтепродукты, отдельные виды горючих отходов.

Одной из приоритетных задач данной деятельности, в том числе с точки зрения экономической доступности НДТ, является максимальное использование вторичных энергетических ресурсов, образующихся в процессе термического обезвреживания отходов.

Данные аспекты нашли своё отражение в **разделе 1 в таблице 1.2** в части систематизации применяемого оборудования и с точки зрения генерации энергии, **п. 1.2.2.2** «Проблемы ресурсосбережения», **п. 1.2.2.3** «Технико-технологические проблемы».

2. Основные технологические процессы, связанные с использование энергии

В **разделе 2** представлен описание технологических процессов используемых в настоящее время в сфере обезвреживания отходов термическим способом, в том числе в части реализации принципа теплогенерации (теплоиспользования).

3. Уровни потребления

В связи с большим разнообразием физико-химических характеристик используемого исходного сырья (обезвреживаемых отходов), вариантов применения технологических процессов, которые зависят от групп видов обезвреживаемых отходов, вариантов использования отходов в качестве дополнительных видов топлива, использования вторичных энергетических ресурсов уровни потребления материальных и энергетических ресурсов представлены в весьма широких пределах.

4. Наилучшие доступные технологии, направленные на повышение энергоэффективности и оптимизацию и сокращение ресурсопотребления

Номер	Номер структурного элемента справочника НДТ, наименование НДТ	Краткое описание НДТ
1	2	3
1	5.2.5 Инжекция вторичного воздуха, оптимизация и распределение	НДТ содержит подходы, связанные с обеспечением энергоэффективности технологий термического обезвреживания, посредством подвода вторичного воздуха (его подогрева, точек подвода)
2	5.2.5 Рециркуляция дымовых газов	НДТ содержит подходы, связанные с частичной заменой вторичного воздуха на отходящие дымовые газы (после газоочистки) для оптимизации затрат на эксплуатацию газоочистного оборудования и сокращением выбросов NOx
3	5.2.5 Обогащение воздуха кислородом	НДТ содержит подходы, связанные с подводом кислорода для оптимизации температуры в камере сгорания в зависимости от требуемых технологических параметров
4	5.2.5 Увеличение времени выдержки отходов в камере сжигания	НДТ содержит подходы, связанные с обеспечением полноты сгорания органической части отходов с одновременным увеличением термической деструкции отходов, улучшением возможностей для использования остатков, утилизации энергетической ценности отходов
5	5.2.5 Оптимизация времени, температуры, турбулентности газов в зоне сжигания и концентрации кислорода.	НДТ содержит подходы, связанные с достижением эффективного дожигания отходящих дымовых газов
6	5.2.5 Использование автоматически работающих вспомогательных горелок	НДТ содержит подходы, связанные с гарантированным обеспечением достаточной температуры в камере сгорания и наилучшим запуском установки, в части экологических и эксплуатационных параметров

1	2	3
7	5.2.6, 5.4 Использование тепла	НДТ содержит подходы, связанные с использованием тепла от установок на внешние нужды, например, выработку энергии, производственного пара и т.п.
8	5.2.6 Переход с жидкого топлива на природный газ	НДТ содержит подходы, связанные с оптимальной конструкцией горелочных устройств и форсунок
9	5.2.6 Оптимизация КПД установок	НДТ содержит подходы, связанные с определением оптимальной энергетической эффективности с учетом ряда факторов
10	5.2.6 Использование частотно-регулируемых приводов	НДТ содержит подходы, связанные с обеспечением энергосбережения посредством оптимизации системы управления технологическим процессом и эксплуатационных параметров
11	5.2.6 Оптимизация системы охлаждения	НДТ содержит подходы, связанные с использованием различных систем охлаждения для оптимизации энергоэффективности в соответствии с условиями подключения к инженерным сетям
12	5.2.6 Оптимизация конструкции котла-утилизатора	НДТ содержит подходы, связанные с максимально полным использованием энергии отходящих газов с учетом требований к оптимизации конструкции котла-утилизатора
13	5.2.6 Использование тепловых насосов	НДТ содержит подходы, связанные с генерацией тепловой энергии посредством объединения низкотемпературных потоков
14	5.2.7.2 Прямая добавка щелочных реагентов	НДТ содержит подходы, связанные с необходимостью сокращения коррозионного воздействия на элементы камер сгорания и дожигания сырья (отходов)
15	5.2.7.4 Обеспыливание на высокотемпературных установках	НДТ содержит подходы, связанные со снижением ПХДД/ПХДФ в результате ударного охлаждения с использованием или преобразованием тепловой энергии
16	5.2.8 Обработка остатков с использованием гидравлических вяжущих	НДТ содержит подходы, связанные с регенерацией рассола для производства кальцинированной соды и утилизацией остатка от фильтрования в инертный материал, которые образуются от очистки дымовых газов, появляющихся в процессе очистки сухим бикарбонатом натрия

1	2	3
17	5.2.10 Мониторинг HCl	НДТ содержит подходы, связанные с мониторингом HCl до и после блока газоочистки для корректировки количества используемого щелочного реагента
18	5.2.11 Циклическое использование воды	НДТ содержит подходы, связанные с рациональностью использования локальных очистных сооружений, в основе которых закладываются мембранные технологии, технологии на основе обратного осмоса или термического выпаривания.
19	5.2.12 Сепарация металлов из шлака	НДТ содержит подходы, связанные с необходимостью извлечения черных и цветных металлов из зольных остатков
20	5.4 Путь движения дымовых газов	НДТ содержит технические подходы, связанные с обеспечением энергетической эффективности и стабильной нагрузки на футеровку

5. Экономические аспекты реализации НДТ, направленные на повышение энергоэффективности и оптимизацию и сокращение ресурсопотребления

В **разделе 6** приводятся экономические аспекты реализации наилучших доступных технологий в части учёта возможностей по предотвращению издержек путём экономии материалов и энергоносителей, в том числе путём использования обезвреживаемых отходов в качестве дополнительного топлива, энергетической ценности отходов.

6. Перспективные технологии, направленные на повышение энергоэффективности и оптимизацию и сокращение ресурсопотребления

В **разделе 7** перспективные технологии в сфере обезвреживания отходов термическим способом рассматриваются также в части оценки экономичности технологий, в том числе на основе повышения энергоэффективности.

Библиография

1. Бернадинер М. Н., Бернадинер И. М. Высокотемпературная переработка и обезвреживание жидких, пастообразных и твердых промышленных и медицинских отходов. Экология и промышленность России. — 2011. — Апрель. — С. 19–21.

2. Бернадинер М. Н., Шурыгин А. П. Огневая переработка и обезвреживание промышленных отходов. М. : Химия, 1990. — 304 с.

3. Федеральный классификационный каталог отходов. ФККО-2014.

4. ISO 14001:2004 (ГОСТ Р ИСО 14001—2007) Системы экологического менеджмента. Требования и руководство по применению.

5. Ершов А. Г., Шубников В. Л. Термическое обезвреживание отходов: теория и практика, мифы и легенды. Журнал ТБО. — 2014. — № 5. — С. 47–52.

6. Ершов А. Г., Шубников В. Л., Шульц Л. А. Термическое обезвреживание отходов: теория и практика, мифы и легенды. Журнал ТБО. — 2014. — № 6. — С. 54–60.

7. Бернадинер И. М. Диоксины и другие токсиканты при высокотемпературной переработке

8. Ладыгин К. В., Осветицкая Н. Д., Рахманов Ю. А. К вопросу предварительной оценки и методов снижения содержания диоксинов в отходах установок термоокислительного обезвреживания медицинских отходов. Научный журнал НИУ ИТМО Серия «Экономика и экологический менеджмент» № 1 2014.

9. Ершов А. Г., Шубников В. Л. Диоксинофобия: факты и домыслы // ЭкоПрогресс. — 2009. — № 9. — С. 26–32.

10. Малышевский А. Ф. Обоснование выбора оптимального способа обезвреживания твердых бытовых отходов жилого фонда в городах России. М. : МПР Российской Федерации, 2012. 47 с.

11. Тугов А. Н. Перспективы использования твердых бытовых отходов в качестве вторичных энергетических ресурсов в России. Теплоэнергетика 2013 № 9 стр. 1–6

12. Клюшников В. Ю. О сжигании отходов. Научно-практический журнал «Экология Производства» № 2 февраль 2012 года.

13. Билитевски Б. Сжигание отходов: опыт Германии // Твердые бытовые отходы. — 2007. — № 1. — С. 47–49.

14. European Commission. 2006. Reference Document on the Best Available Techniques for Waste Incineration. BAT Reference Document (BREF). European IPPC Bureau, Seville, Spain. eippcb.jrc. es/pages/FActivities.htm.

15. Силин В. Е., Рыжков А. Ф. Особенности низкотемпературного горения древесного топлива в современных энергоустановках. — Промышленная энергетика, 2008.

16. Бернадинер М. Н., Бернадинер И. М. Высокотемпературная переработка отходов. Плазменные источники энергии (часть 1), Твердые бытовые отходы, № 4, 2011. С. 16–19.

17. Бернадинер М. Н., Бернадинер И. М. Высокотемпературная переработка отходов. Плазменные источники энергии (часть 2), Твердые бытовые отходы, № 5, 2011. С. 24–27.

18. И.М Бернадинер, М. Н. Бернадинер Реакторы термического обезвреживания твердых и пастообразных органических отходов. Состояние и перспективы. Высокотемпературные процессы и аппараты. Сборник научных статей к 100-летию С. Н. Шорина. — М. : МГУИЭ, 2003. — С. 124–144.

19. Бернадинер И. М., Бернадинер М. Н. Обезвреживание опасных отходов: выбор оптимальной технологии. Твердые бытовые отходы. — 2010. — № 10. — С. 18–26.

20. gost.e-ecolog.ru

21. gost.e-ecolog.ru

22. Процесс Ромелт / Под ред. В. А. Роменца. — М. : МИСиС, Издательский дом «Руда и металлы», 2005. — 400 с

23. Способ утилизации жидких отходов. Патент Российской Федерации, № 2353857, опубликовано 27 апреля 2009 г.. Бюллетень № 12.

24. Тухватуллин А.М., Изингер Ю. В., Береснева И. В. и др. Плазмохимическая переработка отходов хлорорганических производств. Химическая промышленность. № 9, 1986.

25. G.Ondrey, K.Fouhy. Plasma arcs sputter new waste. Chemical engineering. — 1991. — December. — S.32–35.

26. Цыганков А. П., Цыганкова О. Е. и др. Перспективы плазмохимического уничтожения ПХБ-содержащих конденсаторов и других токсичных отходов. Экология производства. — 2004. — № 5. — С. 75–79.

27. Моссэ А. Л., Горбунов А. В., Савчин В. В. Электродуговые плазменные устройства для переработки и уничтожения токсичных отходов. Материалы 4-го Международного симпозиума по теоретической и прикладной плазмохимии. Ивановский государственный технологический университет, 13–18 мая 2005г.

28. Гонопольский А.М., Федоров О. Л. Обезвреживание отходов медицинских учреждений в герметичной плазменной печи. Чистый город.f — 1999. — № 1(5) — С. 28–31.

29. Гонопольский А. М., Малышев Н. А., Ланин В. М., Федоров О. Л. Опыт внедрения системы сбора, транспортировки и плазменной переработки медицинских отходов (на примере Московской городской инфекционной клинической больницы № 1). Чистый город. — 1999. — № 3 (7). — С. 16–20.

30. Способ и установка для переработки радиоактивных отходов. Патент Российской Федерации, № 2320038, опубликовано 20 марта 2008 г.. Бюллетень № 8.

31. Кадыров И. И., Полканов М. А., Горбунов В. А., Дмитриев С. А., Лифанов Ф. А., Кобелев А. П. Плазменные технологии: расширение возможности переработки отходов. Материалы Международной конференции «Стратегия безопасности использования атомной энергии — прошлое, настоящее и будущее». С-Пб. 25–29 сентября 2006г.

32. Моссэ А. Л., Савчин В. В. Плазмотермическая обработка токсичных отходов. Твердые бытовые отходы. — 2006. — № 12. — С. 22–24.

33. Савчин В. В., Моссэ А. Л. Разработка и исследование плазменной шахтной печи для утилизации радиоактивных отходов. Материалы 5-го Международного симпозиума по теоретической и прикладной плазмохимии. Ивановский государственный технологический университет, 3–8 сентября 2008г.

34. Братцев А. Н., Попов В. Е., Рутберг А. Ф., Штенгель С. В. Установка для плазменной газификации различных видов отходов. Теплоэнергетика высоких температур. 2006. Т. 44. № 6. С. 832–837.

35. Братцев А. Н., Попов В. Е., Штенгель С. В., Уфимцев А. А. Переработка твердых отходов методом плазменной газификации. Вода и экология: проблемы и решения. — 2006. — № 4. С. 69–73.

36. Петров С. В. Плазменная газификация отходов. Мир техники и технологии. — 2009. — № 7. — С. 54–55.

37. Савчин В. В., Моссэ А. Л. Плазменные методы в технологии переработки РАО. Материалы V Международной конференции «Сотрудничество для решения проблемы отходов». Харьков. 2008. — С. 50–52.

38. Environmentally sound management and elimination on PCBs in Russia. Center for International Projects. Arctic Monitoring and Assessment Programme (AMAP), 2003.

39. М. Н. Бернадинер, И. М. Бернадинер Огневое обезвреживание суперэкотоксикантов // Экология и промышленность России. — 2004. — июнь. — С. 12–13.

40. Бернадинер М. Н., Бернадинер И. М. Обезвреживание отходов, содержащих полихлорированные бифенилы // Твердые бытовые отходы, № 4, 2013. С. 24–26.

41. И. М. Бернадинер Термическое обезвреживание медицинских отходов в Москве // Экология и промышленность России. — 2004. — август. — С. 24–28.

42. Федеральный закон от 4 мая 1999 г. № 96-ФЗ «Об охране атмосферного воздуха»;

43. Федеральный закон от 10 января 2002 г. N 7-ФЗ (ред. от 28.11.2015) "Об охране окружающей среды" (с изм. и доп., вступ. в силу с 01.01.2016);

44. Федеральный закон от 21.07.2014 N 219-ФЗ (ред. от 29.12.2014) "О внесении изменений в Федеральный закон "Об охране окружающей среды" и отдельные законодательные акты Российской Федерации";

45. Директива Совета Европы от 4 декабря 2000 г. № 2000/76/ЕС «О сжигании отходов»;

46. РД 52.04.186–89 «Руководством по контролю загрязнения атмосферы»

47. РД 52.18.595–96 «Федеральный перечень методик выполнения измерений, допущенных к применению при выполнении работ в области мониторинга загрязнения окружающей природной среды»

48. Федеральный закон от 30 марта 1999 г. № 52-ФЗ «О санитарно-эпидемиологическом благополучии населения»;

49. Положение о государственном санитарно-эпидемиологическом нормировании, утвержденное постановлением Правительства Российской Федерации от 24 июля 2000 г. № 554.

50. ГН 2.1.6.1338–03 «Предельно-допустимые концентрации (ПДК) загрязняющих веществ в атмосферном воздухе населенных мест. Гигиенические нормативы».

51. МУ 2.1.6.792–99 (утв. Минздравом Российской Федерации 19 ноября 1999 г.) «Выбор базовых показателей для социально-гигиенического мониторинга (атмосферный воздух населенных мест)».

52. Распоряжением Правительства Российской Федерации от 8 июля 2015 г. № 1316-р.

53. Постановление Правительства Российской Федерации № 1458 от 23 декабря 2014 г. "О порядке определения технологии в качестве наилучшей доступной технологии, а также разработки, актуализации и опубликования информационно-технических справочников по наилучшим доступным технологиям"

54. Методические рекомендации по определению технологии в качестве наилучшей доступной технологии (утв. приказом Минпромторга России № 665 от 31 марта 2015 г.).

55. ГОСТ Р 54097—2010. Ресурсосбережение. Наилучшие доступные технологии. Методология идентификации.

56. ГОСТ Р 54198—2010. Ресурсосбережение. Промышленное производство. Руководство по применению наилучших доступных технологий для повышения энергоэффективности.

57. ГОСТ Р 54205—2010. Ресурсосбережение. Обращение с отходами. Наилучшие доступные технологии повышения энергоэффективности при сжигании.

58. ПНСТ 22—2014 Наилучшие доступные технологии. Термины и определения.

59. ПНСТ 23—2014. Наилучшие доступные технологии. Формат описания технологий.

60. 59. ПНСТ 21—2014 Наилучшие доступные технологии. Структура информационно-технического справочника

61. Directive 2008/1/EC of the European Parliament and of the Council of 15 January 2008 concerning integrated pollution prevention and control.

62. Федеральный закон Российской Федерации от 22 июля 2008 г. № 123-ФЗ «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности».

63. ГОСТ 12.1.007—76. Вредные вещества. Классификация и общие требования безопасности.

64. Федеральный закон от 24 июня 1998 г. № 89-ФЗ «Об отходах производства и потребления» (с изменениями на 29 декабря 2014 г.).

65. Временная типовая методика определения экономической эффективности осуществления природоохранных мероприятий и оценки экономического ущерба, причиняемого народному хозяйству загрязнением окружающей среды (одобрена постановлением Госплана СССР, Госстроя СССР, Президиума АН СССР от 21 октября 1983 г. № 254/284/134).

66. Янсен Й. Экономические аспекты (частичной) имплементации директивы ККПЗ в Российской Федерации // Экономические аспекты экологической политики в России: Избранные материалы семинаров Проекта Тасис «Гармонизация нормативных баз в области охраны окружающей среды, Россия». М., 2004.

67. Bambang Veriansyah, Kim Jae-Duck Supercritical water oxidation for the destruction of toxic organic wastewaters: A review. Journal of Environmental Sciences 19(2007) 513–522.

68. gost.e-ecolog.ru

69. gost.e-ecolog.ru istry.ru/printletter.php?n_id=4406.

70. Альтовский Г. С., Бернадинер М. Н., Иванов В. В. Перспективы высокотемпературной паровой газификации отходов с использованием плазменных источников энергии // Экол. и пром-сть России. — 2011. — Февр. — С. 8–11.

71. Гусаров Е. Е., Малков Ю. П., Степанов С. Г., Трощиненко Г.А, Засыпкин И. М. Плазмохимическая технология обезвреживания галогенсодержащих отходов, в том числе полихлорированных бифенилов. Теплофизика и аэромеханика. — 2010. — Том 17. — № 4.

72. Каюмов Р. А., Гумеров Ф. М., Сагдеев А. А., Галимова А. Т. Комплексное обезвреживание сложносоставных отходов на примере отхода процесса эпоксидирования пропилена, Вестник Казанского технологического университета. — 2013. — Т. 16. — № 12. — С. 23–26.

73. Ларионов К. В. Разработка плазменно-пиролитического способа утилизации непригодных к применению пестицидов. Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук. Краснодар — 2009.

74. Максимов В. В., Павлов Г. И., Кочергин А. В., Багнюк В. П., Гармонов С. Ю. Применение установок с акустическими генераторами пульсирующего потока для огневого обезвреживания твердых отходов. Вестник Казанского технологического университета. — 2008. — № 5. — С. 188–199.

75. Михайлов Б. И. Электродуговые плазмохимические реакторы раздельного, совмещенного и раздельно-совмещенного типов Теплофизика и аэромеханика, 2010, том 17, № 3.

76. Отчет по контракту на оказание консультационных услуг № CS-NPA-Arctic-18/2010 от 15 августа 2010 года по реализации пилотного проекта «Создание системы уничтожения устаревших и запрещенных пестицидов в Российской Федерации с применением инновационных технологий». — 2010. — 738 с. Информационный ресурс npa-arctic.iwlearn.org/Documents/demos/pesticides/2.3.pdf.

77. Полканов М. А. Установка «Плутон»: плазменно-пиролитическая переработка твердых РАО. Безопасность ядерных технологий и окружающей среды. — 2012. — № 1. — «Замыкание ЯТЦ».

78. Предтеченский М. Р., Тухто О. М. Плазмохимический реактор с жидкометаллическими электродами // Химия высоких энергий. — 2006. — Т. 40. — № 2.

79. Сурис А. Л. Плазменные процессы в химии и инженерной экологии. — М. : МГУИЭ, 2006.

80. High Temperature Technologies Corporation // Steam Plasma Arc Torches. 2009.

81. ГОСТ 30772–2001. Межгосударственный стандарт. Ресурсосбережение. Обращение с отходами. Термины и определения.

gost.e-ecolog.ru