



ИНФОРМАЦИОННО-ТЕХНИЧЕСКИЙ СПРАВОЧНИК
ПО НАИЛУЧШИМ ДОСТУПНЫМ ТЕХНОЛОГИЯМ

ИТС 9 – 2020

**Утилизация и обезвреживание отходов
термическими способами**



Москва
Бюро НДТ
2020

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО
ПО ТЕХНИЧЕСКОМУ РЕГУЛИРОВАНИЮ И МЕТРОЛОГИИ



ИНФОРМАЦИОННО -
ТЕХНИЧЕСКИЙ
СПРАВОЧНИК
ПО НАИЛУЧШИМ
ДОСТУПНЫМ
ТЕХНОЛОГИЯМ

ИТС
9—
2020

**УТИЛИЗАЦИЯ И ОБЕЗВРЕЖИВАНИЕ ОТХОДОВ
ТЕРМИЧЕСКИМИ СПОСОБАМИ**



Москва
Бюро НДТ
2020

Оглавление

Введение	IV
Предисловие	VI
Область применения	1
Раздел 1 Общая информация о сфере утилизации и обезвреживания отходов термическими способами	4
1.1 Общая информация о сфере деятельности	4
1.2 Краткий обзор основных экологических проблем в сфере утилизации и обезвреживания отходов термическими способами	8
1.2.1 Экологические аспекты	8
1.2.2 Основные экологические проблемы	11
Раздел 2 Технологические, технические решения и системы менеджмента, используемые в настоящее время в сфере утилизации и обезвреживания отходов термическими способами	17
2.1 Общие положения	17
2.2 Основные эколого-энерготехнологические параметры [7]	18
2.3 Методы термической деструкции [18], [19]	20
2.3.1 Методы сжигания отходов	20
2.3.2 Методы пиролиза	43
2.3.3 Методы газификации	50
2.3.4 Методы, основанные на комбинированных методах (пиролиз- сжигание и др.)	56
2.3.5 Методы, основанные на применении плазменных источников энергии	61
2.4 Методы очистки дымовых газов	72
Раздел 3 Текущие уровни потребления ресурсов и эмиссий в окружающую среду	76
3.1 Уровни воздействия и потребления в сфере утилизации и обезвреживания отходов термическими способами	76
3.2 Мероприятия по снижению воздействия технологий на окружающую среду	110
Раздел 4 Определение наилучших доступных технологий	113
4.1 Общая методология определения технологии утилизации и обезвреживания отходов термическими способами в качестве НДТ	113
4.2 Методы, позволяющие пошагово рассмотреть несколько технологий и выбрать наилучшую доступную технологию	114
4.2.1 Шаг 1. Рассмотрение критериев 1, 5 «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» при одновременном внедрении на двух и более объектах»	117
4.2.2 Шаг 2. Рассмотрение критериев 2, 4 «Экономическая эффективность внедрения и эксплуатации и период внедрения»	120

4.2.3 Шаг 3. Рассмотрение критерия 3 «Применение ресурсо- и энергосберегающих методов»	121
4.2.4 Шаг 4. Принятие членами ТРГ решения об отнесении технологии к НДТ	122
Раздел 5 Наилучшие доступные технологии в сфере утилизации и обезвреживания отходов термическими способами	124
5.1 Перечень наилучших доступных технологий	124
5.1.1 Описание основных технологических, процессов утилизации и обезвреживания отходов термическими способами	124
5.1.2 Прием поступающих отходов	124
5.1.3 Накопление (хранение) отходов.....	126
5.1.4 Предварительная подготовка отходов	126
5.1.5 Технологии, применяемые на этапе утилизации и обезвреживания отходов термическими способами	127
5.1.6 Энергоэффективность. Теплоиспользование	131
5.1.7 Технологии очистки газообразных продуктов сгорания	136
5.1.8 Обезвреживание остатков, образующихся при очистке газообразных продуктов сгорания	146
5.1.9 Удаление остатков, образующихся при очистке газообразных продуктов сгорания	148
5.1.10 Мониторинг (производственный контроль) и регулирование выбросов.....	148
5.1.11 Контроль и обработка сточных вод.....	150
5.1.12 Обработка шлаков и зольных остатков, образующихся в результате сжигания	151
5.2 Варианты технологического процесса	154
5.2.1 Технологические процессы на базе методов сжигания	154
5.2.2 Технологические процессы на базе методов пиролиза	157
5.2.3 Технологические процессы на базе методов газификации	157
5.3 Технологические показатели наилучших доступных технологий	158
Раздел 6 Перспективные технологии в сфере утилизации и обезвреживания отходов термическими способами	166
6.1 Технология газификации твердых топлив и горючих отходов производства и потребления.....	166
6.2 Технология сжигания иловых осадков коммунальных очистных сооружений в кипящем слое катализатора	167
Заключительные положения и рекомендации.....	170
Приложение А (обязательное) Перечень маркерных веществ	171
Приложение Б (обязательное) Перечень НДТ	172
Приложение В (обязательное) Перечень технологических показателей	180
Приложение Г (справочное) Термины и определения.....	181
Приложение Д (обязательное) Ресурсная и энергетическая эффективность	183
Приложение Е (обязательное) Заключение по наилучшим доступным технологиям	190
Библиография.....	197

Введение

Настоящий справочник НДТ разделен на 6 разделов, содержащих информацию об уровне технического и технологического развития сферы утилизации и обезвреживания отходов термическими способами, применяемых наилучших доступных технологиях (далее — НДТ) и различных аспектах их применения, а также перспективных наилучших доступных технологиях. В приложении к справочнику НДТ в дополнение к ГОСТ Р 56828.15 «Наилучшие доступные технологии. Термины и определения» приводятся основные специализированные термины и определения, используемые при описании сферы утилизации и обезвреживания отходов термическими способами.

Краткое содержание справочника НДТ

Введение. Во введении приведено краткое содержание справочника НДТ.

Предисловие. В предисловии указаны цель разработки справочника НДТ, его статус, правовой контекст, описание конкретных проблем, решаемых справочником НДТ, описание процедуры создания в соответствии с установленным порядком, а также порядок его применения.

Область применения. В разделе приводится детализация области применения НДТ, на которую распространяется действие справочника НДТ в соответствии с действующим законодательством. Определена граница отнесения к области применения объектов утилизации и обезвреживания отходов термическими способами.

В разделе 1 дана общая информация о сфере утилизации и обезвреживания отходов термическими способами: на основании предоставленных предприятиями анкет приведены обобщенные данные о технологиях и оборудовании, применяемых в Российской Федерации для термических способов утилизации и обезвреживания отходов, содержащих в своем составе органические вещества, с целью снижения уровня их опасности и (или) уменьшения их массы; 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 утилизации и обезвреживания отходов термическими способами 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 утилизации и обезвреживания отходов термическими способами 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 наилучших доступных технологий при утилизации и обезвреживании отходов термическими способами, в том числе с использованием методов, позволяющих пошагово рассмотреть несколько технологий и выбрать наилучшую доступную технологию. Приводится описание наилучших

доступных технологий по утилизации и обезвреживанию отходов термическими способами, позволяющих сократить эмиссии в окружающую среду, потребление сырья, воды, энергии и снизить воздействие отходов на окружающую среду. Приводятся данные о потреблении ресурсов и повышении энергоэффективности, технологические показатели НДТ.

В разделе 5 приводится краткое описание наилучших доступных технологий по утилизации и обезвреживанию отходов термическими способами. Приводятся данные о технологических показателях НДТ.

В разделе 6 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.

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». Перечень областей применения наилучших доступных технологий определен Распоряжением Правительства Российской Федерации от 24 декабря 2014 г. № 2674-р (ред. от 24.05.2018).

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 (ТРГ 9), состав которой утвержден Приказом Минпромторга России от 3 апреля 2020 г. № 1118 (в редакции Приказа Минпромторга России № 4094 от 24 ноября 2020 г.).

Справочник НДТ представлен на утверждение Бюро наилучших доступных технологий (далее — Бюро НДТ) (www.burondt.ru).

3 Краткая характеристика

Справочник НДТ содержит описание применяемых в сфере утилизации и обезвреживания отходов термическими способами технологических процессов, оборудования, технических способов, методов, в том числе позволяющих снизить негативное воздействие на окружающую среду, водопотребление, повысить энергоэффективность, ресурсосбережение. Из ряда описанных технологических процессов, оборудования, технических способов, методов определены решения, являющиеся наилучшими доступными технологиями. Для наилучших доступных технологий 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).

Справочник НДТ актуализирован в 2020 году с учетом следующих справочников Европейского союза по наилучшим доступным технологиям:

– справочник ЕС по наилучшим доступным технологиям «Европейская комиссия. Директива о промышленных эмиссиях 2010/75/EU. Справочное руководство по наилучшим доступным технологиям. Сжигание отходов. 2019 г.» (European Commission. Industrial Emissions Directive 2010/75/EU. Integrated Pollution Prevention and Control. Best Available Techniques (BAT) Reference Document for Waste Incineration, 2019);

– справочник ЕС по наилучшим доступным технологиям «Европейская комиссия. Директива о промышленных эмиссиях 2010/75/EU. Комплексное предотвращение и контроль загрязнения. Справочное руководство по наилучшим доступным технологиям. Обработка отходов. 2018 г.» (European Commission. Industrial Emissions Directive 2010/75/EU. Integrated Pollution Prevention and Control Best Available Techniques (BAT) Reference Document for Waste Treatment, 2018).

Информация из справочников ЕС использовалась с учетом особенностей утилизации и обезвреживания отходов термическими способами в Российской Федерации.

5 Сбор данных

Информация о технологических процессах, оборудовании, технических способах, методах, применяемых при утилизации и обезвреживании отходов термическими способами в Российской Федерации, была обновлена в процессе актуализации справочника НДТ в соответствии с Порядком сбора и обработки данных, необходимых для разработки и актуализации информационно-технических справочников по наилучшим доступным технологиям, утвержденным Приказом Минпромторга России от 18 декабря 2019 г. № 4841.

6 Взаимосвязь с другими справочниками НДТ

Взаимосвязь настоящего справочника НДТ с другими справочниками НДТ, разрабатываемыми (актуализируемыми) в соответствии с Распоряжением Правительства Российской Федерации от 30 апреля 2019 г. № 866-р «Об утверждении поэтапного графика актуализации информационно-технических справочников по наилучшим доступным технологиям», приведена в разделе «Область применения».

7 Информация об утверждении, опубликовании и введении в действие

Справочник НДТ утвержден Приказом Росстандарта от 23 декабря 2020 г. № 2181.

Актуализированная редакция Справочника НДТ введена в действие с 1 июля 2021 г., официально опубликована в информационной системе общего пользования — на официальном сайте Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии в сети Интернет (www.rst.gov.ru).

8 Взамен ИТС 9-2015

ИНФОРМАЦИОННО-ТЕХНИЧЕСКИЙ СПРАВОЧНИК ПО НАИЛУЧШИМ ДОСТУПНЫМ ТЕХНОЛОГИЯМ

УТИЛИЗАЦИЯ И ОБЕЗВРЕЖИВАНИЕ ОТХОДОВ ТЕРМИЧЕСКИМИ СПОСОБАМИ

THERMAL TREATMENT OF WASTE

Дата введения — 2021-07-01

Область применения

Настоящий справочник НДТ распространяется на следующие виды деятельности: утилизация и обезвреживание отходов, содержащих в своем составе органические вещества, термическими способами с деструкцией органических веществ, в том числе:

- сжигание отходов;
- пиролиз;
- газификация;
- методы, основанные на применении плазменных источников энергии;
- комбинация указанных выше методов.

Реализация перечисленных методов может осуществляться с целью:

- получения материальной продукции;
- получения энергии (в том числе энергетическая утилизация ТКО);
- обезвреживания отходов.

Данные виды деятельности согласно «ОК 029-2014 (КДЕС Ред. 2). Общероссийский классификатор видов экономической деятельности» (утв. Приказом Росстандарта от 31 января 2014 г. № 14-ст) (ред. от 12.02.2020 г.) относятся к коду 38.2.

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 утилизируемых и обезвреживаемых отходов;
- выбор и подготовка потребляемых материалов и топлива;
- методы предотвращения и сокращения эмиссий и образования отходов;
- способы преобразования энергии, полученной при термических процессах, в электрическую или тепловую энергию;

– технологии термической утилизации и обезвреживания отходов, являющиеся неотъемлемым подпроцессом технологического процесса производства отраслевой продукции на предприятиях, в случае если в соответствующем отраслевом справочнике НДТ они не рассмотрены.

Справочник НДТ не распространяется на:

– технологии утилизации и обезвреживания отходов, в процессе которых используются методы термического воздействия, не приводящие к деструкции отходов (сушка, дистилляция и т. п.);

– технологии обеззараживания медицинских отходов, используемые непосредственно в медицинских учреждениях и не предусматривающие термическую деструкцию органических веществ, входящих в состав медицинских отходов, с использованием методов сжигания, пиролиза, газификации;

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

Дополнительные виды деятельности при утилизации и обезвреживании отходов термическими способами и соответствующие им справочники НДТ приведены в таблице 1.

Т а б л и ц а 1 — Дополнительные виды деятельности при утилизации и обезвреживании отходов термическим способом и соответствующие им справочники НДТ

Вид деятельности	Соответствующий справочник
Утилизация и обезвреживание отходов другими способами	ИТС 15-2016 «Утилизация и обезвреживание отходов (кроме обезвреживания термическим способом (сжигание отходов)»
Размещение отходов	ИТС 17-2016 «Размещение отходов производства и потребления»
Очистка сточных вод с использованием централизованных систем водоотведения поселений, городских округов: сжигание осадков сточных вод	ИТС 10-2019 «Очистка сточных вод с использованием централизованных систем водоотведения поселений, городских округов»
Производство целлюлозы, древесной массы, бумаги, картона: сжигание отходов производства	ИТС 1-2015 «Производство целлюлозы, древесной массы, бумаги, картона»
Сжигание топлива на крупных установках в целях производства энергии	ИТС 38-2017 «Сжигание топлива на крупных установках в целях производства энергии»
Производство основных органических химических веществ: сжигание отходов производства	ИТС 18-2019 «Производство основных органических химических веществ»

Окончание таблицы 1

Вид деятельности	Соответствующий справочник
Производство продукции тонкого органического синтеза: сжигание отходов производства	ИТС 31-2017 «Производство продукции тонкого органического синтеза»
Добыча нефти: сжигание отходов производства	ИТС 28-2017 «Добыча нефти»
Очистка выбросов вредных (загрязняющих) веществ в атмосферный воздух при производстве продукции (товаров), а также при проведении работ и оказании услуг на крупных предприятиях	ИТС 22-2016 «Очистка выбросов вредных (загрязняющих) веществ в атмосферный воздух при производстве продукции (товаров), а также при проведении работ и оказании услуг на крупных предприятиях»
Производственный экологический контроль	ИТС 22.1–2016 «Общие принципы производственного экологического контроля и его метрологического обеспечения»
Повышение энергетической эффективности	ИТС 48-2017 «Повышение энергетической эффективности при осуществлении хозяйственно и (или) иной деятельности»

Раздел 1 Общая информация о сфере утилизации и обезвреживания отходов термическими способами

1.1 Общая информация о сфере деятельности

В настоящем разделе на основании предоставленных предприятиями и организациями анкет представлены технологии и оборудование, применяемые в Российской Федерации для утилизации и обезвреживания отходов, содержащих в своем составе органические вещества, термическими способами. Специализация рассматриваемых технологий ориентирована на группы видов отходов, содержащих в своем составе органические вещества и подлежащих утилизации и обезвреживанию термическими способами.

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); медицинские отходы; биологические отходы; загрязненные органическими веществами грунты; пришедшие в негодность и запрещенные пестициды; стойкие органические 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 утилизации или обезвреживанию.

Классификация отходов, подвергаемых утилизации и обезвреживанию термическими способами, объединяет семь основных показателей.

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

В соответствии с Федеральным классификационным каталогом отходов, утвержденным Приказом Росприроднадзора от 22 мая 2017 г. № 242 (далее — ФККО-2017) [3], отходы по агрегатному состоянию и физической форме подразделяются следующим образом (девятый и десятый знаки кода): жидкое (10); твердое в различных формах (20–29); дисперсные системы различных видов (30–39); твердые сыпучие материалы в различных формах (40–49); изделия из твердых материалов, за исключением волокон (50–59); изделия из волокон (60–69); смеси твердых материалов и изделий (70–79).

2) По горючести отходы разделяются на три класса: горючие, трудногорючие и негорючие:

– негорючие (несгораемые) — вещества и материалы, не способные к горению в воздухе. Негорючие вещества могут быть пожаровзрывоопасными (например

окислители или вещества, выделяющие горючие продукты при взаимодействии с водой, кислородом воздуха или друг с другом);

– трудногорючие (трудносгораемые) — вещества и материалы, способные гореть в воздухе при воздействии источника зажигания, но не способные самостоятельно гореть после его удаления;

– горючие (сгораемые) — вещества и материалы, способные самовозгораться, а также возгораться при воздействии источника зажигания и самостоятельно гореть после его удаления. Горючие жидкости с температурой вспышки не более 61 °С в закрытом тигле или 66 °С в открытом тигле, зафлегматизированных смесей, не имеющих вспышку в закрытом тигле, относят к легковоспламеняющимся. Особо опасными называют легковоспламеняющиеся жидкости с температурой вспышки не более 28 °С [61].

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 утилизации и обезвреживании которых образуются оксиды азота (NO_x);

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

– к четвертой группе относятся отходы, при утилизации и обезвреживании которых образуются неорганические соли: хлориды, сульфаты, фосфаты (NaCl , Na_2SO_4 , $\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7$, 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 оксиды металлов, в том числе тяжелых металлов (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, при утилизации и обезвреживании 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, при утилизации и обезвреживании которых в качестве нейтрализующего реагента используются соединения щелочно-земельных металлов (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 утилизации и обезвреживании которых в качестве нейтрализующего реагента используются щелочные и щелочно-земельные реагенты;

– к четвертой группе относятся отходы, при утилизации и обезвреживании которых не требуется применение нейтрализующих реагентов.

5) По летучести органических примесей отходы разделяются на 4 группы. При оценке летучести веществ сопоставляют температуру их кипения $t_{\text{кип}}$ с равновесной температурой испарения воды $t_{\text{равн}}$ 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 $85\text{ }^{\circ}\text{C}$, вещества с температурой кипения $85\text{ }^{\circ}\text{C} < t_{\text{кип}} < 100\text{ }^{\circ}\text{C}$ относят к летучим, к малолетучим относят вещества с высокой температурой кипения $t_{\text{кип}} > 200\text{ }^{\circ}\text{C}$, 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 утилизации и обезвреживания;

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

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

7) По возможности возгонки минеральных продуктов процесса термической деструкции отходы подразделяются на три типа:

а) полностью возгоняющиеся вещества;

б) частично возгоняющиеся вещества;

в) практически не возгоняющиеся вещества.

В практике утилизации и обезвреживания отходов, содержащих органические вещества, нашли широкое применение три основных метода термического воздействия [2]:

а) Высокотемпературный окислительный метод (сжигание). Его сущность заключается в сжигании горючих 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.

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 $\sim 13\text{--}21$ МДж/м³. При низких температурах пиролиза ($\sim 400\text{--}600$ °С) больше доля образующихся жидких смолообразных продуктов, а при высоких ($\sim 700\text{--}1050$ °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. Жидкие продукты могут применяться в качестве компонента топлив, растворителей, нефтехимического сырья. Количество и качество продуктов сухого пиролиза зависят от состава отходов и температуры процесса. В зависимости от температуры различают три вида сухого пиролиза:

- низкотемпературный пиролиз ($450\text{--}550$ °С), при котором максимален выход жидких продуктов и твердого остатка (полукокса) и минимален выход пиролизного газа с максимальной теплотой сгорания;

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

- высокотемпературный пиролиз ($900\text{--}1050$ °С), при котором минимален выход жидких продуктов и твердого остатка и максимален выход пиролизных газов с минимальной теплотой сгорания.

в) Газификация — процесс термической деструкции отходов, содержащих органические вещества, окислителем (воздухом, кислородом, водяным паром, диоксидами углерода 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.

1.2 Краткий обзор основных экологических проблем в сфере утилизации и обезвреживания отходов термическими способами

Сжиганием называется контролируемый процесс окисления твердых, пастообразных или жидких горючих отходов, содержащих органические вещества.

Метод пиролиза заключается в термическом воздействии на отходы, при котором происходит их необратимое химическое изменение под действием повышенной температуры без доступа или с ограниченным доступом кислорода с выделением горючего пиролизного газа (пирогаза), жидких и твердых продуктов [2], [15]. Технологическая цепь пиролиза состоит из следующих этапов:

- подготовка отходов;
- термодеструкция подготовленных отходов в реакторе для получения пирогаза и пиролизного масла и твердого остатка;
- конденсация и сепарация полученного газа с получением жидкой фракции и пирогаза;
- очистка пирогаза от соединений хлора, фтора, серы, цианидов с целью повышения его экологических показателей и энергоемкости;
- сбор и сжигание очищенного пирогаза в топке котла-утилизатора для получения пара, горячей воды или электроэнергии или использование пирогаза для производства продукции;
- сбор пиролизного масла и твердого остатка.

Газификация — это процесс термической деструкции 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.

1.2.1 Экологические аспекты

Экологические проблемы в сфере утилизации и обезвреживания отходов термическими способами 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 утилизации и обезвреживании отходов термическими способами к экологическим аспектам, оказывающим прямое воздействие на окружающую среду и здоровье человека, относятся:

- выбросы в атмосферу;
- сбросы сточных вод в водные объекты;

- образование вторичных отходов;
- хранение (накопление) утилизируемых и обезвреживаемых отходов и применяемых реагентов, в том числе опасных;
- физические воздействия (преимущественно шум);
- запахи.

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.

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 различных газоочистных установках («мокрых» скрубберах, электрофильтрах, тканевых фильтрах и др.) [5], [6].

Термодеструкция отходов на современном уровне развития науки и техники обеспечивает практически полное разрушение находящихся в отходах органических вредных веществ и продуктов их неполного разложения, что достигается с помощью высоких температур (более 1000 °С), времени пребывания газов в горячей зоне не менее двух секунд и турбулентности пламени при концентрации кислорода не менее 6 %. Это относится и к диоксидам 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, как результат, эффективной сепарации всех диоксинов и фуранов [7], [8], [9]. Эти технологические решения закладываются при создании целого ряда установок, на которых применяется метод сжигания, и непосредственно реализуются на современных мусоросжигательных заводах. Для очистки дымовых газов на мусоросжигательных заводах 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].

Пиролиз 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. Такой подход позволяет существенно снизить объем выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух. Пиролизное масло может в дальнейшем использоваться как топливо для пиролизной установки или направляться на ректификацию с получением продукции различного качества и степени очистки (например средних дистиллятов). Образующийся при этом коксовый остаток имеет высокую плотность, а при качественной предварительной сортировке твердый остаток может быть ценным продуктом, что резко уменьшает объем образующихся отходов.

Таким образом, существенными экологическими аспектами утилизации и обезвреживания отходов термическими способами являются:

- выбросы в атмосферу, состав и уровень которых существенно зависит от групп видов утилизируемых и обезвреживаемых отходов и их компонентного состава;
- количество и классы опасности отходов, которые образовались в результате утилизации и обезвреживания (термического разложения);
- уровень потребления энергоресурсов, который также в значительной степени зависит от групп видов утилизируемых и 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 утилизацией и обезвреживанием отходов термическими способами, 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 устанавливал иерархию приоритетов применяемых методов, а также критерии, позволяющие отличить утилизацию отходов термическими способами от их обезвреживания.

Применительно к термическим способам удаления твердых коммунальных отходов (далее — ТКО) негативную роль играют: слабое развитие селективного сбора вторичных материальных ресурсов и опасных отходов, которые попадают в ТКО; низкая эффективность их сортировки, которая не позволяет снизить вероятность попадания в поток направляемых на сжигание или пиролиз утильных фракций, опасных отходов потребления (ртутных ламп и других ртутьсодержащих приборов, батареек, аккумуляторов и др.). Эти факторы создают серьезные трудности для широкого применения термических способов обращения с ТКО, 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» [44] в значительной мере способствует решению указанных проблем при условии реализации его положений в полном объеме. Введение в Федеральный закон «Об отходах производства и потребления» понятия «энергетическая утилизация», которое отнесено исключительно к ТКО, также осложняет обоснование возможности рассматривать получение энергии при термической обработке (сжигание, пиролиз, газификация) прочих горючих отходов как процесс их утилизации.

1.2.2.2 Проблемы ресурсосбережения

Серьезное внимание необходимо уделить не только созданию условий для исключения попадания в состав смешанных отходов, направляемых на сжигание,

пиролиз, газификацию, вторичных материальных ресурсов, для максимально полного извлечения из потоков отходов компонентов, пригодных для получения материальной продукции, но и проблеме максимального использования вторичных энергетических ресурсов, которые образуются в результате утилизации и обезвреживания отходов термическим способом. Данная проблема особенно актуальна для таких крупных объектов, как мусоросжигательные заводы, в том числе с точки зрения повышения их энергетической и экономической эффективности.

1.2.2.3 Технико-технологические проблемы

К объектам, предназначенным для утилизации и обезвреживания отходов термическим способом, могут относиться такие участки, как:

- участок накопления отходов, подлежащих утилизации или обезвреживанию. Для ритмичной и бесперебойной работы основного оборудования по утилизации и обезвреживанию отходов термическим способом, 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 объект отходов, а также постоянный производственный контроль;

- участок предварительной подготовки отходов, подлежащих утилизации и обезвреживанию, что также требует и соответствующего технического оснащения, и постоянного производственного контроля;

- участок утилизации и обезвреживания отходов термическим способом, на котором используется сложное технологическое оборудование, эксплуатация которого должна осуществляться с четким соблюдением технологических режимов, с регулярным обслуживанием оборудования, необходимостью технического и технологического совершенствования процессов;

- блок очистки выбросов, сбросов, образующихся в результате утилизации и обезвреживания отходов термическим способом, что требует серьезного технического оснащения и постоянного производственного контроля, в том числе аналитическими методами;

- участок накопления вторичных отходов, образующихся в результате термодеструкции отходов и 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;

- блок получения электрической и/или тепловой энергии.

При утилизации и обезвреживании отходов сжиганием 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 выше 850 °С в течение двух и более секунд и турбулентности пламени (его «перемешивании») при концентрации кислорода не менее 6 % для полной 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 180–200 °С);

- обязательное применение многоступенчатой системы газоочистки.

Пиролиз и газификация, в том числе с применением плазматронов [16], [17], имеют определенные преимущества, но применяются в настоящее время сравнительно редко вследствие жестких требований к качеству поступающих на термодеструкцию отходов, 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 следует отметить следующие свойства ТКО, образующихся при условиях совместного их накопления в отсутствие отдельного сбора:

- 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 смёта;

- 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.

Объекты, на которых осуществляется сжигание опасных отходов, сталкиваются с проблемой превышения содержания оксидов азота, серы и углерода, а также диоксинов, бензапирена и т. п. в газовых выбросах над установленными нормативами. Колебания количества выбрасываемых загрязняющих веществ связаны в основном с загрузкой 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 следует оборудовать системами остановки подачи отходов до момента восстановления концентрации кислорода до оптимальной или дополнительной инъекции 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.

Изложенные выше проблемы требуют соответствующих технологических решений, достаточной квалификации обслуживающего персонала и материально-финансовых затрат.

1.2.2.4 Финансово-экономические проблемы

Создание и функционирование объектов для термической утилизации или обезвреживания отходов, прежде всего ТКО, требует немалых финансовых вложений, которые имеют значительные сроки окупаемости.

Утилизация и обезвреживание отходов сопровождается выделением значительного количества по массе и номенклатуре загрязняющих веществ, что требует многоступенчатой очистки и соответственно затрат на очистку, в первую очередь выбросов в атмосферный воздух.

Организация производственного экологического контроля параметров производственных процессов, эмиссий в окружающую среду обуславливает относительно высокие затраты.

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.

1.2.2.5 Экологические и санитарно-гигиенические проблемы

Термические способы утилизации и обезвреживания отходов сопровождаются выделением (в том числе неучтенных) побочных продуктов, многие из которых наносят вред окружающей среде и здоровью людей. В большинстве случаев в результате термодеструкции отходов образуется (эмитирует в окружающий воздух) широкий спектр 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, подлежащих контролю в рамках ряда международных соглашений.

Технологические (сточные) воды также требуют соответствующих систем очистки.

Зола (уловленная) и шлак, образующиеся при сгорании отходов, должны быть размещены на специализированных объектах, обустройство которых должно обеспечить защиту окружающей среды от возможного воздействия токсичных компонентов этих отходов, или повторно использованы для производства продукции, выполнения работ, оказания услуг.

Особую проблему (особенно для обслуживающего персонала) могут создавать неорганизованные выбросы из установок и оборудования, 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 утилизации и обезвреживанию отходов термическим способом обуславливает необходимость организации систем экологического производственного контроля и экологического мониторинга их деятельности. 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).

Директива № 2010/75/ЕС Европейского парламента и Совета Европейского Союза «О промышленных эмиссиях (комплексное предотвращение и контроль загрязнения) (новая редакция)» [45] устанавливает требования к контролю в выбросах объектов, на которых применяются термические способы утилизации и обезвреживания отходов, следующих веществ: летучая зола и пыль, органические вещества, хлористый водород, фтористый водород, сернистый ангидрид, оксиды азота, оксид углерода, кадмий, таллий, ртуть, кобальт, хром, марганец, никель, мышьяк, медь, свинец, сурьма, ванадий, диоксины, фураны, полихлорированные дибензодиоксины и дибензофураны.

Справочник ЕС по наилучшим доступным технологиям Best Available Techniques (BAT) Reference Document for Waste Incineration, 2019 [60] содержит перечень

веществ, подлежащих обязательному контролю, для объектов, на которых происходит утилизация и обезвреживание отходов.

1.2.2.7 Социально-психологические проблемы

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

Решением данной проблемы могла бы стать законодательно определенная иерархия приоритетов в выборе тех или иных технологических решений.

Раздел 2 Технологические, технические решения и системы менеджмента, используемые в настоящее время в сфере утилизации и обезвреживания отходов термическими способами

2.1 Общие положения

В общем виде технологическая схема комплексной установки для утилизации и обезвреживания термическими методами отходов, содержащих органические вещества, может включать [7] следующие блоки:

- блок подготовки отходов;
- блок собственно термической обработки отходов;
- блок теплоиспользования;
- блок получения органических продуктов (синтез-газ, жидкое топливо, кокс);
- блок получения минеральных продуктов (керамика, цемент, минеральные соли, кислоты, металлы и др.);
- блок многоступенчатой очистки отходящих газов перед их выбросом в атмосферу.

Технология термодеструкции отходов, кроме твердых коммунальных отходов, признается технологией утилизации отходов термическими методами в следующих случаях:

- термодеструкция отходов проводится с целью получения материальной продукции, соответствующей установленным стандартам, при этом возможно использование тепла отходящих газов с целью получения тепловой или электрической энергии;
- термодеструкция отходов применяется для получения энергии (электрической и/или тепловой).

Технология термодеструкции твердых коммунальных отходов признается технологией утилизации термическими методами в случаях, если термодеструкция применяется для получения энергии (электрической и/или тепловой), при этом энергетическая эффективность, рассчитанная по формуле 1 Приложения Д для комбинированного производства тепловой и электрической энергии (когенерация), составляет не менее 0,65, а для конденсационного режима (производится только электрическая энергия) составляет не менее 0,45. Технология термодеструкции отходов признается технологией обезвреживания отходов, если термодеструкция используется для отходов, не пригодных для/не подлежащих утилизации, для целей уменьшения массы отходов, изменения их состава, физических и химических свойств, снижения негативного воздействия; при этом возможно использование тепла отходящих газов.

Исходные данные для разработки установок утилизации и обезвреживания отходов термическим способом должны обязательно включать информацию об отходах, направляемых на утилизацию или обезвреживание, с учетом приведенной в разделе 1 классификации отходов и агрегатную мощность (нагрузку).

По возможности передвижения установок можно выделить: мобильные, передвижные установки, не имеющие прочной связи с землей и конструктивные характеристики которых позволяют осуществить их перемещение и (или) демонтаж и последующую сборку без несоразмерного ущерба назначению и без изменения основных характеристик оборудования включенного в их состав, и стационарные установки – объекты, которые прочно связаны с землей и их перемещение влечет несоразмерный ущерб их назначению.

По мощности установки можно выделить следующим образом:

- установки малой мощности 10–500 кг/ч (мобильные, передвижные);
- установки средней мощности с агрегатной нагрузкой 500–2000 кг/ч (в том числе транспортабельные, то есть способные к перебазированию на новую площадку);
- установки станции большой агрегатной мощности 2000–10000 кг/ч (стационарные).

Выбор НДТ должен осуществляться для различных технологических схем и быть направлен на максимальное снижение эмиссий в окружающую среду, ресурсо- и энергосбережение, в том числе выработку энергии и получение побочных минеральных и органических продуктов. Выбор НДТ осуществляется на основе Методических рекомендаций определения технологии в качестве наилучшей доступной технологии (Приказ Минпромторга России от 23 августа 2019 г. № 3134), учитывающих совокупность соответствующих критериев.

2.2 Основные эколого-энерготехнологические параметры [7]

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

а) температурный уровень процесса. По этому параметру термические процессы и реакторы можно подразделить на низкотемпературные (температура отходящих газов $t_{or} = 400–600$ °С); среднетемпературные ($t_{or} = 600–1000$ °С); высокотемпературные ($t_{or} \geq 1000–2000$ °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_p (м³) к объемному расходу газов V_r (м³/с);

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

3) $t_{\text{преб}} = 0,5-2$ с (повышенная величина V_p/V_r);

4) $t_{\text{преб}} > 2$ с (сверхвысокая величина V_p/V_r);

в) интенсивность перемешивания компонентов в рабочей зоне термического реактора;

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 используются:

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

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

3) комбинированный источник;

е) тип окислителя. Применяются:

1) воздух;

2) технический кислород;

3) обогащенное кислородом воздушное дутье;

4) водяной пар;

5) диоксид 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 утилизации и обезвреживания жидких, твердых и пастообразных отходов.

2.3 Методы термической деструкции [18], [19]

В настоящее время для утилизации и обезвреживания отходов термическим способом чаще других используются сжигание, пиролиз, газификация.

2.3.1 Методы сжигания отходов

Наиболее распространенным методом термодеструкции является сжигание (огневой метод), используемое для утилизации и обезвреживания жидких, твердых, пастообразных отходов.

Целеполагание сжигания отходов заключается в:

- обезвреживании отходов, направленном на уменьшение их массы, изменение состава, физических и химических свойств в целях снижения негативного воздействия отходов на здоровье человека и окружающую среду;
- утилизации отходов, направленной на получение энергии, выделяемой при горении отходов или их компонентов.

Блок-схемы сжигания отходов с различными подходами в целеполагании (с целью обезвреживания и получения различных видов энергии) приведены на рисунках 2.1 и 2.2.

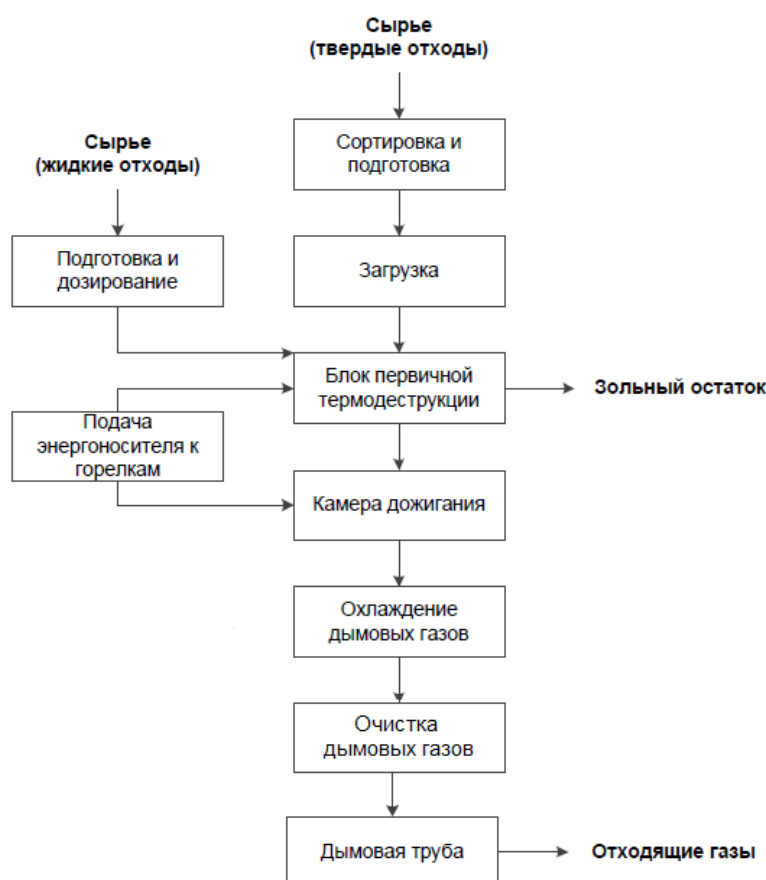


Рисунок 2.1 — Общая схема сжигания отходов с целью обезвреживания

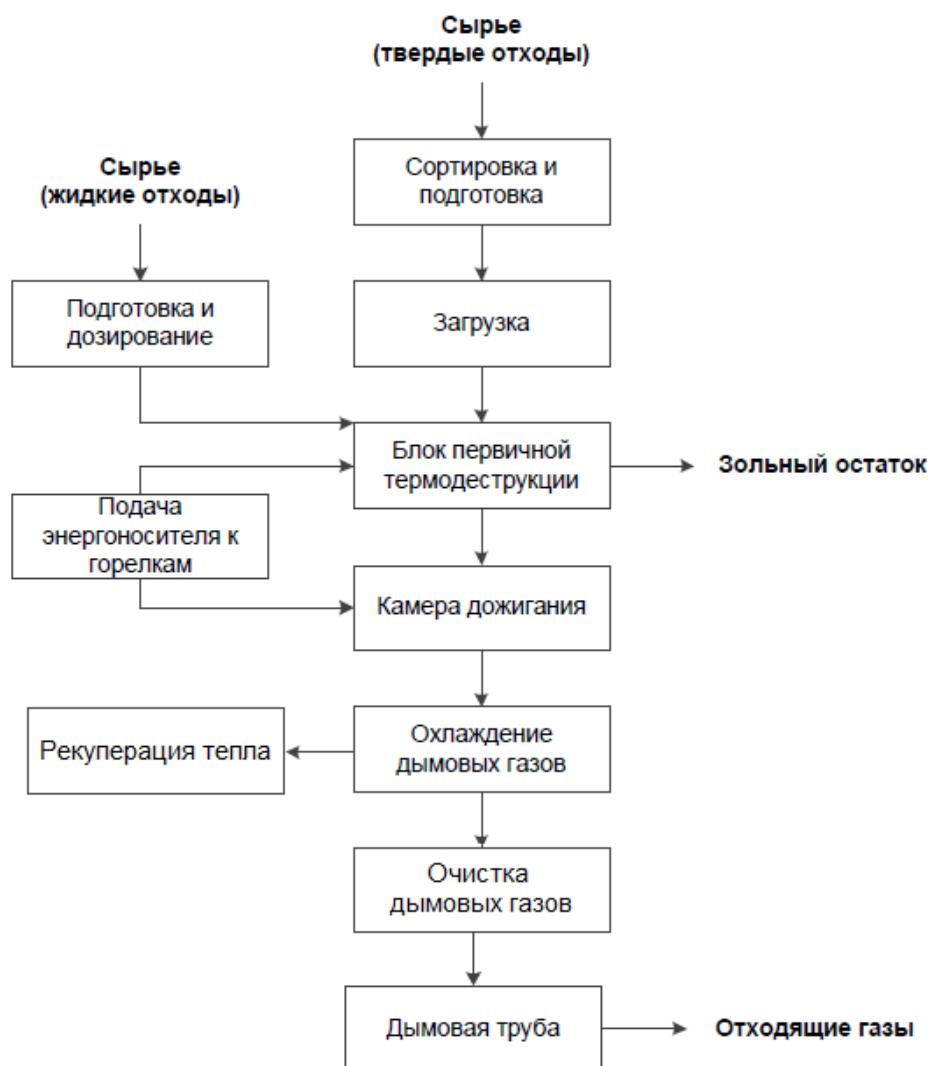


Рисунок 2.2 — Общая схема сжигания отходов с целью получения различных видов энергии

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

В мировой практике сжигание отходов подразделяется на пять групп, имеющих свои технологические особенности [14]:

- сжигание смешанных коммунальных (муниципальных) отходов. Такое сжигание традиционно представляет собой термическую обработку смешанных и практически необработанных коммунальных отходов, образующихся в жилом секторе. Иногда применяется совместное сжигание таких отходов с промышленными отходами;

- сжигание коммунальных или других отходов, предварительно подготовленных к сжиганию, то есть отходов, собранных в системе отдельного сбора, предварительно обработанных для повышения их теплотворной способности;

- сжигание опасных отходов на промышленных объектах, где эти отходы образовались, или специализированных заводах;

– сжигание осадков сточных вод на специализированных установках или на установках для сжигания отходов (вместе с другими отходами, например коммунальными);

– сжигание медицинских отходов на специализированных установках.

В настоящем разделе рассмотрены наиболее распространенные виды оборудования для термической обработки отходов:

- слоевые печи;
- печи с псевдоожиженным слоем;
- вращающиеся печи;
- циклонные печи;
- шахтные печи;
- печи с жидкой ванной расплава;
- подовые печи.

Технология сжигания в слоевых топках с возможностью получения энергии

Для сжигания в слоевых топках наиболее пригодными считаются следующие виды отходов:

- смешанные коммунальные отходы;
- отработанные масла (в случаях, предусмотренных законодательством);
- опасные отходы (частично, только горючие вещества);
- лакокрасочные отходы;
- промышленные отходы (горючие вещества, особенно мелкокусковые смеси; например посторонние вещества, отделяемые при переработке макулатуры в бумажной промышленности);
- древесные отходы (при отсутствии возможности других методов утилизации);
- строительные отходы (применяется для горючей составляющей строительных отходов);
- горючие фрагменты крупногабаритных отходов;
- прочие отходы (горючие вещества).

Отходы, подлежащие сжиганию в слоевых топках, требуют предварительной обработки: должны быть удалены крупные фракции, создающие помехи (например металлоотходы); отходы не должны содержать радиоактивных компонентов; в некоторых случаях требуется предварительное измельчение.

В отечественной и зарубежной практике для термических способов утилизации и обезвреживания твердых и пастообразных отходов, содержащих органические вещества, наиболее широко используются слоевые печи. Принципиальная схема слоевого сжигания представлена на рисунке 2.3.

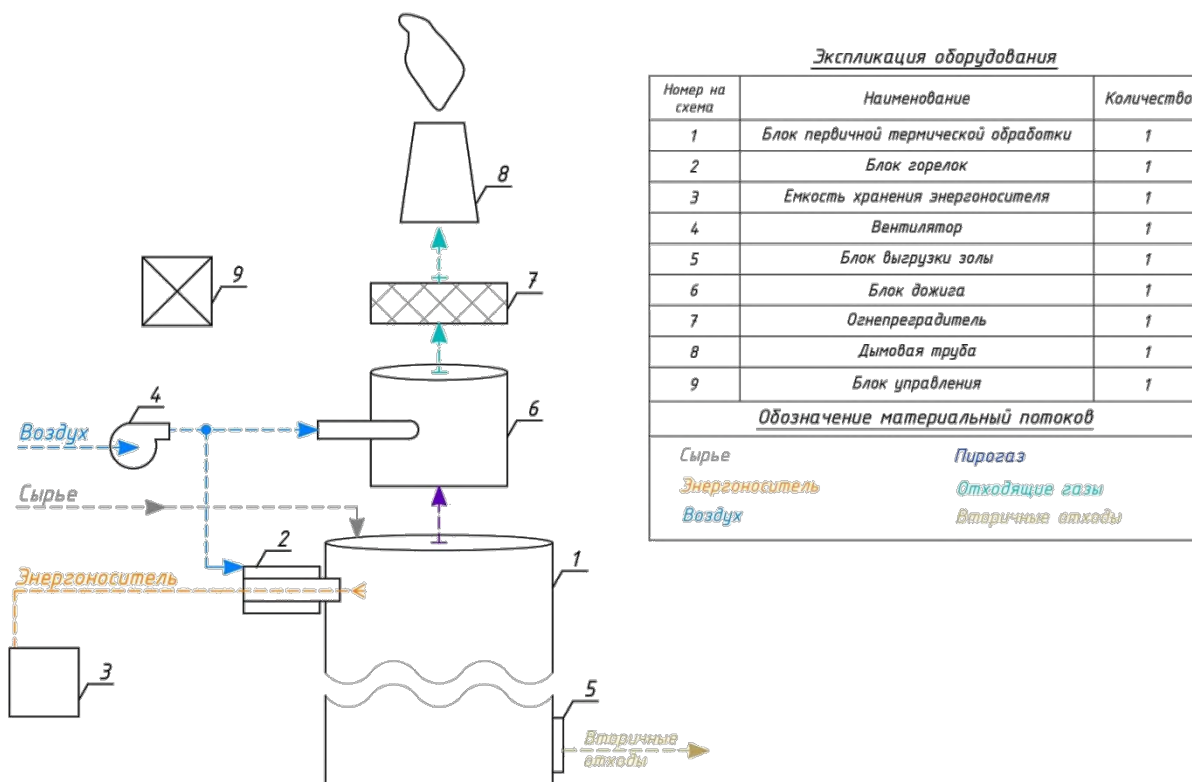


Рисунок 2.3 — Принципиальная схема слоевого сжигания отходов

ЛОКАЛЬНЫЕ УСТАНОВКИ. В последние годы следует отметить большое количество российских разработок и зарубежных поставок локальных установок термической деструкции отходов с использованием слоевых топков (см. рисунок 2.4).



Рисунок 2.4 — Варианты локальных установок со слоевым сжиганием отходов

Недостатком этих установок является отсутствие системы 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.

Слоевые печи надежны в эксплуатации, просты при обслуживании (особенно топки с неподвижным подом) и имеют длительный ресурс, однако пригодны для термического обезвреживания ограниченного перечня 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 разложения отходов — повышенный механический недожог, то есть наличие остаточных токсичных органических соединений в шлаке и выбросы с дымовыми газами супертоксиантов: молекулярного хлора (Cl_2), фосгена (COCl_2), бензапирена, 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 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.

СТАЦИОНАРНЫЕ УСТАНОВКИ. Сжигание отходов в слоевой топке на стационарных установках является наиболее часто применяемым методом сжигания ТКО с возможностью производства энергии. В отличие от иных способов сжигания отходы подаются на колосниковую решетку в камере сгорания.

Подача отходов на колосниковую решетку системами загрузки, а также их сжигание, осуществляются непрерывно в течение суток, в то время как доставка отходов к установке осуществляется периодически (в большинстве случаев в дневное время). Поэтому перед слоевой топкой всегда устанавливается подземный бункер. Кроме постоянного хранения необходимого запаса отходов он также обеспечивает их перемешивание, обеспечивающее гомогенизацию отходов перед сжиганием (установление примерно стабильных показателей теплотворной способности).

Топки со слоевым сжиганием отходов различаются по типу и принципу работы колосниковых решеток, которые транспортируют отходы так, что обеспечивается хорошее перемешивание и прохождение через различные температурные зоны.

Имеются три различные системы [62]:

– при системе с переталкивающей колосниковой решеткой отходы транспортируются колосниками. Наклонная поверхность решетки не является необходимой, хотя и предлагается некоторыми изготовителями. За счет ускорения движения решетки можно увеличить скорость подачи. Это предоставляет возможность контроля времени пребывания в печи и адаптации к колебаниям при загрузке отходов на решетку. Переталкивающая решетка является в настоящее время наиболее важной системой колосниковых решеток на новых установках;

– при системе с обратно-переталкивающей решеткой отходы транспортируются под действием силы тяжести. Наклонная поверхность является необходимой, потому что отходы и решетка движутся в противоположных направлениях. Обратно-переталкивающие решетки пригодны, например, для влажных отходов;

– при системе с валковой решеткой материал транспортируется за счет комбинации силы тяжести в результате наклона поверхности решетки и движения валков для транспортирования отходов. Движущиеся валки транспортируют отходы вниз. Более быстрое вращение валков приводит к ускорению транспортирования, но не к улучшению перемешивания.

Эффективное сжигание на колосниковой решетке происходит при температуре 850–950 °С. В конце медленной движущейся решетки остатки после сгорания падают в заполненное водой устройство шлакоудаления [14].

Дымовые газы возникают большей частью в зоне дожигательной камеры, где они выгорают при температуре от 850 °С до более 1000 °С. В расположенном дальше паровом котле дымовые газы охлаждаются до 200–400 °С. При этом (в большинстве случаев) образуется перегретый пар (не более 40 бар, 400 °С). Пар можно использовать для производства электроэнергии, в качестве технологического пара или для отопления. В настоящее время на рынке предлагаются различные системы топок с колосниковыми решетками [14].

Разница существует в путях проводки дымовых газов и в подаче отходов на колосниковой решетке. Принципиально имеются три системы проводки дымовых газов (см. рисунок 2.5).

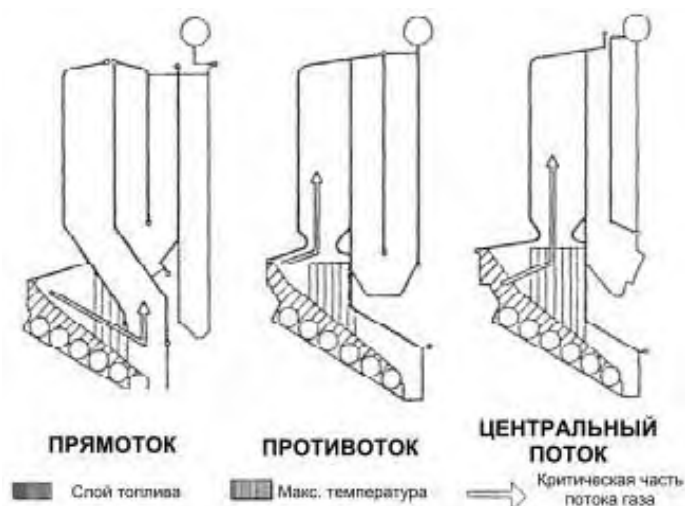


Рисунок 2.5 — Варианты проводки дымовых газов [62]

На рисунке представлено соотношение основных направлений подачи отходов и дымовых газов для вариантов прямотока, противотока и центрального потока.

Прямоточные системы целесообразно применять при отходах с высокой теплотворной способностью (> 9 МДж/кг). Не полностью сгоревшие дымовые газы вынуждены проходить зону с максимальной температурой, что обеспечивает лучшее выгорание дымовых газов и шлака. Благодаря этому можно отказаться от камеры дожигания [14].

Противоточные системы более пригодны для отходов с низкой теплотворной способностью. Высокая температура дымовых газов способствует сушке и сжиганию отходов. В качестве возможного риска следует указать на плохое перемешивание дымовых газов, поэтому дожигание является обязательным.

Если на сжигание поступают отходы с различной теплотворной способностью, то компромиссом является использование системы с центральным потоком.

Шлак, который образуется в результате сжигания, может поступать на захоронение либо использоваться, например, в дорожном строительстве после дополнительной обработки, которая включает отделение металлов и измельчение/гомогенизацию.

Дымовые газы, образующиеся при сжигании отходов, должны подвергаться обработке и очистке.

Область применения

Системы колосниковых решеток с водяным охлаждением позволяют сжигать высококалорийные смеси отходов с теплотворной способностью до 16 МДж/кг. До настоящего времени теплотворная способность удерживалась на уровне ниже 12 МДж/кг, поскольку в противном случае тепловая нагрузка на решетчатые системы становилась слишком высокой и возникала опасность расплавления или значительного сокращения срока службы решетки [63].

Топки с колосниковыми решетками могут в принципе применяться в комбинации со всеми предшествующими сжиганию мерами и процессами обработки отходов, они выполняют при этом задачу минерализации всех горючих веществ, которые уже не могут использоваться или обрабатываться другим способом. Преимуществом является к тому же синергетический эффект при взаимоувязке с процессами, имеющими большую потребность в тепловой энергии.

Технология сжигания отходов во вращающихся печах

Барабанные вращающиеся печи (рисунок 2.6) 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.

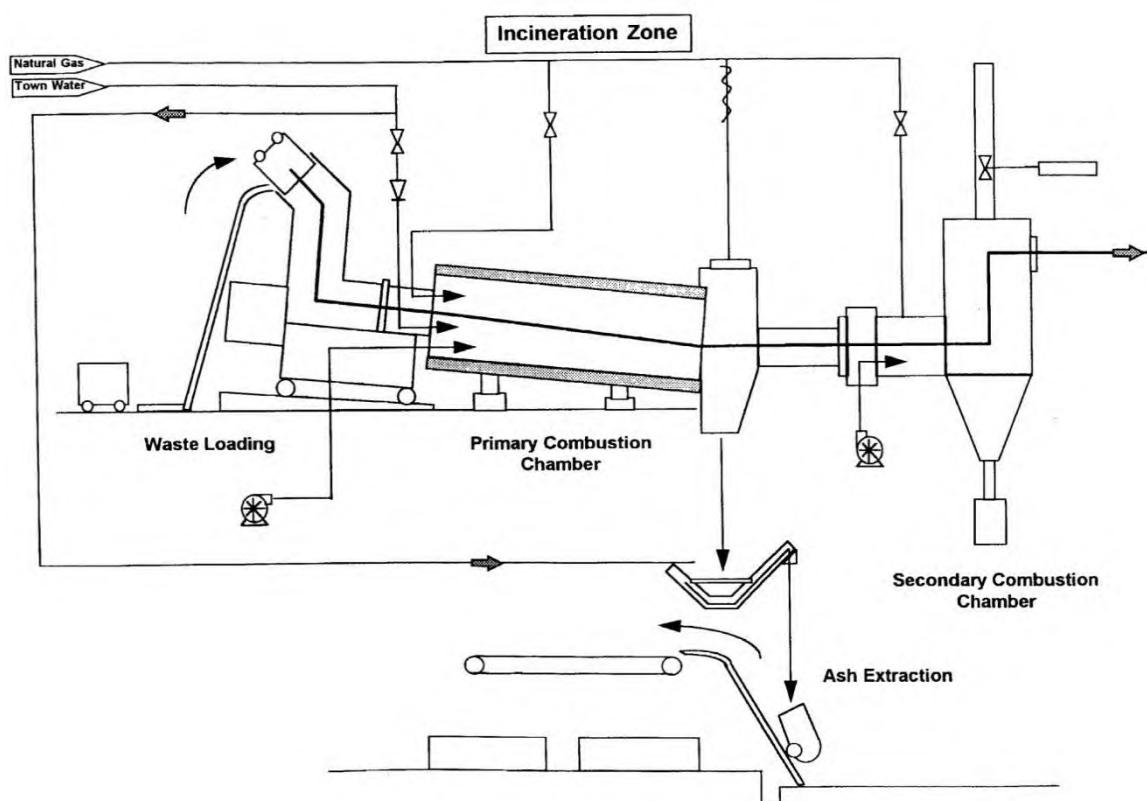


Рисунок 2.6 — Принципиальная схема печи для сжигания опасных отходов [62]

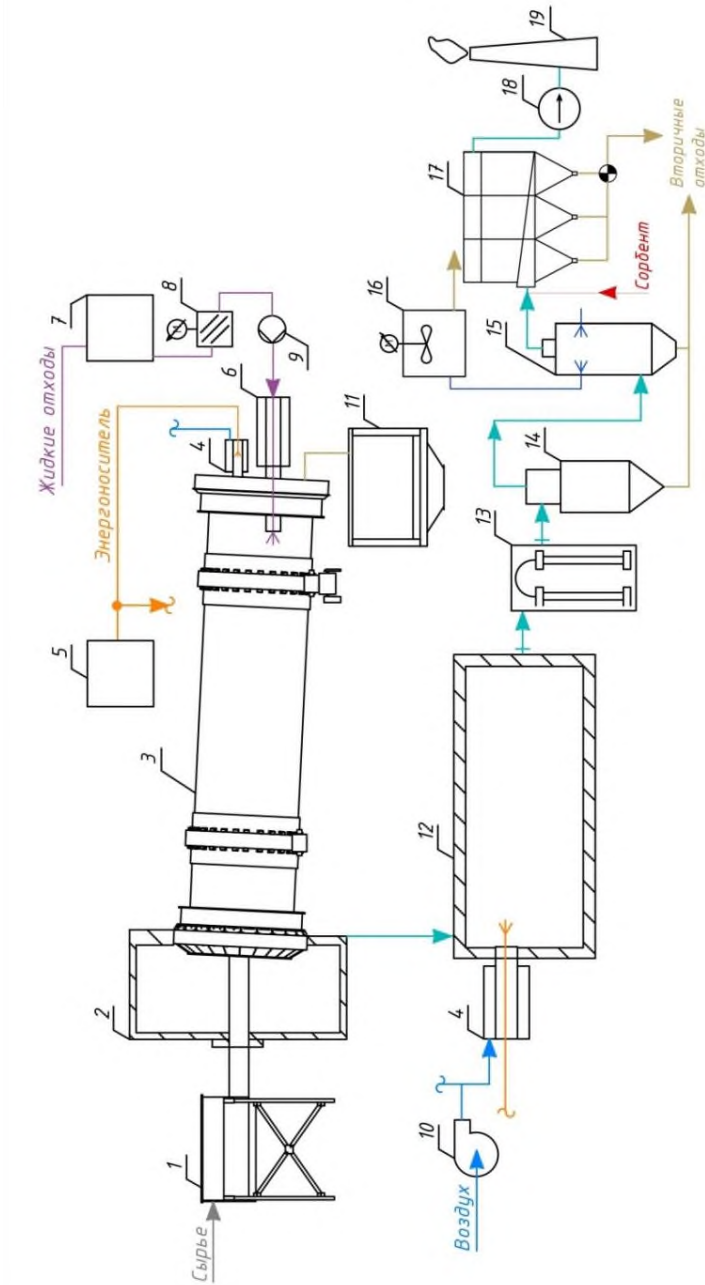
Барабанные печи устанавливаются с небольшим наклоном в направлении движения отходов. Температуру в барабанной печи в зависимости от вида сжигаемых отходов поддерживают в пределах 900–1200 °С. В случае необходимости дополнительное топливо или жидкие горючие отходы подаются через горелочное устройство, повышая температуру внутри печи. Поступившие отходы, перемещаясь 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, кроме того они громоздки, а в дымовых газах наблюдается повышенный недожог.

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

Сжигание отходов с помощью барабанных вращающихся печей — наиболее распространенный метод. Реализация технологий с помощью такой конструкции печи представлена на рисунке 2.7. 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, СОЗ-содержащие отходы и т. п. Многоцелевое назначение определяет более серьезные требования к обеспечению экологической безопасности. Для этих целей используется 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 используются активированный уголь и цеолиты.



Экспликация оборудования

Номер на схеме	Наименование	Количество
1	Блок загрузки сырья	1
2	Приемная камера	1
3	Вращающаяся печь	1
4	Блок горелок	2
5	Емкость хранения энергоносителя	1
6	Жидкостная форсунка	1
7	Буферная емкость жидких отходов	1
8	Мацератор	1
9	Подвижной 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	1
18	Дымосос	1
19	Дымовая труба	1

Обозначение материальных потоков

- Жидкие отходы
- Сырье
- Энергоноситель
- Воздух
- Отходящие газы
- Абсорбционный раствор
- Вторичные отходы
- Активированный уголь

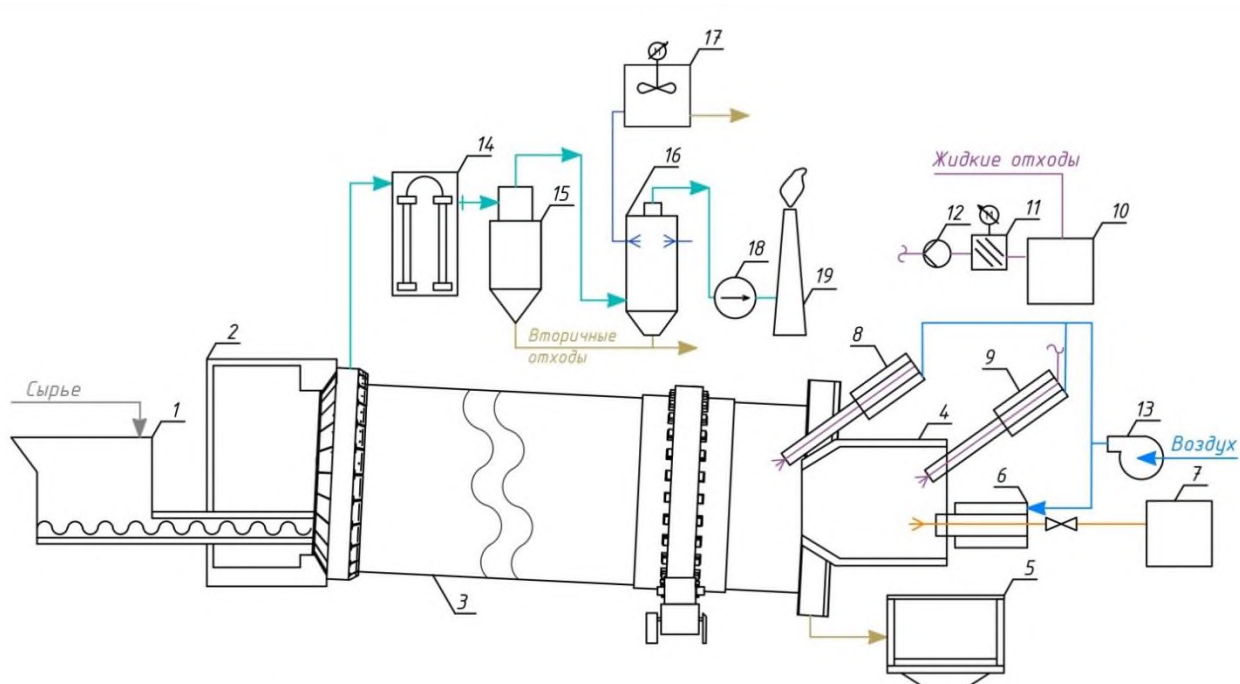
Рисунок 2.7 — Принципиальная технологическая схема сжигания отходов во вращающейся барабанной печи

На рисунке 2.7, 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 системах утилизации тепла, например, на обеспечение горячим водоснабжением и отоплением производственных и внутриплощадных нужд. Модификация конструкции печи в виде циклонного реактора (см. рисунок 2.8) 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 дожигания (см. рисунок 2.8). Необходимость вихревого режима определяется требованиями к сжиганию высокотоксичных сред. Циклонная топка обеспечивает более качественное сжигание и относительную минимизацию концентрации контролируемых загрязняющих веществ.



Экспликация оборудования

Номер на схеме	Наименование	Количество
1	Блок загрузки сырья	1
2	Приемная камера	1
3	Блок первичной термической обработки	1
4	Камера дожига	2
5	Залосборник	1
6	Блок горелок	1
7	Емкость хранения энергоносителей	1
8	Водная форсунка	1
9	Шламная 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	1
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 2.8 — Принципиальная технологическая схема сжигания отходов с использованием циклонного дожигателя

В Германии, США, Швейцарии, Финляндии и других странах накоплен большой опыт разработки централизованных станций термической деструкции отходов 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) введена в эксплуатацию одна из самых больших в мире барабанных вращающихся печей с нагрузкой по твердым и пастообразным отходам — 40 000 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) пущен в эксплуатацию центр термической деструкции твердых и пастообразных отходов мощностью 35 000 т/год. Сто-

имость 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 2.9).

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 2.9 — Барабанная вращающаяся печь [20]

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

Специальное сооружение экологически эффективной локальной установки малой мощности с барабанной вращающейся печью для термической деструкции 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 совместной термодеструкции токсичных твердых, пастообразных и жидких органических отходов с большой агрегатной нагрузкой на основе барабанных вращающихся печей.

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

Технология сжигания в печи с жидкой ванной расплава

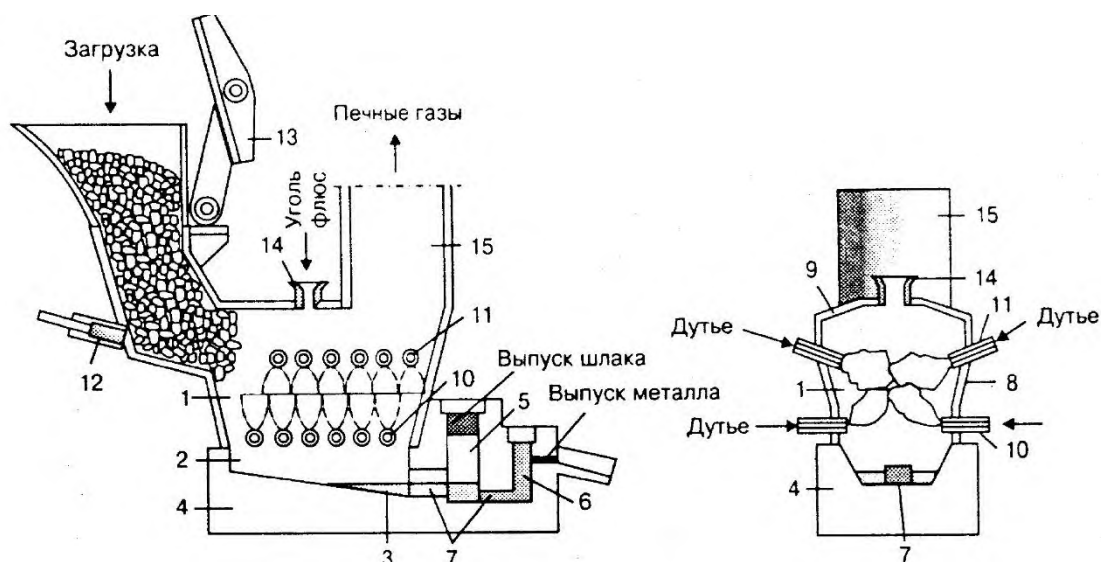
Среди многих предлагаемых технологий термодеструкции отходов своей оригинальностью выделяется технология уничтожения токсичных органических отходов в расплавах неорганических солей.

Сущность метода заключается в следующем. Дешевые неорганические соединения (например соду или негашеную известь) расплавляют в керамическом реакторе при температурах 800–1000 °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 коммунальных и промышленных отходов была предложена российская технология сжигания в барботируемом расплаве шлака на основе печи Ванюкова (см. рисунок 2.10). Суть технологического процесса переработки отходов заключается в высокотемпературном разложении отходов в слое барботируемого шлакового расплава при температуре 1250–1400 °С и выдерживании их в течение 2–3 с. Расплав образуется из подаваемых в огневой реактор различных шлаков, в частности золошлаковых отходов ТЭЦ.

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.



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 2.10 — Печь с жидкой ванной расплава [22]

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.

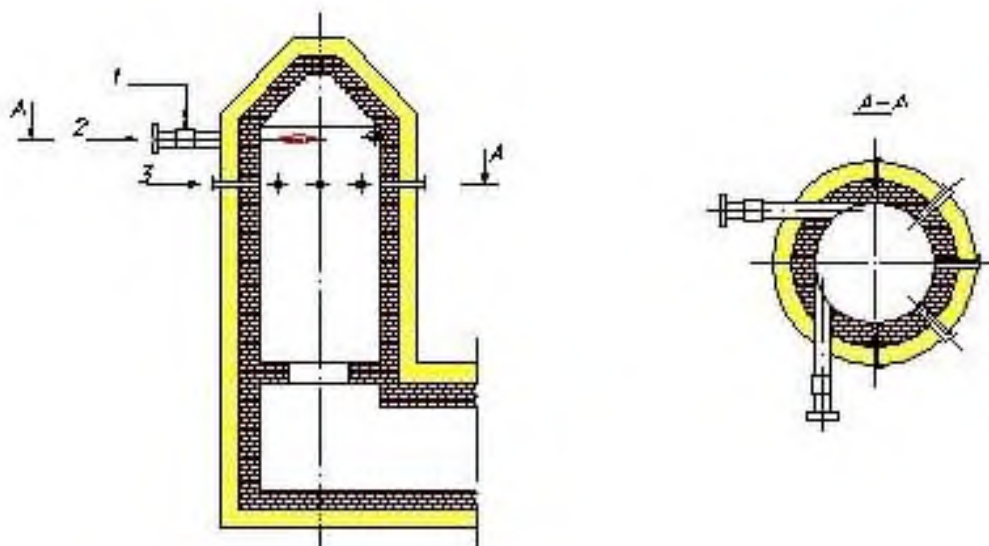
В целом собственно плавильная металлургическая печь с кессонированными водоохлаждаемыми ограждениями, системой кислородно-воздушного дутья под слой расплава, позонным выпуском расплава представляется реактором более сложным в эксплуатации, нежели реакторы прямого сжигания отходов. Теплота горения отходов 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.

Технология сжигания в циклонных печах

Циклонные реакторы являются экологически эффективными и надежными устройствами для утилизации и 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 2.11) для огневой (высокотемпературной) обработки жидких отходов, содержащих органические и минеральные вещества.



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

Рисунок 2.11 — Схема циклонного реактора с огнеупорной футеровкой и тепловой изоляцией [2]

Применяемые при утилизации и обезвреживании минерализованных отходов гарнисажные 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 обусловливается 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 для термической деструкции 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 суперэкоотоксиканты;
- быстрый запуск;
- надежность и долговечность эксплуатации.

Положительные результаты получены при циклонном сжигании диспергированных твердых отходов и пастообразных осадков сточных вод (см. рисунок 2.12). 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.

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/м³ч, 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/м³ч и более, что позволяет в короткие сроки сооружать компактные, малогабаритные установки с малыми капитальными затратами.



Рисунок 2.12 — Горизонтальный циклонный реактор для термического обезвреживания шламов [19]

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 (СО) в дымовых газах не превышает 50 мг/м³.

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.

Технология сжигания отходов во взвешенном (кипящем) слое

Для сжигания во взвешенном слое наиболее пригодными считаются следующие виды отходов:

- коммунальные отходы;
- отработанные масла (в случаях, предусмотренных законодательством);
- опасные отходы;
- промышленные отходы (горючие вещества, особенно мелкокусковые смеси, например посторонние вещества, отделяемые при переработке макулатуры в бумажной промышленности);
- древесные отходы (более целесообразным способом являются другие методы утилизации);
- строительные отходы (только горючие вещества);
- крупногабаритные отходы (сжигание во взвешенном слое следует применять только для обработки горючих материалов, образующихся при разборке этих отходов);
- медицинские отходы классов А, Б, В (частично, с учетом особенностей обращения с такими отходами);
- прочие отходы (горючие вещества, также и ил очистных сооружений).

Отходы, подлежащие сжиганию во взвешенном слое, требуют предварительной обработки:

- должны быть удалены крупные фракции, создающие помехи (например, металлоотходы);
- отходы не должны содержать радиоактивных компонентов;
- отходы подлежат измельчению до необходимого размера частиц.

Принцип работы реакторов с кипящим слоем состоит в подаче газов (воздуха) через слой инертного материала (песок с размером частиц 1–5 мм), поддер-

живаемого 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 псевдооживления. 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 псевдооживления различают три модификации кипящего слоя:

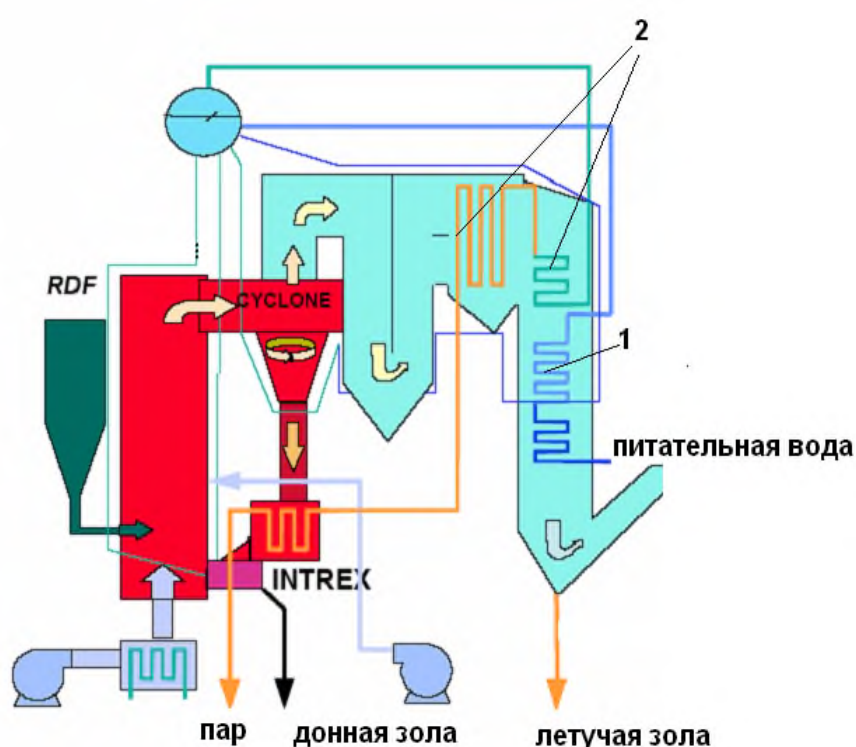
а) Реакторы для сжигания твердых отходов, шламов и осадков сточных вод со стационарным кипящим слоем обычно состоят из цилиндрической или прямоугольной топочной камеры (см. рисунок 2.13), ограниченной газораспределительной решеткой, конструкция которой предусматривает возможность удаления шлака. Реакторы со стационарным кипящим слоем широко используют для сжигания отходов в США, Германии, Японии и многих других странах.



Рисунок 2.13 — 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 2.14). 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 $0,1 \text{ нг/м}^3$ диоксинов. В августе 1995 года вошла в промышленную эксплуатацию ТЭЦ Northampton (США) с котлом Foster Wheeler 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 2.14 — Котел с ЦКС для сжигания бытовых отходов, установленный на предприятии Lomellina (Италия) [11]

Целесообразность сжигания отходов методом псевдооживления 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 псевдооживленного 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 псевдоожиженного 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 имеет наклонную решетку, разделенную на три 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 2.15).



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 2.15 — Принцип действия вихревого кипящего слоя [19]

Технология сжигания во вращающемся кипящем слое Rowitec имеет три особенности.

Фурменное днище реактора (решетки) состоит из нескольких камер, через которые подаются различные потоки первичного воздуха с целью достижения псевдооживленного 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 обуславливают 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 1100–1200 °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 разложения твердых и пастообразных органических отходов. Применение одновихревого кипящего слоя с высокими удельными нагрузками значительно упрощает аппаратное 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 800–900 °С в присутствии извести (CaO или Ca(OH)₂) осуществлялись выгорание основной массы органических веществ и нейтрализация хлористого водорода (HCl) с образованием CaCl₂.

Во второй ступени реактора — зоне дожигания — достигались полное окисление примесей (остаточная концентрация CO < 50 мг/м³) и нейтрализация карбонатом натрия (Na₂CO₃) остатков HCl (концентрация HCl в дымовых газах менее 10 мг/м³).

Технология сжигания осадков сточных вод в многоподовых печах

Сжигание осадков сточных вод практикуется во многих странах либо как отдельное сжигание, либо как совместное сжигание в установках для сжигания ТКО, либо в иных установках для сжигания (например в угольных электростанциях, в цементных печах). Сжигание осадков сточных вод имеет несколько отличий от сжигания ТКО и опасных отходов. Непостоянство содержания влаги в осадках и их теплоты сгорания, а также возможность смешивания с иными отходами (например, если системы канализации бытовых и промышленных стоков сообщаются между собой), требуют особого учета при погрузочно-разгрузочных работах и предварительной обработке этого вида отходов. При подготовке осадков сточных вод к сжиганию чрезвычайно важна предварительная обработка, особенно обезвоживание и сушка: обезвоживание сокращает объем осадка и увеличивает его теплоту сгорания. Как правило, требуется обезвоживание до содержания твердых веществ в осадках на уровне не менее 35 %. В случае если предполагается совместное сжигание с ТКО, может понадобиться дополнительная сушка [62]

Технология сжигания некондиционных газовых и газоконденсатных смесей в факеле открытого типа

Сжигание попутного нефтяного газа в факелах является одним из наиболее простых способов обезвреживания. Высокотемпературное окисление в основном используется для сжигания горючих компонентов некондиционных газовых и газоконденсатных смесей в открытом пламени.

Факельные установки открытого типа для сжигания подробно рассмотрены в разделе 2.9.6 «Факельные установки» информационно-технического справочника по наилучшим доступным технологиям ИТС 29-2017 «Добыча природного газа», утвержденного Приказом Росстандарта от 15 декабря 2017 г. № 2844.

2.3.2 Методы пиролиза

Пиролиз — процесс термического разложения отходов, содержащих органические вещества, под действием повышенной температуры без доступа или с ограниченным доступом кислорода с выделением твердого углеродсодержащего остатка, горючего пиролизного газа (пирогаза), жидких органических продуктов.

Метод пиролиза отходов предусматривает:

- термодеструкцию подготовленных отходов в реакторе для получения пирогаза и пиролизного масла и твердого остатка;
- конденсацию и сепарацию газовой фракции с получением жидкой фракции и пирогаза;
- очистку пирогаза от соединений хлора, фтора, серы, цианидов с целью повышения его экологических показателей и энергоемкости.
- сбор и сжигание очищенного пирогаза в топке котла-утилизатора для получения пара, горячей воды или электроэнергии или использование пирогаза для производства продукции;
- сбор пиролизного масла и твердого остатка.

На рисунке 2.16 показана общая схема пиролиза отходов.

Различают сухой и окислительный пиролиз:

а) окислительный пиролиз представляет собой процесс термического разложения отходов при их частичном сжигании или непосредственном контакте с продуктами сгорания топлива. В результате окислительного пиролиза образуется твердый углеродистый остаток (кокс). В дальнейшем кокс можно использовать в качестве твердого топлива или в других целях;

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

Под сухим пиролизом понимается процесс термического разложения отходов, твердого и жидкого топлива без доступа окислителя. В процессе сухого пиролиза отходов образуются пиролизный газ с высокой теплотой сгорания, жидкие продукты и твердый углеродистый остаток. Количественный и качественный состав продуктов сухого пиролиза зависят от состава обрабатываемых отходов и температуры процесса.



Рисунок 2.16 — Общая схема пиролиза отходов

Сухой пиролиз делится на три вида в зависимости от температуры:

- 1) низкотемпературный пиролиз при температуре 450–500 °С;
- 2) среднетемпературный пиролиз при температуре до 800 °С;
- 3) высокотемпературный пиролиз (900–1050 °С).

Методом пиролиза можно утилизировать автопокрышки, резинотехнические изделия, отходы пластмасс, ТКО, отработанные масла, некоторые медицинские отходы обеззараженные и другие отходы.

Подготовка отходов, направляемых на пиролиз, включает:

- сортировку отходов с целью извлечения балластных фракций (стекло, металлы, камни, мелкая фракция);
- сушку отходов;
- предварительное дробление отходов.

Процесс пиролиза отходов осуществляется в реакторах, имеющих внешний и внутренний обогрев. Внешний тип обогрева применяют в реакторах, имеющих исполнение в виде вертикальных реторт, или в барабанных реакторах вращающегося типа.

Способ утилизации 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).

В реакторах пиролизные газы не разбавляются теплоносителями, сохраняя за счет этого высокую характеристику теплоты сгорания. Газ, получаемый в реакторе с внешним типом обогрева, содержит минимум пыли, ибо он не перемешивается с газовым теплоносителем, что является положительным моментом данного оборудования. Обычно теплоноситель пропускается через слой отходов с содержанием мелкодисперсных частиц.

В реакторах, имеющих внутренний обогрев (вертикальные шахтного типа, с псевдооживленным слоем, барабанные вращающегося типа), в качестве теплоносителя применяют газы, но после их нагрева до 600–900 °С. Недостатком реакторов, имеющих внутренний обогрев, является повышение запыленности пиролизного газа в связи с применением газообразных теплоносителей. Однако внутренний обогрев конвекцией делает процесс пиролиза интенсивным, позволяет уменьшить габариты реакторов в сравнении с реакторами, имеющими внешний обогрев.

С санитарной точки зрения процесс пиролиза обладает лучшими показателями по сравнению со сжиганием. Количество отходящих газов, подвергаемых очистке, намного меньше, чем при сжигании отходов. Объем твердого остатка, получаемого по схеме высокотемпературного пиролиза, может быть значительно уменьшен. Твердый остаток можно использовать в промышленности (сажа, активированный уголь и др.). Таким образом, некоторые схемы пиролиза отходов могут быть безотходными.

Полученное пиролизное масло при деструкции некоторых видов отходов (например резинотехнических изделий и пластика, не поддающихся переработке) обладает достаточным качеством и при необходимости, может использоваться в качестве топлива или быть дополнительно очищено на ректификационной колонне с получением товарной продукции и топлива более высокого качества.

Коксовый остаток, образовавшийся при пиролизе, окисляется в оксид углерода, а инертные материалы оплавляются. В нижней части газогенератора находится зона плавления с максимальными температурами до 1650 °С. Расплавленный жидкий шлак выводится через шлаковую ванну; при этом расплавленный шлак, имеющий в основном силикатные компоненты, гранулируется и используется в промышленности строительных материалов.

Часть энергии получаемого газа (до 10–15 %) используется в самой системе для нагрева воздуха, подаваемого в зону сжигания реактора. Остальная энергия может быть передана потребителю непосредственно в виде газообразного топлива или в виде пара.

При использовании противоточных печей (ректоров) проявляются существенные недостатки. Пиролизные смолпродукты, 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.

В отечественной практике обращения с резинотехническими и нефтесодержащими отходами известна технология термической деструкции сырья, которая реализуется в виде сухого низкотемпературного пиролиза (см. рисунок 2.17) при поддержании температуры в пиролизном реакторе до 550 °С. Кроме этого, в технологиях 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.

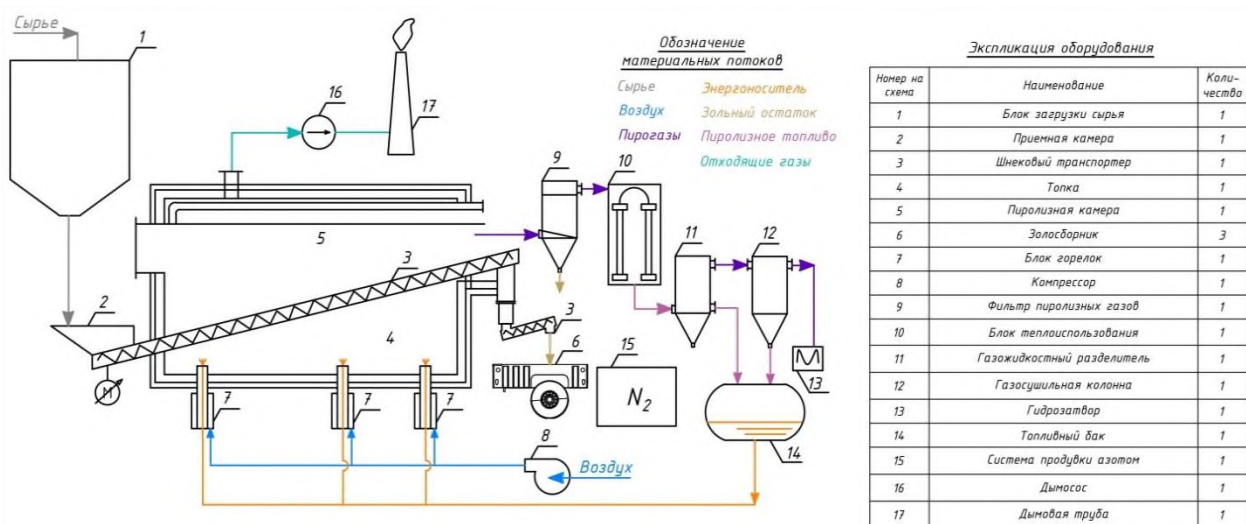


Рисунок 2.17 — Технологическая схема пиролиза с получением печного топлива

На рисунке 2.18 представлена технологическая схема пиролиза с использованием колосниковой печи. На рисунке 2.19 — технологии низкотемпературного пиролиза с использованием пара (термолиз).

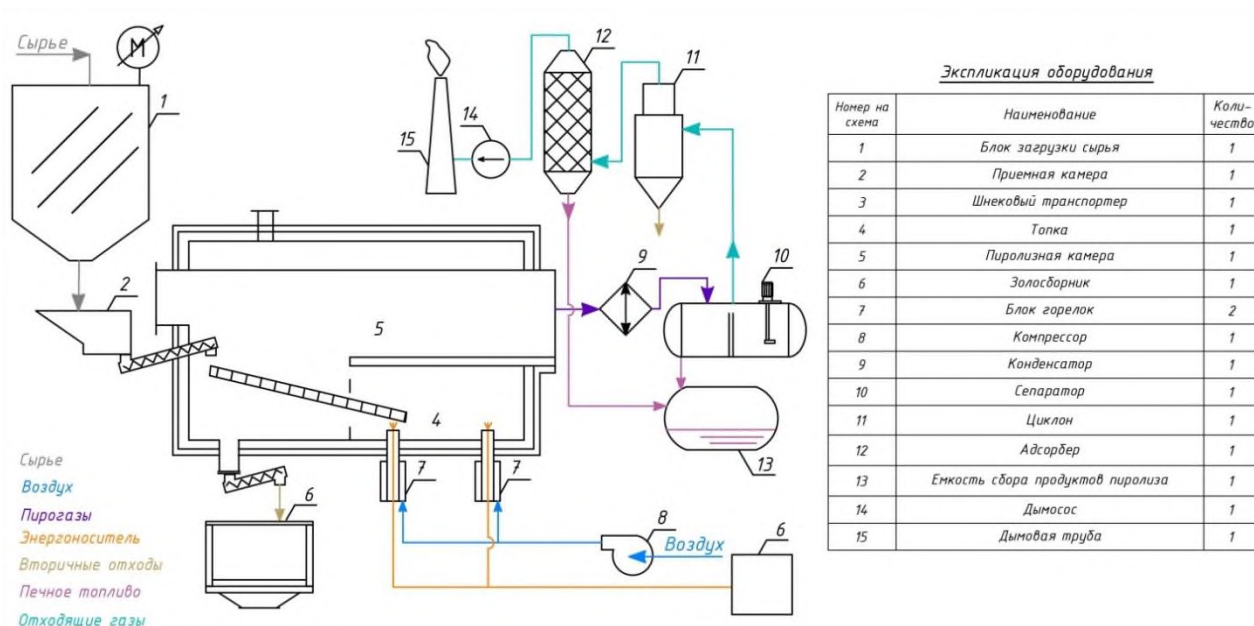


Рисунок 2.18 — Технологическая схема пиролиза с получением топлива

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.

Указанный технологический комплекс может найти широкое применение для утилизации нефтешламов, резинотехнических изделий и т. д.

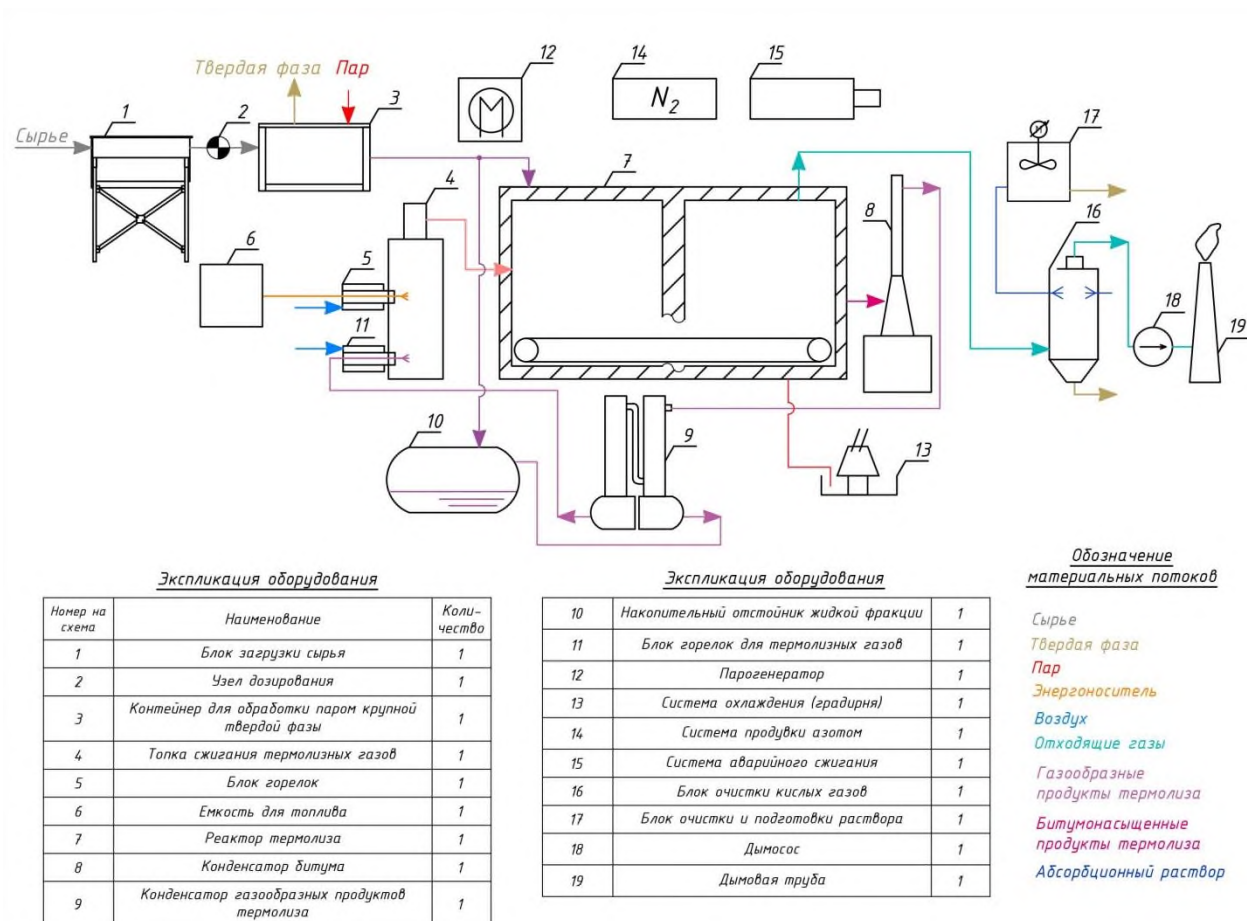
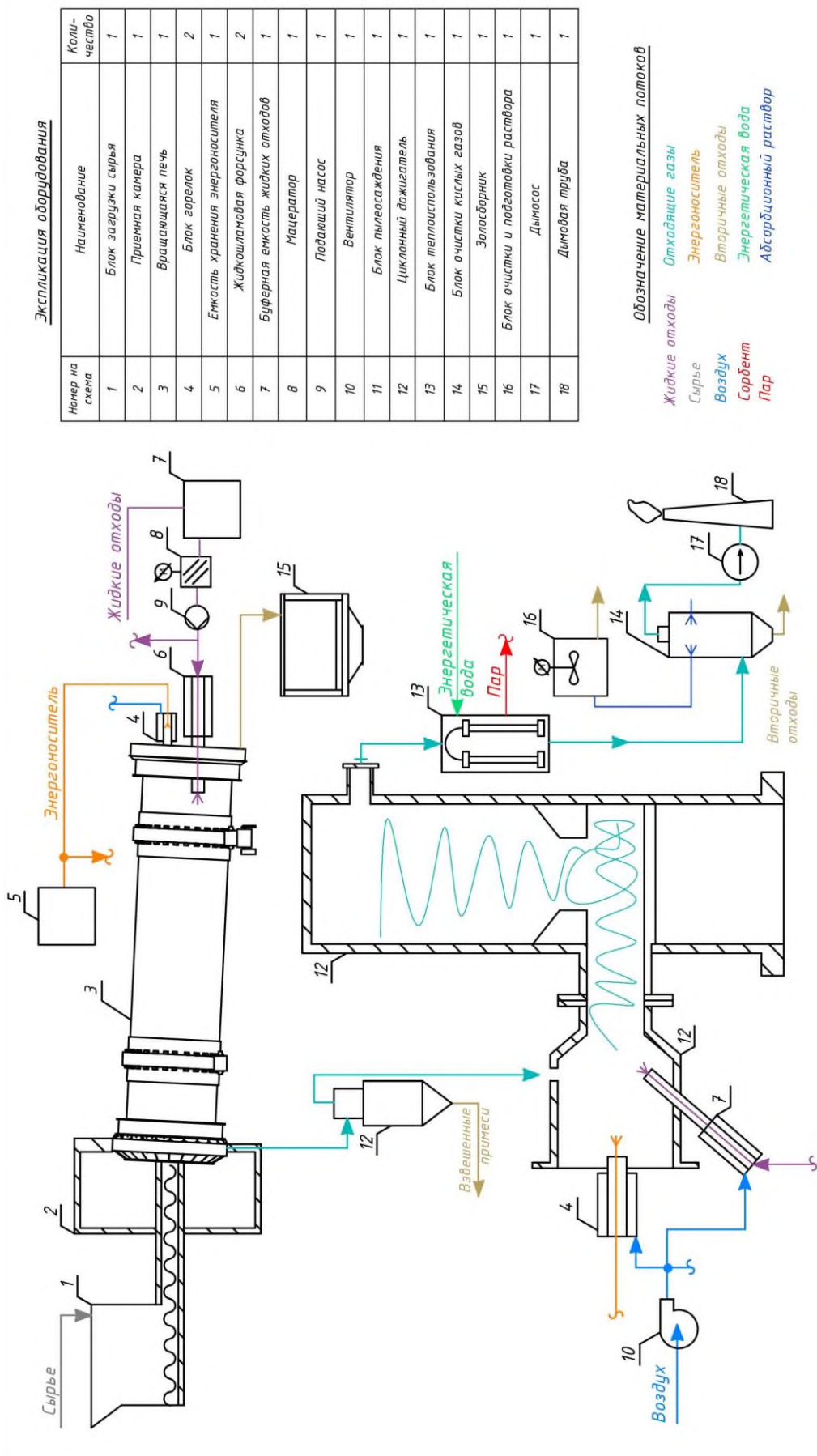


Рисунок 2.19 — Технологическая схема термолитной переработки нефтешламов

Принципиальная схема процесса высокотемпературного пиролиза в практике температурного обезвреживания отходов представлена на рисунке 2.20. В соответствии с ней 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 схеме	Наименование	Количество
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	Подводящий 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
- Сырье
- Воздух
- Сорбент
- Пар
- Отходящие газы
- Энергоноситель
- Вторичные отходы
- Энергетическая вода
- Адсорбционный раствор

Рисунок 2.20 — Технологическая схема высокотемпературного пиролиза

Технология может быть реализована в мобильном исполнении, что расширяет функциональные возможности ее использования.

2.3.3 Методы газификации

Газификация отходов — процесс термической обработки отходов, содержащих органические вещества, окислителем с расходом ниже стехиометрического, с получением генераторного газа (синтез-газа) и твердого или расплавленного минерального продукта.

На рисунке 2.21 показана общая схема газификации отходов с получением материальной продукции.

На первой стадии происходят измельчение и сушка отходов (сырья) до влажности 25–30 % для обеспечения равномерной подачи отходов на следующую стадию.

Подготовленные отходы (сырье), воздух и водяной пар параллельно подаются в реактор, в котором происходит термическая деструкция отходов при температуре 600–1000 °С и атмосферном давлении с получением высококалорийного синтетического газа и зольного остатка.

Полученный синтетический высококалорийный газ подвергается предварительной очистке от зольного остатка в конденсаторах-сепараторах при температуре до 900 °С. Предварительно очищенный газ проходит стадию охлаждения до 40 °С с отводом дистиллята в холодных конденсаторах-сепараторах и тонкой очистки от механических примесей с помощью фильтров.

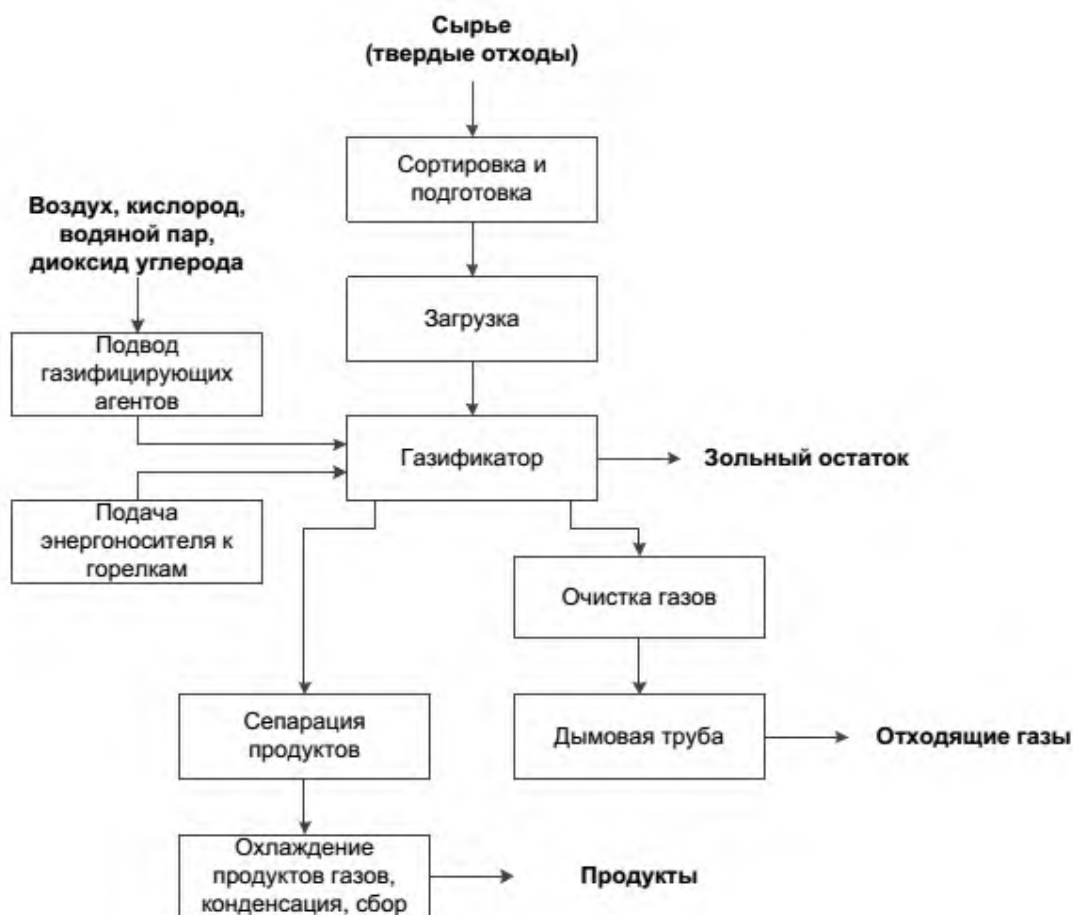


Рисунок 2.21 — Общая схема газификации отходов

В результате полученный синтетический газ накапливается для дальнейшего использования.

Схема технологического процесса газификации углеводородсодержащих отходов представлена на рисунке 2.22.

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 различной плотности необходимо использовать систему циклонов. После этого смесь подвергают ректификации для выделения органических фракций в температурном диапазоне 180–300 °С. Более легкая фракция рециркулируется в реактор в паровой фазе. Кубовая часть ректификационной колонны (блок 16 на рисунке 2.22) подается в реактор (позиция 6 на рисунке 2.22) 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).

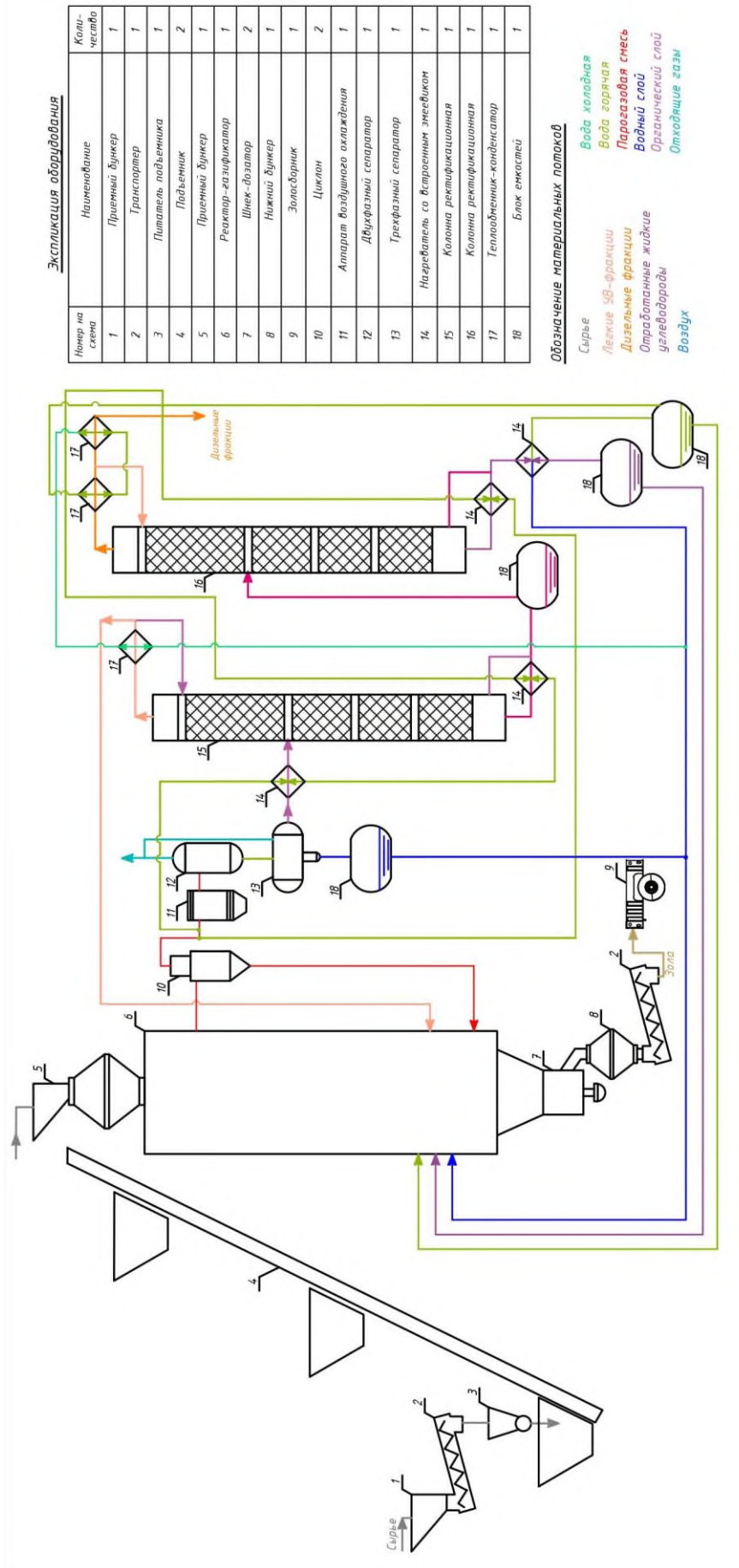


Рисунок 2.22 — Технологическая схема газификации углеводородсодержащих отходов

Метод газификации по сравнению с методом сжигания имеет следующие преимущества:

- получаемые горючие газы могут использоваться в качестве энергетического и технологического топлива, в отличие от метода сжигания, при котором практически возможно только энергетическое использование теплоты отходов;
- смола, полученная методом газификации, может применяться как жидкое топливо и как химическое сырье;
- уменьшение выбросов золы и сернистых соединений в атмосферу.

Технология газификации в фильтруемом плотном слое

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, однако эти разработки не реализованы в промышленности. Пока не внедрен в практику и шахтный пиролиз твердых коммунальных отходов с плазменным нагревом («плазменный пиролиз и остеклование ТКО»).

В России разработан процесс паровоздушной газификации конденсированных топлив и горючих отходов в фильтруемом плотном слое с последующим дожиганием горючих газов, осуществляемый в шахтных и наклонных вращающихся газогенераторах.

На стадии предварительной подготовки, предпочтительно совмещенной с извлечением из отходов вторичных материалов, имеющих товарную ценность, производится измельчение и, при необходимости, сушка топлива (отходов) до влажности 25–30 % для обеспечения равномерной подачи отходов на стадию газификации.

Перерабатываемые отходы загружаются в реактор сверху через шлюзовую камеру совместно с кусковым огнеупорным материалом – твердым теплоносителем. Снизу в реактор подаются воздух и водяной пар. Отбор генераторного газа происходит в верхней части реактора, а выгрузка зольного остатка в смеси с твердым теплоносителем – в нижней. Продвижение рабочей массы в реакторе происходит под действием собственного веса.

По высоте газогенератора располагается несколько характерных зон.

В самых верхних слоях топливной загрузки температура держится в пределах 100-200°C. Здесь происходит подсушка вновь поступившего топлива, продуваемого генераторным газом. В результате генераторный газ охлаждается и до некоторой степени насыщается водяным паром. При фильтрации газа сквозь слой свежезагруженного топлива происходит нейтрализация кислых газов (хлороводорода, фтороводорода) минеральными компонентами топливной загрузки. Частицы пыли

из генераторного газа прилипают к свежезагруженному топливу и кусковому твёрдому теплоносителю.

Ниже располагается зона, где преобладают процессы пиролиза и возгонки. В бескислородной среде происходит термическое разложение и коксование органической массы. Здесь генераторный газ обогащается летучими продуктами пиролиза.

В средней части реактора при температурах 900–1200 °С происходит реакция коксового остатка с кислородом, парами воды и диоксидом углерода с образованием СО и Н₂. Часть углерода сгорает полностью с образованием диоксидом углерода, за счет чего в зоне газификации поддерживается необходимая температура.

В самой нижней части реактора лежит зона окончательного охлаждения твердого остатка до температуры около 100°С. Зольный остаток выгружают из реактора по мере накопления. Производят фракционирование (рассев) твердого остатка и выделенный твёрдый теплоноситель повторно используют для загрузки со свежими порциями топлива. Зола не содержит остаточного углерода и может быть направлена для последующей переработки или безопасного размещения. Генераторный газ, выводимый из реактора, содержит значительное количество азота (из воздуха, подаваемого для газификации), водяного пара и пиролизных смол (влаги топлива и продуктов пиролиза), поэтому его транспортировка и накопление являются нерациональными, и он сжигается в горелочном устройстве, расположенном в непосредственной близости к реактору-газогенератору, для выработки тепловой энергии, например, в паровом котле. При необходимости тепловая энергия с использованием типовых устройств (турбина, ГПУ), может преобразовываться в электрическую.

На рисунке 2.23 показана схема газификации отходов в смеси с твёрдым теплоносителем в противоточном реакторе с последующим сжиганием генераторного газа для получения энергии.

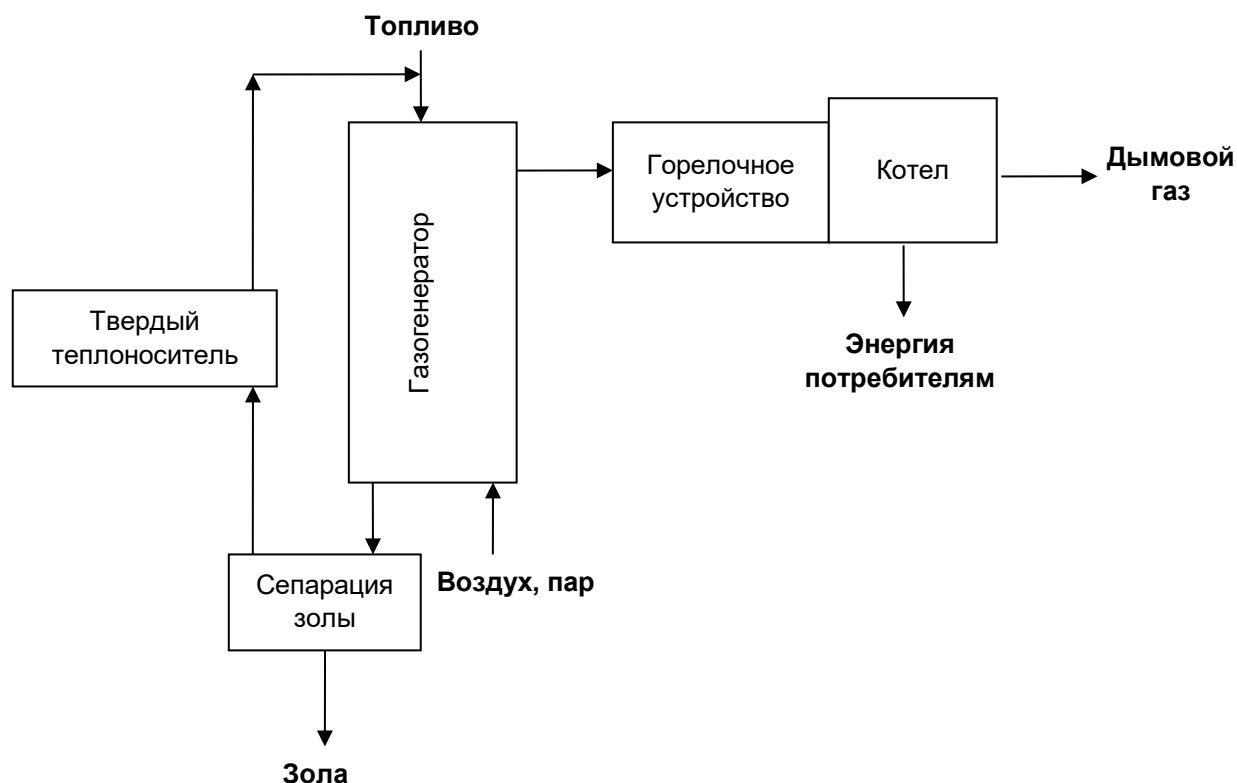


Рисунок 2.23 — Схема процесса газификация–сжигания отходов с использованием обратного твёрдого теплоносителя

Метод газификации в плотном слое с использованием твёрдого теплоносителя имеет следующие преимущества:

- высокий энергетический КПД газификации (до 95 %), позволяющий перерабатывать отходы с низким содержанием горючих компонентов;
- сжигание горючего газа в горелочном устройстве обеспечивает эффективное смешение горючего газа с воздухом, что предотвращает образование вторичных атмосферных загрязнителей: полиароматических углеводородов и сажи, окиси углерода, окислов азота;
- обеспечивается низкое содержание в дымовых газах пыли, в том числе возгонов тяжёлых металлов;
- обеспечиваются низкие концентрации в дымовых газах хлороводорода и фтороводорода;
- отсутствие в дымовых газах полиароматических соединений, соединений хлора и частиц пыли предотвращает образование при охлаждении дымовых газов *de novo* полихлорированных дибензодиоксинов и дибензофуранов;
- зольный остаток не содержит остаточного углерода и высоких концентраций полихлорированных дибензодиоксинов и дибензофуранов.

Вышеперечисленные особенности процесса позволяют многократно снизить затраты на газоочистное оборудование для предотвращения выбросов загрязните-

лей в атмосферу, позволяет предотвратить коррозию энергогенерирующего оборудования и повысить его эффективность, обеспечивают безопасное и незатратное обращение с твёрдыми остатками термической переработки (золой).

Реактор-газогенератор может быть выполнен как в виде вертикального шахтного, так и в виде наклонённого под углом близким к 45° вращающегося реактора. В шахтном реакторе может перерабатываться топливо (отходы), имеющее форму крупных кусков или предварительно брикетированное. В наклонном вращающемся реакторе перерабатывается (газифицируется) топливо, имеющее неоднородную структуру и поэтому склонное к образованию в слое каналов (прогаров) при фильтрации газа-окислителя. Вращение реактора обеспечивает устранение прогаров при вращении под действием собственного веса топлива и кусков твёрдого теплоносителя. При этом описанное выше чередование характерных зон в плотном слое топливной загрузки идентично как у шахтного, так и у наклонного реакторов.

В России имеется опыт эксплуатации установки термического разложения пастообразных отходов (закалочных масел).

Процесс газификации в плотном фильтруемом слое пригоден для термической утилизации твёрдых топлив и горючих отходов, в том числе, дробленых, разнодисперсных, сыпучих, газопроницаемых, пастообразных, высокозольных. При этом, крупногабаритные твердые отходы требуют предварительного измельчения до фракции менее 150 мм в главном измерении. Хороший результат достигается при утилизации разнофракционного топлива типа ТКО. Производительность одной единицы оборудования по топливу в 20 000 тонн в год вкупе с возможностью его модульного принципа позволяет эффективно применять его для строительства комплексов по утилизации ТКО в большинстве городов Российской Федерации. Дополнительная возможность использования получаемой при этом энергии в коммунальном хозяйстве улучшают экономические показатели проекта и сокращают срок окупаемости вложенных средств.

Следует обратить внимание на то, что отходы, содержащие значительное количество плавящихся при низких температурах минеральных компонентов, трудно перерабатывать методом газификации в плотном слое.

2.3.4 Методы, основанные на комбинированных методах (пиролиз-сжигание и др.)

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 деструкции отходов, включающие процессы «пиролиз-сжигание» и «пиролиз-газификация» (см. рисунок 2.24).

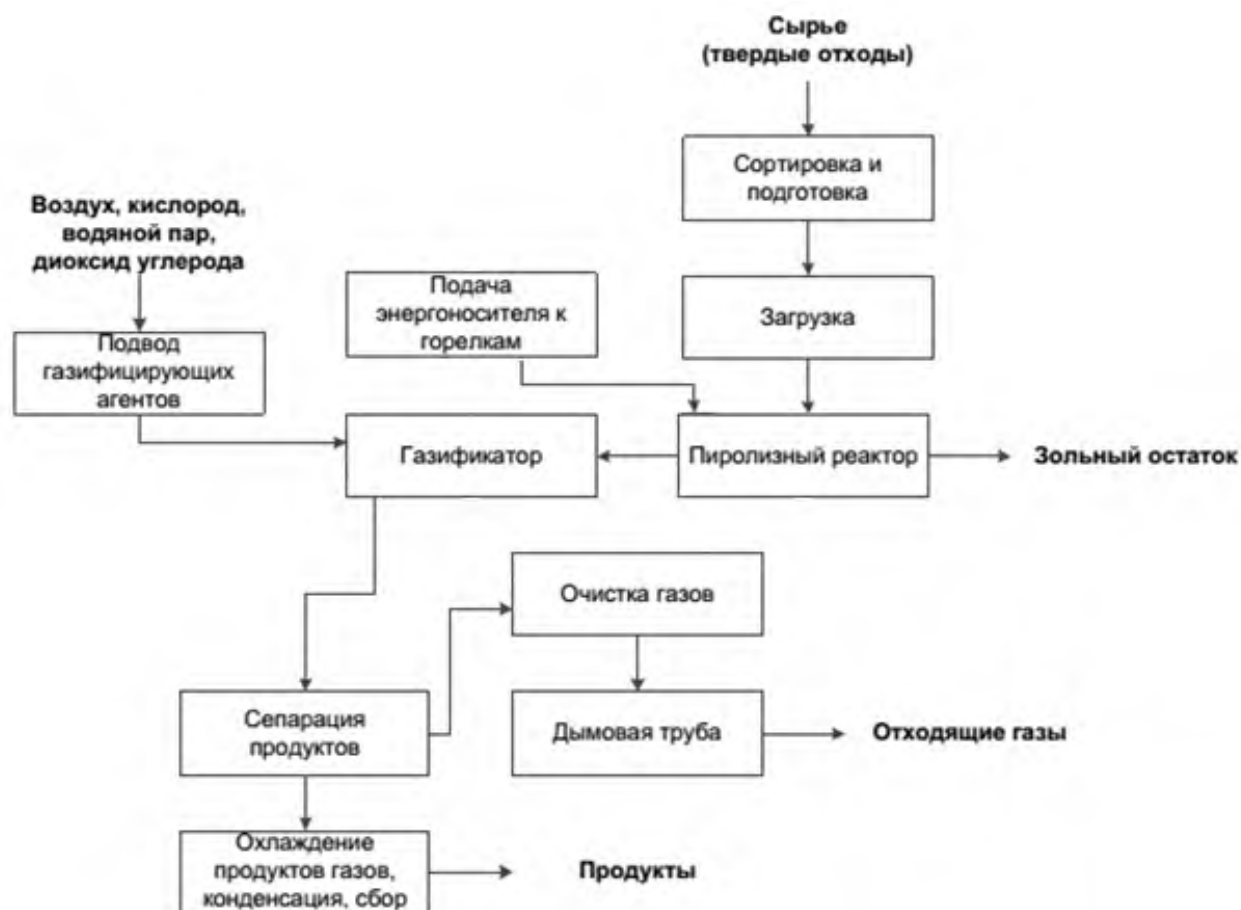


Рисунок 2.24 — Общая схема термического комбинированного метода

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

Примером реализации комбинированных методов в отечественной практике являются технологические системы, представленные на рисунках 2.25–2.27.

На рисунке 2.25 представлена технологическая схема установки сжигания осадков водоочистных сооружений и избыточного активного ила. Процессу термического обезвреживания предшествует обработка на ленточном фильтр-прессе. В блоке 3 проводится пиролиз, в блоке 4 — термодесорбция. Отбивка золы уноса выполняется блоком циклонов. Пирогазы сжигаются в блоке 6 с последующей парогенерацией. Очистка дымовых газов реализуется в рукавных фильтрах с предварительным впрыском активных сорбентов.

Технология утилизации и обезвреживания нефтяных шламов и осадков очистных сооружений представлена на рисунке 2.26. Сжиганию в кипящем слое предшествует декантация на трехфазной центрифуге и декантере.

Технологический процесс, представленный на рисунке 2.27, может быть использован для многотоннажного обезвреживания различных отходов.

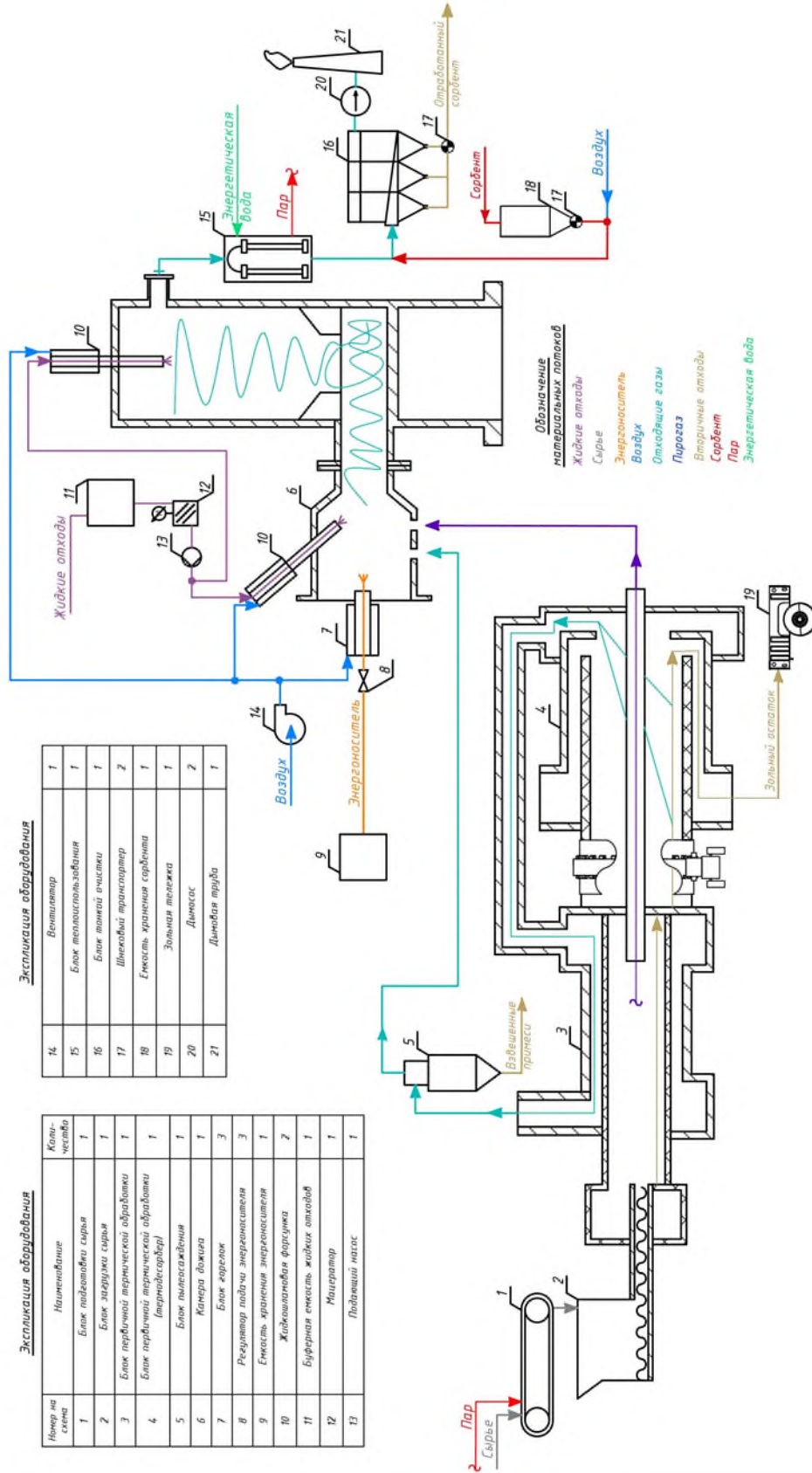


Рисунок 2.25 — Технологическая схема комбинации пиролиза, термодесорбции, сорбции

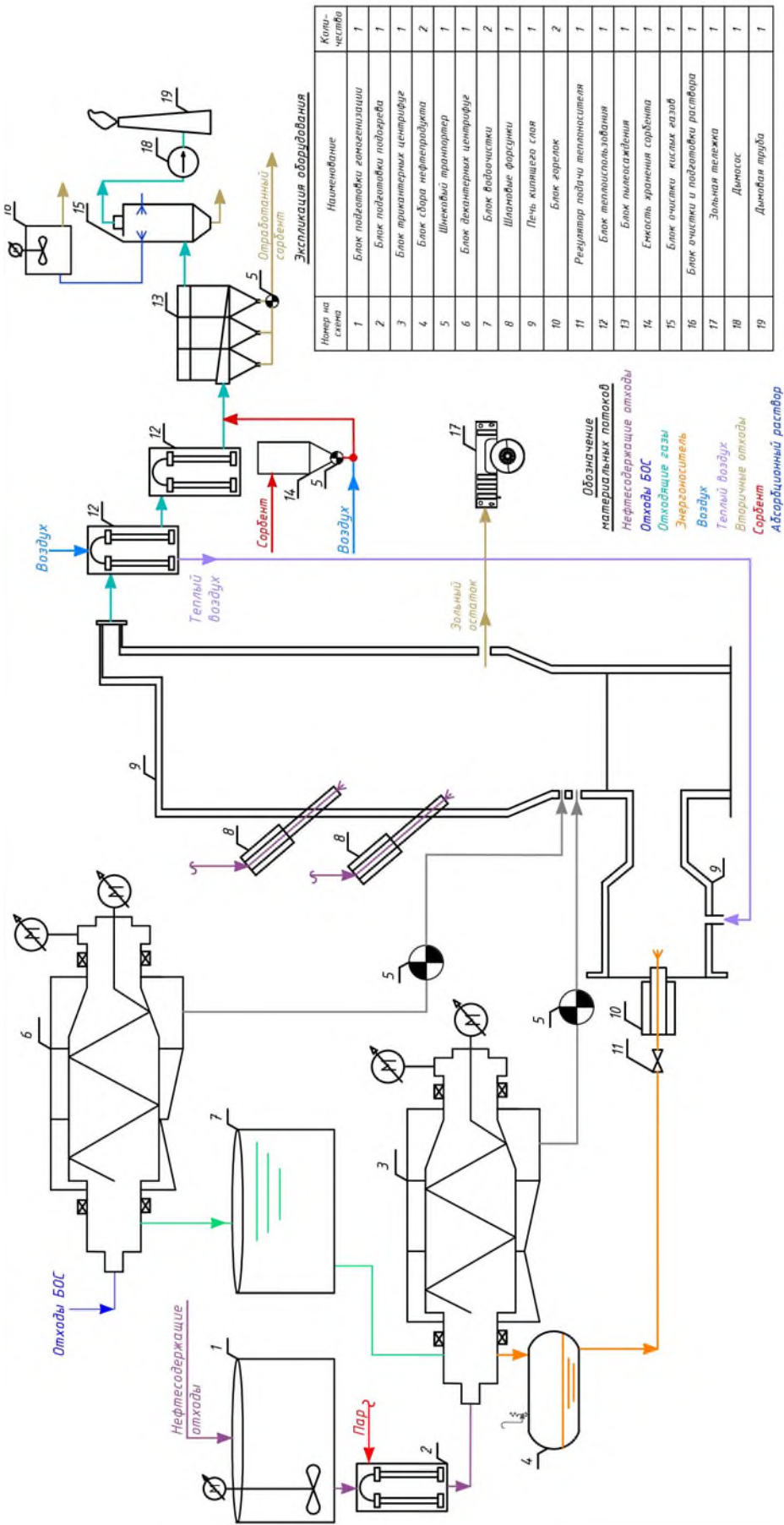


Рисунок 2.26 — Технологическая схема комбинации физико-химической обработки отходов и сжигания

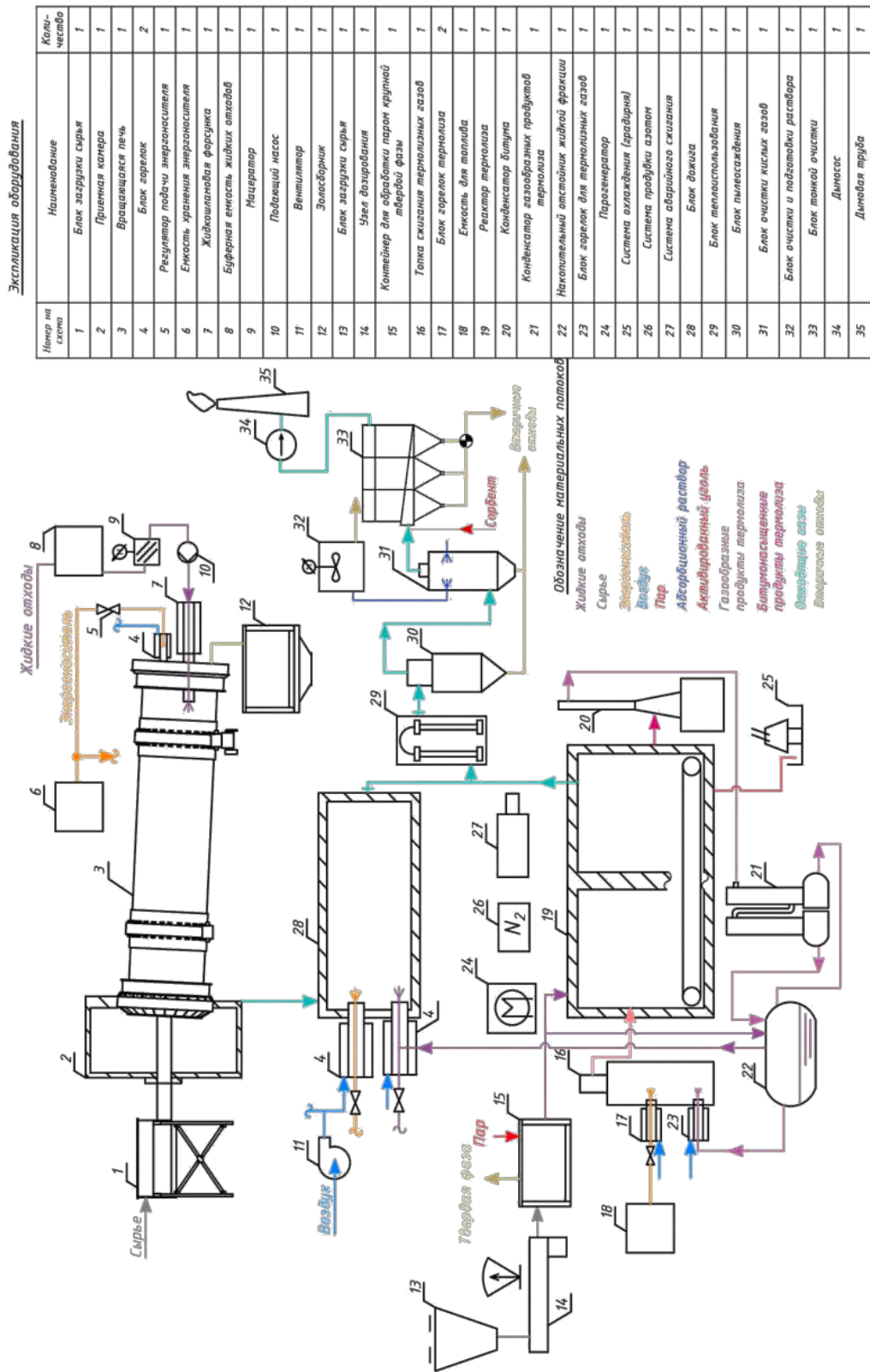


Рисунок 2.27 — Технологическая схема комбинации пиролиза и сжигания

При обосновании системы аналитического контроля по основным стадиям технологических процессов использованы результаты оценки уровней воздействия и потребления в сфере утилизации и обезвреживания отходов термическими способами.

2.3.5 Методы, основанные на применении 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 которому плазма не имеет непосредственного отношения. Плазма выступает в роли источника энергии, то есть 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.

2.3.5.1 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 (CO₂, H₂O, HCl, HF, P₄O₁₀ и др.). Степень разложения полихлорированных дибензодиоксинов и фуранов (ПХДД и ПХДФ), полихлорбифенилов (ПХБ), хлор-, фтор-, сера-, фосфорсодержащих пестицидов достигала 99,9999 %. Испытания, включающие деструкцию сме-

сей CCl_4 с метилэтилкетонем 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 супертоксианты, 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 супертоксиантов.

Отечественными специалистами также разработаны технология и реактор для плазменной переработки пестицидов (см. рисунок 2.28). Отличительной особенностью этой технологии является нейтрализация кислотных газов в системе мокрой очистки за ступенью закалки отходящих газов.

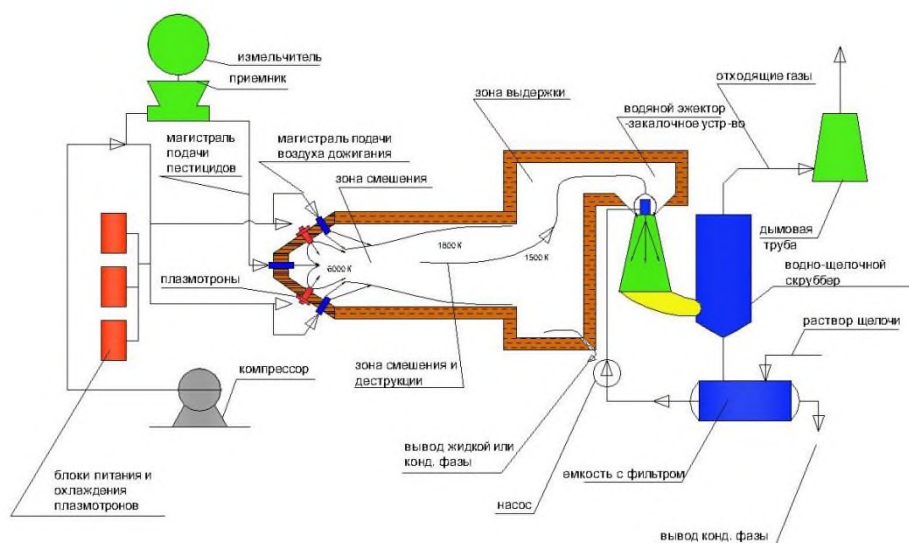


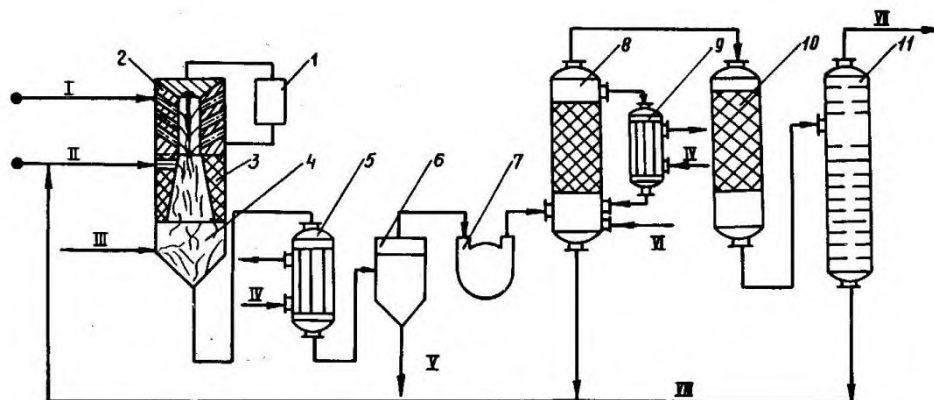
Рисунок 2.28 — Технологическая схема установки для плазменной переработки пестицидов [23]

Высокие затраты энергии и сложность аппаратного 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 2.29.



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 2.29 — 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 К, 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

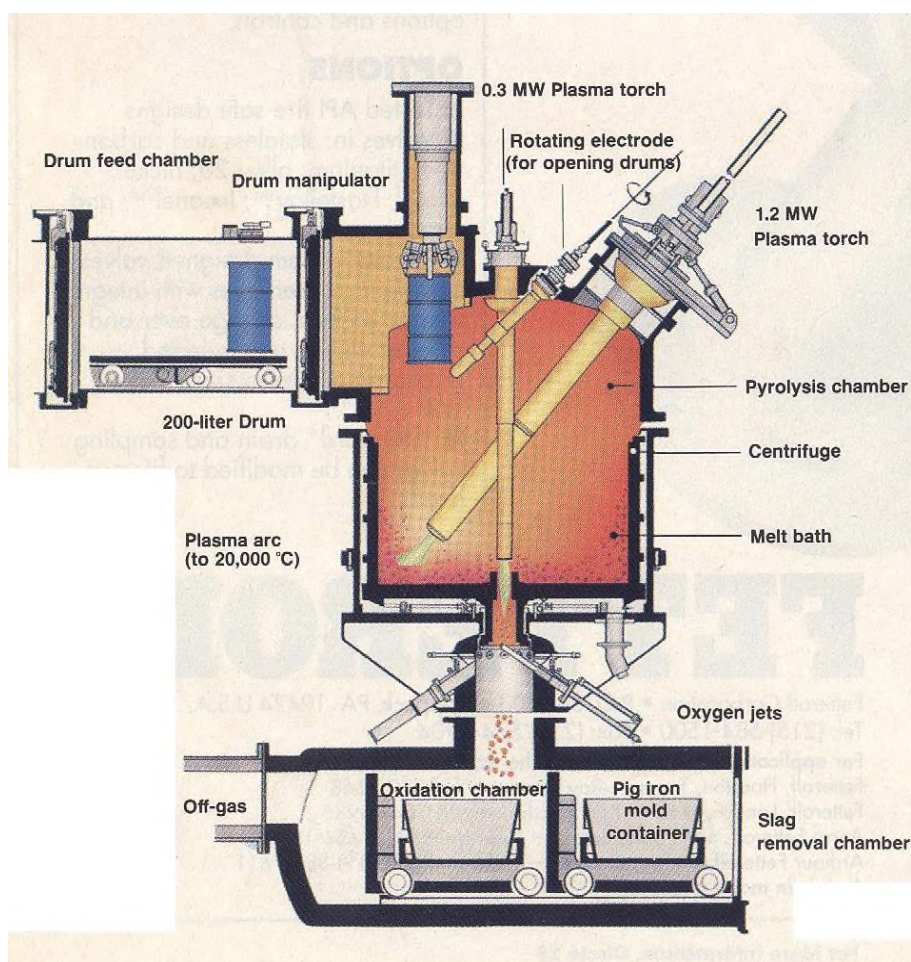
закалочном устройстве, а затем охлаждают, очищают от сажи, осуществляют селективную очистку от гомологов ацетилена и углеводородов (С₃, С₄). Очищенный газ направляют на синтез хлорорганических продуктов.

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

2.3.5.2 Воздействие на слой токсичных отходов ударной плазменной струей

В 1990-х годах в Швейцарии была разработана и внедрена в г. Muttenz установка высокотемпературного обезвреживания опасных отходов мощностью 1 т/ч (см. рисунок 2.30) [25]. Центральным элементом установки является центрифуга с расположенной 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 разрабатывалась фирмой с 1985 года [26].



- 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 20 000 °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 2.30 — Установка высокотемпературного обезвреживания опасных отходов [25]

ПХБ-содержащие конденсаторы измельчаются в специальном устройстве и шнековым питателем подаются в первичную камеру переработки. В реакционную зону первичной камеры подаются 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) происходят 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. 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 %.

Специалистами Республики Беларусь разработана, изготовлена и испытана плазменная камерная печь периодического действия мощностью до 50 кВт и производительностью 20–30 кг/ч [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.

Плазменная установка переработки инфицированных медицинских отходов построена на территории Московской городской инфекционной клинической больницы № 1 [28], [29]. Принципиальная технологическая схема установки приведена на рисунке 2.31.

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 причине ряда технических и экономических факторов указанная установка не была введена в постоянную эксплуатацию.

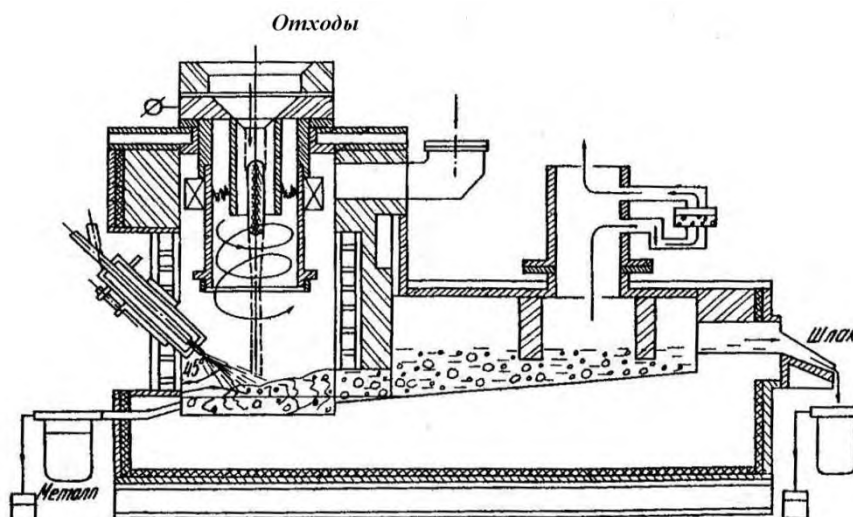


Рисунок 2.31 — Технологическая схема плазменной установки для обезвреживания медицинских отходов [28]

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.

2.3.5.3 Термическое обезвреживание отходов в плотном фильтруемом слое

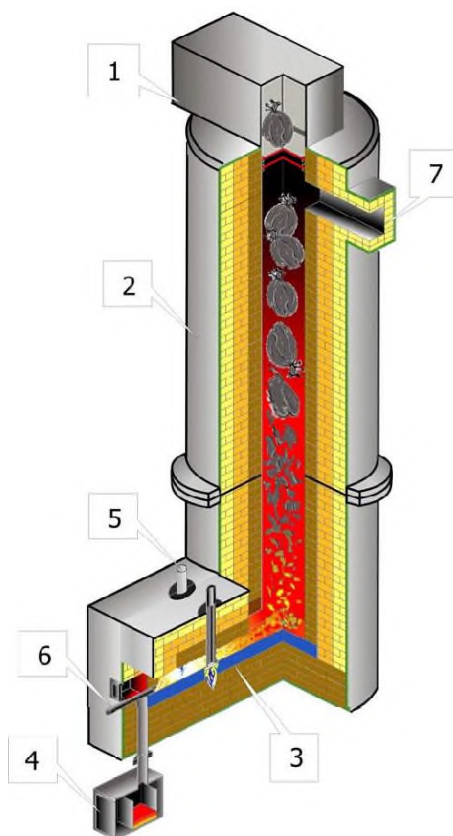
Наибольшее распространение в практике пиролиза и газификации твердых бытовых, промышленных и медицинских отходов нашли вертикальные шахтные печи.

Классическим примером противоточной шахтной печи для пиролиза твердых отходов является реактор [30], представленный на рисунке 2.32. 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 2.32 — Плазменная шахтная печь для переработки твердых радиоактивных отходов [30]

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.

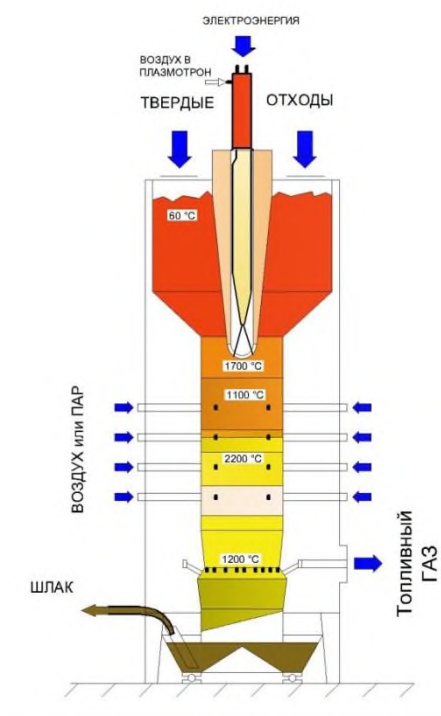
Глубокое регенеративное использование теплоты отходящих газов, присущее описанным выше противоточным шахтным печам пиролиза и газификации органических отходов, обеспечивает минимальные затраты дополнительной энергии на процесс. Однако при использовании противоточных печей (ректоров) проявляются и существенные 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 2.33) 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 супертоксиантов (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 2.33 — 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 1100–1200 °С за счет использования плазменно-дуговых источников энергии возникла возможность и целесообразность использования в качестве теплоносителя и реагента-окислителя водяного пара.

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.

2.3.5.4 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. 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 ~1200–1250 °С при времени их пребывания при указанной температуре не менее 2 с.

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.

2.3.5.5 Технология плазменной газификации

Технология плазменной газификации для обезвреживания разнородного исходного сырья при его минимальной подготовке уникальна. Установка плазменной газификации работает при температуре, превышающей 5500 °С, гарантируя практически полное преобразование исходного сырья в синтетический газ. Неорганические вещества выводятся у основания газификатора в виде сплава металлов и инертного шлака типа базальта, который охлаждается и превращается в неопасный невыщелачиваемый продукт.

Совокупная энергия, извлеченная из исходного сырья, переработанного газификатором, составляет примерно 80 %. Вторичный энергетический ресурс представляет собой чистый, высококалорийный синтетический газ, который можно использовать для генерации энергии, получения жидкого топлива или иной химической продукции. Для поддержания процесса газификации, на питание плазменных факелов, расход энергии составляет только 2–5 %.

Каждый реактор оснащаются шестью плазматронами с мощностью каждого от 300 до 800 кВт. В нормальных условиях плазматроны работают при 600 кВт.

Технологическая схема плазменной газификации приведена на рисунке 2.34.

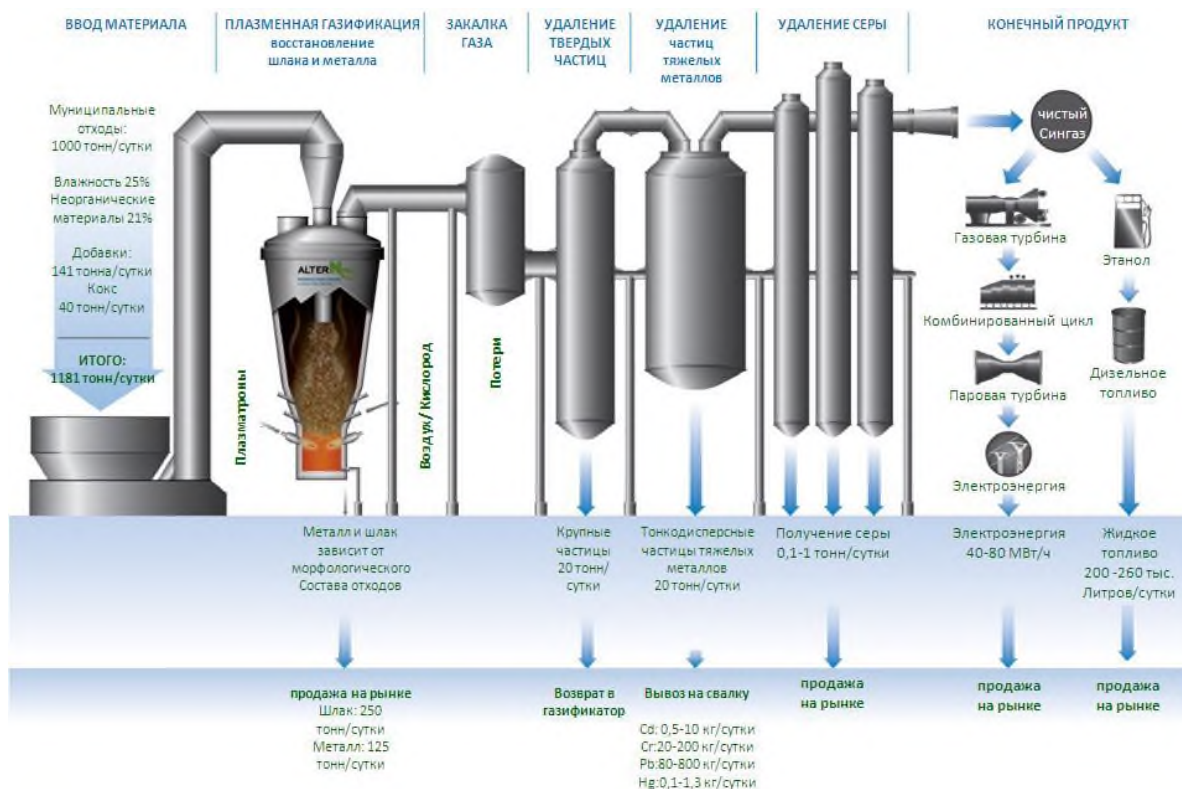


Рисунок 2.34 — Технологическая схема плазменной газификации

Процесс превращения органических компонентов смеси опасных отходов в синтез-газ и превращения неорганических компонентов в расплавленный шлак осуществляется в двух стандартных реакторах-газификаторах. В процессе поглощаются кислород и водяной пар. Высокая температура способствует значительному ускорению различных химических реакций газификации и позволяет сплавить неорганические компоненты отходов.

Для более полной газификации материалов реакторы продуваются потоком воздуха с 95 %-ным содержанием кислорода. Система снабжения кислородом представляет собой сжижающую установку разделения воздуха, которая работает по принципу охлаждения воздуха под давлением до сжижения с последующим отделением газообразного азота в ректификационной колонне.

Синтез-газ из реактора-газификатора направляется в скруббер Вентури, а затем в колонну с распылительным орошением для охлаждения, очистки от пыли, хлороводорода и прочих нежелательных примесей.

2.4 Методы очистки дымовых газов

В процессе полного сгорания отходов основными компонентами дымовых газов являются водяные пары, азот, диоксид углерода и кислород. В зависимости от состава сжигаемого материала, эксплуатационного режима и системы очистки дымовых газов производятся выбросы кислых газов (окислов серы, окислов азота, хлористого водорода), твёрдых частиц (включая связанные в частицах металлы), широкого спектра летучих органических соединений, а также летучих металлов (таких как ртуть). Также доказано, что сжигание твердых коммунальных отходов и опасных отходов приводит к непреднамеренному образованию и выбросу стойких органических загрязнителей (ПХДД/ПХДФ, ПХБ, ГХБ), потенциально могут иметь место выбросы полибромированных дибензодиоксинов (ПБДД) и полибромированных дибензофуранов (ПБДФ).

Устройства очистки дымовых газов являются обязательной составляющей технологий сжигания отходов. Системы очистки дымовых газов предназначены для снижения потенциальной опасности выбросов и улавливания максимального количества вредных веществ, образующихся в результате процессов сжигания отходов. В этих целях системы газоочистки соединяются с вытяжными системами мусоросжигательных печей. Различают сухие, полусухие и мокрые системы очистки дымовых газов. Следует учитывать, что мокрые системы очистки дымовых газов могут работать с образованием сточных вод.

Для снижения выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух применяется многоступенчатая очистка. Рассмотрим пример трехступенчатой очистки. Нейтрализация кислых компонентов дымовых газов осуществляется на первой ступени очистки, в абсорбере, с помощью извести. Глубокая очистка от летучей золы и сорбция тяжелых металлов и диоксинов происходит на второй ступени — в рукавном фильтре — через слой извести и активированного угля на фильтровальной ткани. Третья ступень очистки дымовых газов направлена на восстановление содержащихся в дымовых газах оксидов азота до молекулярного азота с использованием аммиачной воды.

Ниже приводится краткое описание основных технологических подходов к очистке дымовых газов.

1) Зола-унос содержит преимущественно летучие тяжёлые металлы, а также значительное количество органических соединений, в том числе

диоксины/фураны. Для улавливания зол в основном применяются тканевые или электрические фильтры. В таблице 2.1 приведён обзор принципиальных характеристик обеих технологий улавливания золы-уноса.

Т а б л и ц а 2.1 — Характеристики различных систем фильтрации дымовых газов

	Электрофильтр	Тканевый фильтр
Концентрация в очищенных газах	< 5 мг/м ³	< 1 мг/м ³
Преимущества	– высокая степень очистки; – низкие затраты на техобслуживание;	– очень высокая степень очистки; – низкий объем инвестиций
Недостатки	– высокий объем инвестиций; – способствует синтезу диоксинов и фуранов в процессе «де-ново»	– высокие затраты на техобслуживание ввиду перепада давления, необходимость смены фильтра
Отходы	золы	золы

2) Кислые газы HCl, SO₂, HF можно удалять из дымовых газов сухим, квазисухим и мокрым способами. К наиболее широко распространённым системам мокрого и квазисухого удаления относятся:

- трехступенчатые скрубберы (мокрое удаление HCl раствором извести);
- трехступенчатые скрубберы с выпариванием воды с помощью распылительной сушилки в горячем дымовом газе (мокрое);
- распылительные адсорберы (квазисухое поглощение).

Также могут применяться и сухие системы очистки дымовых газов. Особенность этих систем заключается в распылении известкового молока на основе жженой извести или гидроокиси кальция в потоке дымовых газов. Предварительно дымовой газ пропускается через систему охлаждения. Загрязненное известковое молоко улавливается тканевыми фильтрами. Сухая очистка дымовых газов позволяет существенно снизить концентрацию вредных веществ в очищенном газе. Недостатком описанных технологий является образование опасных отходов. С другой стороны, они требуют меньшего объема инвестиций.

3) Для очистки дымовых газов от золы и оксидов серы может применяться кольцевой эмульгатор.

Запыленные дымовые газы через тангенциальный вход поступают в нижнюю часть корпуса и через завихритель входят в закрученном виде в среднюю часть эмульгатора. По трубе на конус завихрителя подается орошающая вода, образуя вращающийся слой газожидкостной эмульсии, через которую фильтруются очищаемые газы. Пульпа с уловленной золой сливается в канал гидрозолоудаления.

Дымовые газы после промывки в эмульсионном слое проходят через второй завихритель (раскручиватель), который усиливает вращательное движение. Капли

пульпы, возникающие на верхней границе эмульсионного слоя, под действием центробежных сил сепарируются на стенку корпуса. Очищенные от пыли и капель газы удаляются через выходной газоход.

Очищенные в пенном слое газы имеют низкую температуру и высокую относительную влажность, поэтому для исключения образования конденсата в газовом тракте после газоочистителя и предотвращения сернокислотной коррозии металлических поверхностей в газоход после кольцевого эмульгатора смесителем подается горячий воздух, который повышает температуру очищенных газов.

Подача в орошающую воду щелочных добавок позволяет в одном аппарате осуществлять глубокую очистку дымовых газов не только от золы, но и на 96–99 % от оксидов серы.

4) Оксиды азота. Если образование оксидов азота не может быть предотвращено путем выбора соответствующей технологии сжигания, то можно использовать два способа их удаления из дымовых газов:

- некаталитический способ СНКВ (Selective Non Catalytic Reduction);
- каталитический способ СКВ (Selective Catalytic Reduction).

Некаталитический способ (СНКВ) позволяет восстановить до 60–80 % NO_x путем впрыскивания через форсунки в горячие дымовые газы (при 950 °С) азотных соединений (в основном мочевины или аммиака) [60].

При обработке каталитическим способом (СКВ) оксиды азота разлагаются на катализаторе под воздействием раствора аммиака с образованием газообразного азота и водяного пара. Каталитическое разложение оксидов азота происходит при температурах от 170 °С до 380 °С. Степень разложения составляет свыше 90 %. При использовании технологий СНКВ и СКВ не образуется никаких отходов [60].

В таблице 2.2 приведены основные характеристики обоих способов.

Т а б л и ц а 2.2 — Характеристики процессов удаления оксидов азота [60]

	Некаталитический способ (SNCR)	Каталитический способ (SCR)
Концентрация NO_x в очищенных газах	< 150 мг/м ³	< 70 мг/м ³
Преимущества	– дешевизна; – высокая степень очистки; – ограниченный синтез диоксинов и фуранов в процессе «де-ново»	– очень высокая степень очистки; – возможно прямое разрушение диоксинов и фуранов
Недостатки		– дороговизна; – некоторые химикаты способны «отравить» катализатор

5) Тяжелые металлы и диоксины. Проходящие через скруббер диоксины, фураны и тяжелые металлы могут быть удалены из дымовых газов с помощью активированного угля (кокса) или смеси из активированного кокса и гидроокиси

кальция. Наиболее надежным процессом считается адсорбция в газовом потоке (добавление активированного кокса и извести и их смешение с дымовыми газами). Адсорбция со стационарным катализатором применяется реже ввиду относительной сложности технологии и связанных с ней более высоких затрат.

Активированный уголь (кокс) связывает тяжелые металлы (особенно Hg и Cd), а также диоксины и фураны. Помимо этого, он в незначительной мере насыщается серой и хлором. Как правило, дымовые газы возвращаются в топочное пространство до полного отделения ртути и кадмия. В настоящее время тяжелые металлы, диоксины и фураны улавливаются с помощью угольно-известковой смеси прямо при сжигании отходов.

Современные установки, а также модернизированные установки, снабжены различным оборудованием для очистки образующихся выбросов. Среди основных используемых методов можно выделить следующие:

- тканевые фильтры (для удаления выбросов твердых частиц);
- электрофильтры (для удаления выбросов твердых частиц);
- мокрые газоочистители (для удаления кислых газов);
- полусухие газоочистители/система распылительного абсорбера (для удаления кислых газов);
- системы ввода сухих веществ (для удаления кислых газов);
- метод адсорбции с применением активированного угля/активированного бурого кокса (для удаления ПХДД/Ф и ртутных загрязнений).

Раздел 3 Текущие уровни потребления ресурсов и эмиссий в окружающую среду

3.1 Уровни воздействия и потребления в сфере утилизации и обезвреживания отходов термическими способами

Согласно Закону 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, направленную 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.

В целях сохранения благоприятной окружающей среды и обеспечение экологической безопасности государственного регулирования хозяйственной и (или) иной деятельности для предотвращения и (или) снижения ее негативного воздействия на окружающую среду Законом 7-ФЗ [43] осуществляется нормирование в области окружающей среды, которое включает установление нормативов качества окружающей среды и допустимого воздействия на нее при осуществлении хозяйственной и (или) иной деятельности. 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 для юридических лиц и индивидуальных предпринимателей, эксплуатирующих объекты I–III категорий, в целях предотвращения негативного воздействия на окружающую среду хозяйственной и иной деятельности. К нормативам допустимого воздействия на окружающую среду относятся:

- нормативы допустимых выбросов, нормативы допустимых сбросов;
- технологические нормативы;
- технические нормативы;
- нормативы образования отходов и лимиты на их размещение;
- нормативы допустимых физических воздействий (уровни воздействия тепла, шума, вибрации и ионизирующего излучения, напряженности электромагнитных полей и иных физических воздействий);
- нормативы допустимого изъятия компонентов природной среды;
- нормативы допустимой антропогенной нагрузки на окружающую среду.

Технологические нормативы — это нормативы выбросов, сбросов загрязняющих веществ, нормативы допустимых физических воздействий, которые устанавливаются с применением технологических показателей, не превышающих технологических показателей наилучших доступных технологий, комплексным экологическим разрешением, выдаваемым в соответствии со статьей 31.1 Закона 7-ФЗ [43].

Технологические показатели представляют собой показатели концентрации загрязняющих веществ, объема и (или) массы выбросов, сбросов загрязняющих веществ, образования отходов производства и потребления, потребления воды и использования энергетических ресурсов в расчете на единицу времени или единицу производимой продукции (товара), выполняемой работы, оказываемой услуги.

Технологические показатели наилучших доступных технологий устанавливаются нормативными документами в области охраны окружающей среды.

Пороговые значения выбросов загрязняющих веществ, выбрасываемых в атмосферу при сжигании отходов в странах Европейского союза (аналоги технологических показателей наилучших доступных технологий), установлены Директивой [45]. Пороговые значения выбросов в воздух исчисляются при температуре 273,15 К, давлении 101,3 кПа после корректировок содержания водяного пара в отработанных газах. Они стандартизированы при содержании кислорода, равном 11 %, за исключением случаев сжигания отработанного минерального масла, а также в случаях, предусмотренных пунктом 2.7 части 6 Приложения VI Директивы [45].

Среднесуточные пороговые значения выбросов установлены для следующих загрязняющих веществ (мг/н.м³) (таблица 3.1) [45].

Таблица 3.1 — Среднесуточные пороговые значения выбросов загрязняющих веществ [45]

Наименование вещества	Ед. изм.	Количество
Всего пыли	мг/н.м ³	10
Газообразные и парообразные органические вещества, выраженные как общее содержание органического углерода (ТОС)	мг/н.м ³	10
Хлорид водорода (HCl)	мг/н.м ³	10
Фторид водорода (HF)	мг/н.м ³	1
Диоксид серы (SO ₂)	мг/н.м ³	50
Моноксид азота (NO) и диоксид азота (NO ₂), выраженные как NO ₂ для существующих заводов по сжиганию отходов с номинальной производительностью, превышающей 6 тонн в час, или для новых заводов по сжиганию отходов	мг/н.м ³	200
Моноксид азота (NO) и диоксид азота (NO ₂), выраженные как NO ₂ для существующих заводов по сжиганию отходов с номинальной производительностью, до 6 тонн в час	мг/н.м ³	400

Средние пороговые значения выбросов (мг/н.м^3) установлены для следующих тяжелых металлов, где минимальный период отбора равен 30 минутам, а максимальный — 8 часам. Указанные средние значения также распространяются на газообразные и парообразные формы выбросов соответствующих тяжелых металлов и их соединений [45].

Кадмий и его соединения, выраженные как кадмий (Cd)	Всего: 0,05
Таллий и его соединения, выраженные как таллий (Tl)	
Ртуть и ее соединения, выраженные как ртуть (Hg)	0,05
Сурьма и ее соединения, выраженные как сурьма (Sb)	Всего: 0,5
Мышьяк и его соединения, выраженные как мышьяк (As)	
Свинец и его соединения, выраженные как свинец (Pb)	
Хром и его соединения, выраженные как хром (Cr)	
Кобальт и его соединения, выраженные как кобальт (Co)	
Медь и ее соединения, выраженные как медь (Cu)	
Марганец и его соединения, выраженные как марганец (Mn)	
Никель и его соединения, выраженные как никель (Ni)	
Ванадий и его соединения, выраженные как ванадий (V)	

Средние пороговые значения выбросов для диоксинов и фуранов установлены на уровне $0,1 \text{ нг/н.м}^3$, где минимальный период отбора равен 6 часам, а максимальный — 8 часам. Пороговые значения выбросов установлены для монооксида углерода (CO) в отработанных газах (мг/н.м^3) [45]:

- а) 50 как среднесуточное значение;
- б) 100 как среднее получасовое значение;
- в) 150 как среднее 10-минутное значение.

В Справочнике ЕС по наилучшим доступным технологиям Best Available Techniques (BAT) Reference Document for Waste Incineration, 2019 [60] показана возможность достижения следующих технологических показателей при применении наилучших доступных технологий (мг/н.м^3):

Всего пыли	мг/н.м ³	2–5
ТОС	мг/н.м ³	< 3–10
HCl (для новых заводов)	мг/н.м ³	< 2–6
HF (для новых заводов)	мг/н.м ³	< 1
SO ₂ (для новых заводов)	мг/н.м ³	5–30
Hg (для новых заводов)	мг/н.м ³	< 0,005–0,02
Cd+Pb	мг/н.м ³	0.005–0.02
Sb+As+Pb+Cr+Co+Cu+Mn+Ni+V	мг/н.м ³	0.01–0.3
NO _x	мг/н.м ³	50–150
CO	мг/н.м ³	10–50
NH ₃	мг/н.м ³	2–10
PCDD/F (для новых заводов)	нг/н.м ³	< 0.01–0.04

Директивой [45] рекомендуется следующая периодичность контроля маркерных веществ в выбросах в атмосферный воздух при утилизации и обезвреживании отходов термическими способами:

– отбор и анализ всех загрязняющих веществ, в том числе диоксинов и фуранов, а также гарантии качества автоматических систем измерения и контрольные измерения для проверки таких систем, должны проводиться в соответствии с требованиями законодательства о единстве измерений;

– автоматические системы измерения контролируются путем проведения параллельных контрольных измерений по крайней мере один раз в год. На уровне ежедневного порогового значения выбросов значения 95-процентного доверительного интервала для результата, измеренного без контрольной проверки, не должны превышать следующие пороговые значения выбросов в процентах:

Монооксид углерода	10 %
Диоксид серы	20 %
Диоксид азота	20 %
Общее содержание пыли	30 %
Общее содержание органического углерода	30 %
Хлорид водорода	40 %
Фторид водорода	40 %

Директивой [45] рекомендуется проводить измерения загрязняющих воздух веществ со следующей периодичностью:

– непрерывные измерения следующих веществ: NO_x, если установлены пороговые значения выбросов, СО, общее содержание пыли, ТОС (углеводороды предельные C₁₂–C₁₉), HCl, HF, SO₂;

– по крайней мере два раза в год – измерения тяжелых металлов, а также диоксинов и фуранов, при этом в течение первых 12 месяцев функционирования необходимо проводить по крайней мере одно измерение каждые три месяца;

– непрерывные измерения HF могут не проводиться при наличии этапов обработки HCl, что гарантирует соблюдение порогового значения выбросов для HCl;

– допускается проведение измерений тяжелых металлов один раз в каждые два года; измерения диоксинов и фуранов раз в год - измерения проводить в следующих случаях:

а) выбросы, образующиеся вследствие сжигания отходов, ниже 50 % порогового значения выбросов;

б) отходы, подлежащие сжиганию, состоят только из отсортированных горючих фракций неопасных отходов, не пригодных для переработки и имеющих определенные характеристики, которые подтверждаются контролем их качества;

в) оператор может доказать, основываясь на информации о качестве отходов и результатах мониторинга выбросов, что выбросы при всех обстоятельствах значительно ниже пороговых значений выбросов для тяжелых металлов, а также для диоксинов и фуранов.

В Российской Федерации требования к контролю эмиссий регламентированы Законом 7-ФЗ [43] и соответствующими подзаконными актами. В частности утверждены виды технических устройств, оборудования или их совокупности (установок) на объектах I категории, стационарные источники выбросов загрязняющих веществ, сбросов загрязняющих веществ, которые подлежат оснащению автоматическими средствами измерения и учета показателей выбросов загрязняющих веществ и (или) сбросов загрязняющих веществ, а также техническими средствами фиксации и передачи информации о показателях выбросов загрязняющих веществ и (или) сбросов загрязняющих веществ в государственный реестр объектов, оказывающих негативное воздействие на окружающую среду.

Применительно к технологии сжигания отходов к видам таких установок относятся:

– установки по сжиганию отходов I, II и III классов опасности, а также пестицидов и агрохимикатов, пришедших в негодность и (или) запрещенных к употреблению, с проектной мощностью 200 кг в час и более;

– установки по сжиганию отходов IV и V классов опасности с проектной мощностью 3 тонны в час и более;

– установки по сжиганию биологических и медицинских отходов с проектной мощностью 10 тонн в сутки и более.

При этом системами автоматического контроля обеспечиваются стационарные источники выбросов при соблюдении следующих условий:

а) выбросы от стационарного источника образуются при эксплуатации технических устройств;

б) в выбросах от стационарного источника присутствует одно из следующих загрязняющих веществ, массовый выброс которых превышает значения:

- 1) взвешенные вещества — 3 кг/час;
- 2) серы диоксид — 30 кг/час;
- 3) оксиды азота (сумма азота оксида и азота диоксида) — 30 кг/час;
- 4) углерода оксид как показатель полноты сгорания топлива — 5 кг/час;
- 5) углерода оксид во всех остальных случаях — 100 кг/час;
- 6) фтористый водород — 0,3 кг/час;
- 7) хлористый водород — 1,5 кг/час;
- 8) сероводород — 0,3 кг/час;
- 9) аммиак — 1,5 кг/час.

Указанные выше требования распространяются на разработку программы производственного экологического контроля в рамках подготовки заявки на комплексное экологическое разрешение. Текущие уровни эмиссии, приведенные далее, определены в иных условиях.

Сведения о текущих эмиссиях на предприятиях, эксплуатирующих установки по термической утилизации и обезвреживанию отходов, представлены по результатам проведенного анкетирования. В таблице 3.2 представлены сводные данные, характеризующие технологии утилизации и обезвреживания термическими способами, реализованными в Российской Федерации, по которым была представлена информация.

Таблица 3.2 — Сводные данные об установках утилизации и обезвреживания отходов, информация по которым была представлена в рамках анкетирования

№ установки	Шифр анкеты, представленной лицом, эксплуатирующим технологию/оборудование	Шифр анкеты, представленной разработчиком технологий/оборудования	Отходы, подлежащие утилизации/обезвреживанию	Технология	Система очистки газов	Производительность	Степень внедрения
СЖИГАНИЕ							
Установка 1.1	09-01-01-01		Замазученные грунты	Сжигание во вращающейся печи	Циклон — очистка от взвешенных веществ. Скруббер — очистка от газообразных веществ, доочистка от взвешенных веществ	6 т/час	Промышленный образец
Установка 1.2	09-01-11-02		Шламы буровые при бурении, связанном с добычей природного газа и газового конденсата, малоопасные; растворы буровые при бурении газовых и газоконденсатных скважин, отработанные, малоопасные	Обезвреживание во вращающейся печи	Камера дожигания, блок циклонов, скруббер	16 775,2 т/год	Промышленный образец

№ установки	Шифр анкеты, представленной лицом, эксплуатирующим технологию/оборудование	Шифр анкеты, представленной разработчиком технологий/оборудования	Отходы, подлежащие утилизации/обезвреживанию	Технология	Система очистки газов	Производительность	Степень внедрения
Установка 22.1	09-01-14-01		Шлам очистки емкостей и трубопроводов от нефти и нефтепродуктов; осадок механической очистки оборотных вод мойки насосно-компрессорных труб, содержащий парафиносмолистые отложения; осадок (шлам) механической очистки нефтесодержащих сточных вод, содержащий нефтепродукты в количестве менее 15 %, обводненный; грунт, загрязненный нефтью или нефтепродуктами (содержание нефти или нефтепродуктов 15 % и более); грунт, загрязненный нефтью или нефтепродуктами (содержание нефти или нефтепродуктов менее 15 %)	Сжигание во вращающейся печи	Циклон, оксидайзер (эффективный дожиг отходящих газов)	10 000 т/год	Промышленный образец
Установка 22.2	09-01-14-01			Сжигание во вращающейся печи	Циклон, оксидайзер (эффективный дожиг отходящих газов)	10 000 т/год	Промышленный образец
Установка 22.3	09-01-14-02			Сжигание во вращающейся печи	Циклон, оксидайзер (эффективный дожиг отходящих газов)	10 000 т/год	Промышленный образец
Установка 22.4	09-01-14-03			Сжигание во вращающейся печи	Циклон, оксидайзер (эффективный дожиг отходящих газов)	10 000 т/год	Промышленный образец
Установка 22.5	09-01-14-04			Сжигание во вращающейся печи	Циклон, оксидайзер (эффективный дожиг отходящих газов)	10 000 т/год	Промышленный образец
Установка 22.6	09-01-14-05			Сжигание во вращающейся печи	Циклон, оксидайзер (эффективный дожиг отходящих газов)	10 000 т/год	Промышленный образец

№ установки	Шифр анкеты, представленной лицом, эксплуатирующим технологию/оборудование	Шифр анкеты, представленной разработчиком технологий/оборудования	Отходы, подлежащие утилизации/обезвреживанию	Технология	Система очистки газов	Производительность	Степень внедрения
Установка 22.7	09-01-14-06			Сжигание во вращающейся печи	Циклон, оксидайзер (эффективный дожиг отходящих газов)	10 000 т/год	Промышленный образец
Установка 22.8	09-01-14-07			Сжигание во вращающейся печи	Циклон, оксидайзер (эффективный дожиг отходящих газов)	10 000 т/год	Промышленный образец
Установка 22.9	09-01-14-08			Сжигание во вращающейся печи	Циклон, оксидайзер (эффективный дожиг отходящих газов)	10 000 т/год	Промышленный образец
Установка 22.10	09-01-14-09			Сжигание во вращающейся печи	Циклон, оксидайзер (эффективный дожиг отходящих газов)	10 000 т/год	Промышленный образец
Установка 56	09-01-22-01	09-02-25-01	Отходы Блоков 1–4, 7–9 ФККО	Сжигание во вращающейся печи	Скруббер	4 380–43 800 т/год	Промышленное внедрение на 1 объекте

№ установки	Шифр анкеты, представленной лицом, эксплуатирующим технологию/оборудование	Шифр анкеты, представленной разработчиком технологий/оборудования	Отходы, подлежащие утилизации/обезвреживанию	Технология	Система очистки газов	Производительность	Степень внедрения
Установка 58	09-01-23-01	09-02-29-03	Упаковка из разнородных полимерных материалов, загрязненная пестицидами 1 класса опасности (содержание пестицидов менее 1%; отходы упаковки из разнородных материалов в смеси с преимущественным содержанием бумаги, загрязненные пестицидами 2 и/или 3 класса опасности; упаковка полиэтиленовая, загрязненная пестицидами 3 класса опасности; упаковка полипропиленовая, загрязненная пестицидами 2 класса опасности; упаковка из разнородных полимерных материалов, загрязненная пестицидами 3 класса опасности; спецодежда из натуральных, синтетических, искусственных и шерстяных волокон, загрязненная нефтепродуктами (содержание нефтепродуктов менее 15%)	Сжигание в тоннельной печи	Камера дожига, скруббер, электрофильтр	11 064 т/год	Промышленный образец
Установка 59	09-01-25-01	09-02-29-02	Отходы, загрязненные пестицидами	Сжигание во вращающейся печи	Камера дожига, циклон, рукавный фильтр, скруббер	1 800 т/год	Промышленный образец

№ установки	Шифр анкеты, представленной лицом, эксплуатирующим технологию/оборудование	Шифр анкеты, представленной разработчиком технологий/оборудования	Отходы, подлежащие утилизации/обезвреживанию	Технология	Система очистки газов	Производительность	Степень внедрения
Установка 2.1.1.2	09-01-02-01	09-02-02-01	Шлам очистки емкостей и трубопроводов от нефти и нефтепродуктов; ил избыточный биологических очистных сооружений хозяйственно-бытовых и смешанных сточных вод; обтирочный материал, загрязненный нефтью или нефтепродуктами (содержание нефти или нефтепродуктов менее 15 %); мусор от офисных и бытовых помещений организаций несортированный (исключая крупногабаритный); отходы из жилищ несортированные (исключая крупногабаритные); смет с территории предприятия малоопасный; спецодежда из хлопчатобумажного и смешанных волокон, утратившая потребительские свойства, незагрязненная; отходы бумаги и картона от канцелярской деятельности и делопроизводства; лом изделий из стекла; пищевые отходы кухонь и организаций общественного питания несортированные; отходы упаковочного картона незагрязненные; отходы полиэтиленовой тары незагрязненной	Сжигание в подовой печи	Камера дожига	50 кг/час	Промышленный образец

№ установки	Шифр анкеты, представленной лицом, эксплуатирующим технологию/оборудование	Шифр анкеты, представленной разработчиком технологий/оборудования	Отходы, подлежащие утилизации/обезвреживанию	Технология	Система очистки газов	Производительность	Степень внедрения
Установка 2.1.1.1	09-01-07-01	09-02-02-01	Медицинские и биологические отходы	Сжигание в подовой печи	4 циклона с тангенциальным подводом дымовых газов, «сухой скруббер» для очистки дымовых газов химреагентов	50 кг/час	Промышленный образец
Установка 2.1.1.5	09-01-04-01	09-02-02-01	Шлам очистки емкостей и трубопроводов от нефти и нефтепродуктов; спецодежда из хлопчатобумажного и смешанных волокон, утратившая потребительские свойства, незагрязненная; обувь кожаная рабочая, утратившая потребительские свойства; отходы из жилищ несортированные (исключая крупногабаритные); мусор от офисных и бытовых помещений организаций несортированный (исключая крупногабаритный); мусор и смет от уборки складских помещений малоопасный; смет с территории предприятия малоопасный; смет с территории гаража,	Сжигание в подовой печи	Камера дожига	100 кг/час	Промышленный образец

№ установки	Шифр анкеты, представленной лицом, эксплуатирующим технологию/оборудование	Шифр анкеты, представленной разработчиком технологий/оборудования	Отходы, подлежащие утилизации/обезвреживанию	Технология	Система очистки газов	Производительность	Степень внедрения
			автостоянки малоопасный; песок, загрязненный нефтью или нефтепродуктами (содержание нефти или нефтепродуктов менее 15 %); обтирочный материал, загрязненный нефтью или нефтепродуктами (содержание нефти или нефтепродуктов менее 15 %); тара деревянная, утратившая потребительские свойства, незагрязненная; отходы упаковочной бумаги незагрязненные; отходы пенополиэтилена незагрязненные; осадок очистных сооружений дождевой (ливневой) канализации практически неопасный; мусор с защитных решеток хозяйственно-бытовой и смешанной канализации практически неопасный; пищевые отходы кухонь и организаций общественного питания несортированные; непищевые отходы (мусор) кухонь и организаций общественного питания практически неопасные				

№ установки	Шифр анкеты, представленной лицом, эксплуатирующим технологию/оборудование	Шифр анкеты, представленной разработчиком технологий/оборудования	Отходы, подлежащие утилизации/обезвреживанию	Технология	Система очистки газов	Производительность	Степень внедрения
Установка 3	09-01-03-01		Эмульсии и эмульсионные смеси для шлифовки металлов отработанные, содержащие масла и нефтепродукты в количестве менее 15 %	Сжигание в циклонной печи	Скруббер — очистка отходящих газов от оксидов серы. Циклон-вихревой пылеуловитель — очистка отходящих газов от взвешенных веществ	4 380 т/год	Промышленный образец
Установка 15	09-01-08-01		Кубовый остаток производства метилдиэтанолamina; отходы технических испытаний продукции органического синтеза, не содержащей галогены; отходы пропарки и очистки железнодорожных вагонов-цистерн перевозки негалогенированных органических веществ (содержание негалогенированных органических веществ 15 % и более); воды пропарки и промывки, оборудования производства метилдиэтанолamina, содержащие высококипящие амины не более 5 %; кубовый остаток при ректификации диметилэтанолamina-сырца	Сжигание в циклонной печи	Скруббер (нейтрализация кислых паров и охлаждение), санитарный скруббер (окончательная очистка дымовых газов)	Сточные воды — 2,2–2,4 м ³ /час; горючие отходы — 0,2–0,27 т/час; сдувки азотные — не более 4 000 м ³ /ч; сдувки с этиленом — не более 30 м ³ /ч; воздух от местных отсосов — не более 13 500 м ³ /ч	Промышленный образец

№ установки	Шифр анкеты, представленной лицом, эксплуатирующим технологию/оборудование	Шифр анкеты, представленной разработчиком технологий/оборудования	Отходы, подлежащие утилизации/обезвреживанию	Технология	Система очистки газов	Производительность	Степень внедрения
			в его производстве; отходы промывки алкилфенола водой при производстве оксиэтилированных алкилфенолов; кубовые остатки при отгонке эфиров метилового спирта в их производстве; жидкие отходы при поглощении водой технологических сдувок в производстве эфиров метилового спирта; водный раствор аминов при абсорбции технологических сдувок водой в производстве диметилэтанолamina; отходы зачистки оборудования фильтрации неионогенных поверхностно-активных веществ алифатических в их производстве; масло индустриальное, отработанное в вакуум-насосах, загрязненное этаноламинами в их производствах; водный конденсат парожетторной установки в производстве этаноламинов; дистиллят при отгонке воды из реакционной смеси при производстве этаноламинов				

№ установки	Шифр анкеты, представленной лицом, эксплуатирующим технологию/оборудование	Шифр анкеты, представленной разработчиком технологий/оборудования	Отходы, подлежащие утилизации/обезвреживанию	Технология	Система очистки газов	Производительность	Степень внедрения
Установка 16	09-01-09-01		Надсмольные воды производства карбамидоформальдегидных смол, содержащие формальдегид	Сжигание в циклонной печи		39 420 т/год	Промышленный образец
Установка 2.1.3.8	09-01-12-01	09-02-02-01	Отходы добычи топливно-энергетических полезных ископаемых; отходы добычи прочих полезных ископаемых; отходы прочих видов деятельности в области добычи полезных ископаемых, включая геолого-разведочные, геофизические и геохимические работы; отходы производства кокса, нефтепродуктов; отходы производства химических веществ и химических продуктов; отходы нефтепродуктов; продукты химические, утратившие потребительские свойства; отходы транспортировки газа, производства и распределения газового топлива; отходы при заборе, очистке и распределении воды для бытовых и промышленных нужд; отходы при сборе и обработке сточных вод, вод систем оборотного водоснабжения	Сжигание в циклонной печи	Камера дожига	1000 кг/час	Промышленный образец

№ установки	Шифр анкеты, представленной лицом, эксплуатирующим технологию/оборудование	Шифр анкеты, представленной разработчиком технологий/оборудования	Отходы, подлежащие утилизации/обезвреживанию	Технология	Система очистки газов	Производительность	Степень внедрения
Установка 55	09-01-21-01		<p>Кубовые остатки производства ванилацетата;</p> <p>жидкие органические отходы при очистке ректификации продуктов в производстве ацетальдегида;</p> <p>жидкие отходы азеотропной осушки н-бутилового спирта (бутанола) при производстве н-бутилового спирта на основе ацетальдегида, содержащие легко кипящие углеводороды;</p> <p>отходы производства н-бутилового спирта (бутанола) на основе ацетальдегида, содержащие конденсированные высококипящие углеводороды;</p> <p>кубовые остатки производства бутилацетата;</p> <p>отходы зацелачивания ацетонасырца при производстве ацетона;</p> <p>жидкие органические отходы регенерации сырья в производстве поливинилового спирта;</p> <p>отходы технических испытаний продукции органического синтеза, не содержащих галогенов</p>	Сжигание в циклонной печи		11 094 т/год	Промышленный образец

Продолжение таблицы 3.2

№ установки	Шифр анкеты, представленной лицом, эксплуатирующим технологию/оборудование	Шифр анкеты, представленной разработчиком технологий/оборудования	Отходы, подлежащие утилизации/обезвреживанию	Технология	Система очистки газов	Производительность	Степень внедрения
Установка 7	09-01-05-01		ОТХОДЫ ПРИ СБОРЕ И ОБРАБОТКЕ СТОЧНЫХ ВОД (обезвоженный осадок смеси сырого осадка сточных вод и избыточного уплотненного ила)	Сжигание в печи кипящего слоя	Электрофильтр, рукавный фильтр	67 014 т/год	Промышленный образец
Установка 8	09-01-05-02		ОТХОДЫ ПРИ СБОРЕ И ОБРАБОТКЕ СТОЧНЫХ ВОД (обезвоженный осадок смеси сырого осадка сточных вод и избыточного уплотненного ила)	Сжигание в печи кипящего слоя	Электрофильтр, двухступенчатый скруббер	25 623 т/год	Промышленный образец
Установка 68/производитель 68		09-02-28-01	Иловые осадки коммунальных очистных сооружений	Сжигание в печи кипящего слоя катализатора	Рукавный фильтр, скруббер	6 т/ч	Промышленное внедрение на 1 объекте
Установка 13	09-01-07-01	09-02-06-01	Медицинские и биологические отходы	Сжигание в камере сгорания	Камера дожига	100 кг/час	Промышленный образец
Установка 6.1.2				Сжигание в камере сгорания	Камера дожига	150 кг/час	Промышленный образец

№ установки	Шифр анкеты, представленной лицом, эксплуатирующим технологию/оборудование	Шифр анкеты, представленной разработчиком технологий/оборудования	Отходы, подлежащие утилизации/обезвреживанию	Технология	Система очистки газов	Производительность	Степень внедрения
Установка 6.1.4	09-01-04-02	09-02-06-01	Шлам очистки емкостей и трубопроводов от нефти и нефтепродуктов; спецодежда из хлопчатобумажного и смешанных волокон, утратившая потребительские свойства, незагрязненная; обувь кожаная рабочая, утратившая потребительские свойства; отходы из жилищ несортированные (исключая крупногабаритные); мусор от офисных и бытовых помещений организаций несортированный (исключая крупногабаритный); мусор и смет от уборки складских помещений малоопасный; смет с территории предприятия малоопасный; смет с территории гаража, автостоянки малоопасный; песок, загрязненный нефтью или нефтепродуктами (содержание нефти или нефтепродуктов менее 15 %); обтирочный материал, загрязненный нефтью или нефтепродуктами (содержание нефти или нефтепродуктов менее 15 %); Тара	Сжигание в камере сгорания	Камера дожига	300 кг/час	Промышленный образец
Установка 6.1.6				Сжигание в камере сгорания	Камера дожига	500 кг/час	Промышленный образец

№ установки	Шифр анкеты, представленной лицом, эксплуатирующим технологию/оборудование	Шифр анкеты, представленной разработчиком технологий/оборудования	Отходы, подлежащие утилизации/обезвреживанию	Технология	Система очистки газов	Производительность	Степень внедрения
			деревянная, утратившая потребительские свойства, незагрязненная; отходы упаковочной бумаги незагрязненные; отходы пенополиэтилена незагрязненные; осадок очистных сооружений дождевой (ливневой) канализации практически неопасный; мусор с защитных решеток хозяйственно-бытовой и смешанной канализации практически неопасный; пищевые отходы кухонь и организаций общественного питания несортированные; непищевые отходы (мусор) кухонь и организаций общественного питания практически неопасные				
Установка 6.1.7	09-01-16-01	09-02-06-01	Отходы Блоков 3–4, 7–9 ФККО	Сжигание в камере сгорания	Камера дожига	100 кг/час	Промышленный образец
Установка 18.5.2.2	09-01-11-01	09-02-15-01	Шламы буровые при бурении, связанном с добычей природного газа и газового конденсата, малоопасные; растворы буровые при бурении газовых и газоконденсатных скважин отработанные малоопасные	Сжигание в камере сгорания	Камера дожига, блок циклонов, скруббер	20 749,5 т/год	Промышленный образец

№ установки	Шифр анкеты, представленной лицом, эксплуатирующим технологию/оборудование	Шифр анкеты, представленной разработчиком технологий/оборудования	Отходы, подлежащие утилизации/обезвреживанию	Технология	Система очистки газов	Производительность	Степень внедрения
Установка 12.1	09-01-12-02		Отходы Блоков 2–4, 7–9 ФККО	Сжигание в камере сгорания	Камера дожига	25 кг/ч	Промышленный образец
Установка 12.1	09-01-12-03		Отходы Блоков 2–4, 7–9 ФККО	Сжигание в камере сгорания	Камера дожига	25 кг/час	Промышленный образец
Установка 12.1	09-01-12-04		Отходы Блоков 2–4, 7–9 ФККО	Сжигание в камере сгорания	Камера дожига	25 кг/час	Промышленный образец
Установка 12.1	09-01-06-01		Промасленные ветошь и опилки, отработанные фильтры, отработанные сорбенты, картон и бумажные изделия, нефтесодержащие отходы, другие горючие материалы	Сжигание в камере сгорания	Камера дожига	25 кг/час	Промышленный образец
Установка 12.2				Сжигание в камере сгорания	Камера дожига	180 кг/час	Промышленный образец
Установка 12.2	09-01-14-01		Отходы Блоков 2–4, 7–9 ФККО	Сжигание в камере сгорания	Камера дожига	180 кг/час	Промышленный образец
Установка 21	09-01-13-01		Биологические и медицинские отходы	Сжигание в камере сгорания	Камера дожига	100 кг/час	Промышленный образец
Инсинератор Установка 6.1.2	09-01-10-05	09-02-06-01	Отходы Блоков 2–4, 7–9 ФККО	Сжигание в камере сгорания	Камера дожига	150 кг/час	Промышленный образец

№ установки	Шифр анкеты, представленной лицом, эксплуатирующим технологию/оборудование	Шифр анкеты, представленной разработчиком технологий/оборудования	Отходы, подлежащие утилизации/обезвреживанию	Технология	Система очистки газов	Производительность	Степень внедрения
Инсинератор Установка 6.1.7			Отходы Блоков 2–4, 7–9 ФККО	Сжигание в камере сгорания	Камера дожига	1000 кг/час	Промышленный образец
Установка 19	09-01-10-03		Растворы буровые при бурении газовых и газоконденсатных скважин отработанные малоопасные; воды сточные буровые при бурении, связанном с добычей природного газа и газового конденсата, малоопасные	Сжигание факельным способом		29 699,58 т/год	Промышленный образец
Установка 29-30	09-01-10-01		Отходы бурения	Сжигание факельным способом			Промышленный образец
Установка 23	09-01-15-01		Жидкие отходы ректификации сырца метоксиэтилборана; кубовые остатки ректификации сырца триэтилбора; отходы регенерации диэтиланилина, содержащие хлорид натрия, при производстве диборана; смесь триизопропилбората и изопропилового спирта при очистке отходящих газов производства	Сжигание в циклонной печи	Пылеуловительная камера	1050 т/год — жидких отходов или 50 кг/ч твердых	Промышленный образец

№ установки	Шифр анкеты, представленной лицом, эксплуатирующим технологию/оборудование	Шифр анкеты, представленной разработчиком технологий/оборудования	Отходы, подлежащие утилизации/обезвреживанию	Технология	Система очистки газов	Производительность	Степень внедрения
			<p>толуольного раствора декаборана изопропиловым спиртом;</p> <p>промывные воды технологического оборудования при получении водорода электролитическим методом;</p> <p>промывные воды производства диметиламинборана;</p> <p>обтирочный материал, загрязненный нефтью или нефтепродуктами (содержание нефти или нефтепродуктов 15 % и более);</p> <p>жидкие отходы промывки изопропиловым спиртом фильтров очистки от твёрдых бороводородов толуольного раствора декаборана в его производстве;</p> <p>жидкие отходы промывки изопропиловым спиртом оборудования производства толуольного раствора декаборана</p>				
Производитель 31		09-02-18-01	Отходы Блоков 1, 2, 4 ФККО	Сжигание в шахтной печи с циклонной камерой	Камера дожига, мокрый скруббер	30 660 т/год	Опытно-промышленный образец

Продолжение таблицы 3.2

№ установки	Шифр анкеты, представленной лицом, эксплуатирующим технологию/оборудование	Шифр анкеты, представленной разработчиком технологий/оборудования	Отходы, подлежащие утилизации/обезвреживанию	Технология	Система очистки газов	Производительность	Степень внедрения
Пиролиз							
Модуль Пиролиза Установка 20.1.1	09-01-10-02	09-02-20-01	Отходы Блоков 2–4, 7–9 ФККО	Пиролиз	Фильтр пиролизных газов	660–700 т/год	Промышленный образец
Установка 26.1.2	09-01-10-04	09-02-16-01	Растворы буровые на углеводородной основе при бурении, связанном с добычей сырой нефти, природного газа и газового конденсата, отработанные умеренно опасные; шламы буровые при бурении, связанном с добычей сырой нефти, природного газа и газового конденсата, с применением бурового раствора на углеводородной основе умеренно опасные; шламы буровые при бурении, связанном с добычей сырой нефти, природного газа и газового конденсата с применением бурового раствора на углеводородной основе малоопасные; шламы буровые при бурении, связанном с добычей сырой нефти, природного газа и газового конденсата, с применением бурового раствора на	Пиролиз	Циклон, адсорбер	4 533,3 т/год	Промышленный образец
						8 395 т/год	Промышленный образец

№ установки	Шифр анкеты, представленной лицом, эксплуатирующим технологию/оборудование	Шифр анкеты, представленной разработчиком технологий/оборудования	Отходы, подлежащие утилизации/обезвреживанию	Технология	Система очистки газов	Производительность	Степень внедрения
			углеводородной основе обезвоженные малоопасные; отходы бурения, связанного с добычей сырой нефти, природного (попутного) газа и газового конденсата, в смеси, содержащие нефтепродукты в количестве 15 % и более; шламы буровые при капитальном ремонте скважин с применением бурового раствора на углеводородной основе умеренно опасные				
Установка 20.1.2.1	09-01-12-02	09-02-20-01	Отходы Блоков 2–4, 7–9 ФККО	Пиролиз	Фильтр пиролизных газов	200 кг/час	Промышленный образец
Установка 20.1.2.2				Пиролиз	Фильтр пиролизных газов	1 500 кг/час	Промышленный образец
Установка 20.1.2.2 (режим форсирования)	09-01-12-03	09-02-20-01	Отходы Блоков 2–4, 7–9 ФККО	Пиролиз	Фильтр пиролизных газов	13 440–33 600 т/год	Промышленный образец
Установка 20.1.2.1 (режим форсирования)	09-01-12-04	09-02-20-01	Отходы Блоков 2–4, 7–9 ФККО	Пиролиз	Фильтр пиролизных газов	6 700–29 400 т/год	Промышленный образец

Продолжение таблицы 3.2

№ установки	Шифр анкеты, представленной лицом, эксплуатирующим технологию/оборудование	Шифр анкеты, представленной разработчиком технологий/оборудования	Отходы, подлежащие утилизации/обезвреживанию	Технология	Система очистки газов	Производительность	Степень внедрения
Установка 65/производитель 65		09-02-25-01	Отходы блоков 1-4, блоков 6-9 ФККО; медицинские отходы а, б, в, г кроме ртутьсодержащих отходов	Пиролиз в вихревом потоке	Каталитический дожигатель анодных газов и фильтр десульфатор пиролизного газа	5 000–120 000 т/год	Опытно-промышленный образец
Установка 64/производитель 64		09-02-24-01	ТКО, медицинские отходы	Пиролиз		500 кг/час	Опытно-промышленный образец
Установка 67/производитель 67		09-02-27-01	Отходы при обработке хозяйственно-бытовых и смешанных сточных вод	Сушка, пиролиз с последующей газификацией	Камера дожига, циклон, скруббер	13 140 т/год	Опытно-промышленный образец
Термолиз							
Установка 25 Термолизный реактор	09-01-17-01	09-02-17-01	Отходы жидкие открытых карт размещения в смеси отходов производств эфиров метилметакрилата и полимеров на их основе, содержащие метилметакрилат и его производные 55 % и более; отходы жидкие открытых карт размещения в смеси отходов производств эфиров метилметакрилата и полимеров на их основе,	Термолиз	Скруббер адсорбционной химической очистки и охлаждения; циклон батарейный, фильтр рукавный	4 458 т/год	Промышленный образец

№ установки	Шифр анкеты, представленной лицом, эксплуатирующим технологию/оборудование	Шифр анкеты, представленной разработчиком технологий/оборудования	Отходы, подлежащие утилизации/обезвреживанию	Технология	Система очистки газов	Производительность	Степень внедрения
			<p>содержащие метилметакрилат и его производные менее 55 %;</p> <p>отходы пастообразные открытых карт размещения в смеси отходов производств эфиров метилметакрилата и полимеров на их основе, содержащие метилметакрилат и его производные 55 % и более;</p> <p>отходы пастообразные открытых карт размещения в смеси отходов производств эфиров метилметакрилата и полимеров на их основе, содержащие метилметакрилат и его производные менее 55 %;</p> <p>отходы битума нефтяного;</p> <p>отходы зачистки оборудования производств изопропилбензола, метилметакрилата в смеси, содержащие преимущественно ароматические углеводороды;</p> <p>изделия керамические производственного назначения, утратившие потребительские свойства, малоопасные;</p> <p>тара из черных металлов,</p>				

№ установки	Шифр анкеты, представленной лицом, эксплуатирующим технологию/оборудование	Шифр анкеты, представленной разработчиком технологий/оборудования	Отходы, подлежащие утилизации/обезвреживанию	Технология	Система очистки газов	Производительность	Степень внедрения
			загрязненная нефтепродуктами (содержание нефтепродуктов менее 15 %); тара из черных металлов, загрязненная лакокрасочными материалами (содержание менее 5 %); отходы железобетона, загрязненные нефтью или нефтепродуктами в количестве не более 15 %; отходы гидроизоляционных материалов на основе стекловолокна и синтетического каучука				
Газификация							
Установка 66/производитель 66		09-02-26-01	Отходы лесозаготовки и лесопереработки, отходы сельского хозяйства, отходы шин, ТКО, отходы нефтесодержащие	Газификация		30 000 т/год	Промышленное внедрение на 1 объекте

№ установки	Шифр анкеты, представленной лицом, эксплуатирующим технологию/оборудование	Шифр анкеты, представленной разработчиком технологий/оборудования	Отходы, подлежащие утилизации/обезвреживанию	Технология	Система очистки газов	Производительность	Степень внедрения
Газификация — сжигание							
Установка 32	09-01-18-01	09-01-18-01	Нефтедержащие отходы и шламы; лакокрасочные материалы; отходы растворителей и легковоспламеняющиеся отходы; отходы, содержащие клей, лак, мастику и смолы; картриджи бумажные и полимерные, загрязненные; обтирочный материал, загрязненный нефтепродуктами, лакокрасочными и прочими материалами; опилки, загрязненные нефтепродуктами, лакокрасочными и прочими материалами; отходы резинотехнических изделий; отходы изделий из пластмасс; разнородные минеральные отходы; окалина замасленная; песок и грунт загрязненный нефтепродуктами; шлам и фильтры окрасочных камер; сорбенты загрязненные нефтепродуктами и прочими веществами; отходы средств индивидуальной защиты; мебель из разнородных материалов; отходы	Газификация - сжигание отходов	Камера дожига, циклон, скруббер безнасадочный испарительно-паровой, скруббер насадочный, пенный, двух-секционный, четырехполочный, скруббер каплеуловитель с однополочной насадкой	4 080 т/год	Промышленный образец

№ установки	Шифр анкеты, представленной лицом, эксплуатирующим технологию/оборудование	Шифр анкеты, представленной разработчиком технологий/оборудования	Отходы, подлежащие утилизации/обезвреживанию	Технология	Система очистки газов	Производительность	Степень внедрения
			<p>кровельных и гидроизоляционных материалов; шпалы железнодорожные; лакокрасочные инструменты; шлам очистки емкостей от нефти и нефтепродуктов; отходы фильтров автомобильных; жидкие горюче-смазочные материалы; биологические отходы, медицинские отходы (класса Б, В, частично Г, включая отходы фармацевтических производств); разнородные древесные отходы в смеси; разнородные отходы бумаги и картона в смеси; отходы бумажной и полимерной тары, упаковки в смеси, загрязненные пищевым сырьем; текстильные, кожаные отходы и обувь; тара и упаковка полимерная и металлическая, загрязненная органическими и неорганическими веществами; фильтры и фильтрующая ткань, загрязненные</p>				

№ установки	Шифр анкеты, представленной лицом, эксплуатирующим технологию/оборудование	Шифр анкеты, представленной разработчиком технологий/оборудования	Отходы, подлежащие утилизации/обезвреживанию	Технология	Система очистки газов	Производительность	Степень внедрения
Методы, основанные на применении плазменных источников энергии							
Установка 50.1		09-02-19-01	Отходы сельского хозяйства, отходы потребления и производственные материалы, изделия, утратившие потребительские свойства	Методы, основанные на применении плазменных источников энергии	Эжекторный скруббер, мокрая газоочистка (нейтрализация в щелочном растворе)	8 700 т/год	Опытный образец
Установка 50.2		09-02-19-02	Отходы при пиролизе твердых коммунальных отходов, отходы при пиролизе нефтесодержащих отходов, отходы минеральных масел, не содержащих галогены (пиролизная жидкость (синтетическое жидкое топливо), тяжелый остаток перегонки пиролизной жидкости, нефть, тяжелый остаток перегонки нефти (мазут, гудрон) и т. п.)	Методы, основанные на применении плазменных источников энергии		300 т/год	Опытный образец

№ установки	Шифр анкеты, представленной лицом, эксплуатирующим технологию/оборудование	Шифр анкеты, представленной разработчиком технологий/оборудования	Отходы, подлежащие утилизации/обезвреживанию	Технология	Система очистки газов	Производительность	Степень внедрения
Установка 57	09-01-23-01	09-02-29-01	Отходы конденсаторов с трихлордифенилом, отходы конденсаторов с пентахлордифенилом, отходы трансформаторов с пентахлордифенилом, отходы масел трансформаторных, содержащих полихлорированные дифенилы и терфенилы, отходы прочих масел, содержащих полихлорированные дифенилы и терфенилы	Плазмотермический реактор	Циклон, скруббер	500 т/год	Промышленный образец

На основании информации, полученной от предприятий, осуществляющих утилизацию и обезвреживание отходов термическими способами, в анкетах и прилагающейся к ним технической документации определены текущие уровни выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух и качество сточных вод от систем мокрой газоочистки (см. таблицу 3.3).

Контролируемые вещества соответствуют Перечню загрязняющих веществ, в отношении которых применяются меры государственного регулирования в области охраны окружающей среды, утвержденному Распоряжением Правительства Российской Федерации [48] в соответствии со статьей 4.1 закона 7-ФЗ [43].

Таблица 3.3 — Текущие уровни выбросов в атмосферный воздух

Наименование загрязняющего вещества	Единица измерения	Уровни выбросов	Примечание
Азота диоксид	мг/нм ³	0,003–1101,3	– уровень выбросов от 0,003 до 1 установлен на 2 установках; – уровень выбросов от 1 до 100 установлен на 22 установках; – уровень выбросов от 101 до 200 установлен на 13 установках; – уровень выбросов от 201 до 1101,3 установлен на 12 установках (вращающиеся печи, без очистки газов)
Азота оксид	мг/нм ³	0,0004–181,2	– уровень выбросов от 0,0004 до 1 установлен на 3 установках; – уровень выбросов от 1 до 10 установлен на 13 установках; – уровень выбросов от 11 до 50 установлен на 17 установках; – уровень выбросов от 51 до 181,2 установлен на 12 установках (вращающиеся печи, без очистки газов)
Серы диоксид	мг/нм ³	0,1–1112,2	– уровень выбросов от 0,1 до 10 установлен на 4 установках; – уровень выбросов от 1 до 10 установлен на 13 установках; – уровень выбросов от 11 до 50 установлен на 18 установках; – уровень выбросов от 51 до 1112,2 установлен на 20 установках
Углерода оксид	мг/нм ³	0,1–4975,1	– уровень выбросов до 1 установлен на 3 установках; – уровень выбросов от 1 до 10 установлен на 7 установках; – уровень выбросов от 11 до 50 установлен на 13 установках; – уровень выбросов свыше 50 установлен на 24 установках

Окончание таблицы 3.3.

Наименование загрязняющего вещества	Единица измерения	Уровни выбросов	Примечание
Углеводороды предельные C ₁₂ -C ₁₉	мг/нм ³	0,4–4,15	– уровень выбросов до 1 установлен на 4 установках; – уровень выбросов от 1 до 4,15 установлен на 5 установках;
Взвешенные вещества	мг/нм ³	0,1–11766,5	– уровень выбросов от 1 до 10 установлен 13 установках; – уровень выбросов от 10 до 20 установлен на 3 установках; – уровень выбросов свыше 20 установлен на 15 установках
Бензапирен	мг/нм ³	0,0000008–0,11	– уровень выбросов до 0,001 установлен на 22 установках; – уровень выбросов свыше 0,001 установлен на 7 установках;
Хлористый водород	мг/нм ³	0,1–20	– уровень выбросов до 1 установлен на 4 установках; – уровень выбросов от 1 до 10 установлен на 5 установках; – уровень выбросов выше 10 установлен на 3 установках
Фтористый водород	мг/нм ³	0,014–16,2	– уровень выбросов до 1 установлен на 11 установках; – уровень выбросов = 1,18 установлен на 3 установках; – уровень выбросов = 16,2 установлен на 1 установке
Диоксины (полихлорированные дибензо-п-диоксины и дибензофураны) в пересчете на 2,3,7,8-тетрахлордибензо-1,4-диоксин	мг/нм ³	0,0000000057–0,000000014	
Ртуть и ее соединения	мг/нм ³	0,0003–0,0009	
Кадмий и его соединения	мг/нм ³	0,003	
Таллий и его соединения	мг/нм ³	н/д	
Тяжелые металлы – As+Pb+Co+Cr+Cu+Mn+Ni+ Sb+V (сумма остальных)	мг/нм ³	0,06–0,22	

Значения уровней выбросов находятся в широком диапазоне концентраций, при этом отсутствует информация, каким условиям потока соответствуют эти кон-

центрации. Предположительно, по ряду установок концентрации даны не в выбросах, а в приземном слое атмосферы. Сходимость с аналогичными технологическими показателями Директивы ЕС [45] очень низкая.

3.2 Мероприятия по снижению воздействия технологий на окружающую среду

Технологические процессы утилизации и обезвреживания отходов определяются свойствами отходов, поступающих на установку.

Для организации технологического процесса можно выделить следующие группы отходов:

- содержащие стойкие органические загрязнители (СОЗ);
- твердые и пастообразные нефтесодержащие отходы (НСО);
- жидкие НСО;
- отходы с преимущественным содержанием веществ растительного происхождения;
- отходы, представляющие собой смесь разнородных веществ и предметов, в том числе твердые коммунальные отходы.

Экологическая эффективность процессов утилизации и обезвреживания отходов будет определяться их качеством и подготовкой перед загрузкой в печь, параметрами технологического режима, используемыми методами очистки вбросов и сбросов загрязняющих веществ.

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.

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

- извлечение из отходов опасных компонентов;
- использование многостадийного термического обезвреживания отходов;
- оснащение оборудования газоочистным оборудованием;
- регулировка топливной аппаратуры оборудования для снижения расхода топлива;
- при неблагоприятных метеорологических условиях рекомендуется проведение работ с возможным минимальным использованием технических средств на технологической площадке.

Виды и концентрация загрязняющих веществ зависят от состава отходов и от типа топлива, используемого для их термического обезвреживания.

Предотвращение воздействия на водные объекты может быть обеспечено за счет следующих факторов:

- селективный сбор и подача 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 обордюрровкой 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 нефте-содержащих отходов следует выполнять с двойными стенками, между которыми залита контрольная жидкость (тосол) с целью исключения проливов нефтепродуктов в помещениях и т. д.

Исключение загрязнения поверхностных и подземных вод может быть обеспечено 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 обордюрровкой);
- 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.

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 могут выполняться следующие основные действия:

- 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 утилизации или обезвреживанию отходов термическими способами; соблюдение требований технического обслуживания.

Минимизация физического воздействия может быть достигнута путем исключения источников электромагнитного воздействия и ионизирующих излучений на объекте.

К мероприятиям по охране от физических факторов можно отнести:

- 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.

Основными источниками акустического воздействия (внешнего шума) технологического оборудования комплекса термического обезвреживания отходов являются дымосос и дымовая труба. Для сокращения уровней шумового воздействия на прилегающие территории в трубопровод между дымососом и дымовой трубой могут быть установлены глушители шума.

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

Могут быть использованы 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 с опорой на видовой состав растительности данной местности;
- принятие мер к сохранению природных ландшафтов.

Охрана объектов животного мира может быть обеспечена 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.

Могут быть использованы другие мероприятия по снижению воздействия технологий на окружающую среду, которые показали свою эффективность.

Раздел 4 Определение наилучших доступных технологий

4.1 Общая методология определения технологии утилизации и обезвреживания отходов термическими способами в качестве НДТ

В Российской Федерации критерии определения технологии в качестве НДТ установлены статьей 28.1 закона 7-ФЗ [43]. Согласно указанной статье, применение наилучших доступных технологий направлено на комплексное предотвращение и (или) минимизацию 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).

Постановлением Правительства Российской Федерации от 23 декабря 2014 г. № 1458 [49] утверждены Правила определения технологии в качестве наилучшей доступной технологии, а также разработки, актуализации и опубликования информационно-технических справочников по наилучшим доступным технологиям (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.

Приказом Минпромторга России от 23.08.2019 г. № 3134 [50] утверждены Методические рекомендации по определению технологии в качестве наилучшей доступной технологии, которые могут быть использованы технической рабочей группой при формировании проектов перечней НДТ для конкретного справочника (далее — Рекомендации).

Отдельные методические аспекты определения наилучших доступных технологий содержатся в ряде других документов [51]–[57], 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 утилизации и обезвреживания отходов термическими способами (далее — технология УиООТС) к НДТ соблюдается следующая последовательность действий:

а) выделение технологий, включающих методы и способы, направленные на снижение эмиссий в окружающую среду и ресурсосбережение (с учетом маркерных загрязняющих веществ, отходов утилизации и (или) 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 УиООТС выбираются методы, способы:

1) обеспечивающие предотвращение или снижение воздействия на различные компоненты окружающей среды (для выбросов — по каждому из основных загрязняющих веществ, для вторичных отходов от утилизации и (или) 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 утилизации и (или) 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 новую 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 [50], оценка технологий на их соответствие установленным нормативными правовыми актами критериям определения в качестве НДТ осуществляется в следующей очередности, включающей три после-

довательных шага. Заключительным (четвертым) шагом является принятие членами ТРГ решения об отнесении технологии в НДТ, которое осуществляется в соответствии с установленными Рекомендациями [50] порядке (таблица 4.1).

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

Очередность (шаг) рассмотрения технологии	Критерии	Основные действия
1	Критерии 1, 5	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 при одновременном внедрении на двух и более объектах*
2	Критерии 2, 4	Экономическая эффективность внедрения и эксплуатации и период внедрения
3	Критерий 3	Применение ресурсо- и энергосберегающих методов
4		Принятие членами ТРГ решения об отнесении технологии к НДТ
* – в случаях, когда количество объектов в Российской Федерации составляет менее двух, рекомендуется в качестве референтных объектов, демонстрирующих промышленное внедрение технологических процессов, оборудования, технических способом, использовать зарубежные производственные площадки, относящиеся к области применения НДТ		

При выборе наилучших доступных технологий для утилизации отходов термическими методами с получением материальной продукции следует учитывать следующие критерии:

- наличие подготовки отходов к термодеструкции;
- соответствие получаемой продукции, в том числе вторичного сырья, требованиям потребителей (стандартизация продукции);
- удельное количество (выход) производимой материальной продукции от количества поступивших отходов;
- перечень, количество, класс опасности вторичных отходов и способы их удаления (предпочтительна их утилизация), при этом остатки от термической деструкции не должны быть более опасными, чем отходы, которые поступают на термическую деструкцию;
- уровень энергоэффективности и ресурсосбережения (например наличие блока утилизации энергии, выделяемой при термодеструкции отходов).

При выборе наилучших доступных технологий для утилизации отходов термическими методами с получением тепловой и/или электрической энергии следует учитывать следующие критерии:

- наличие подготовки отходов к термодеструкции; для твердых коммунальных отходов — их обработка перед термодеструкцией со степенью извлечения вторичных материальных ресурсов не менее 15 % масс, степенью извлечения отсева с преимущественным содержанием органических веществ для последующего компостирования не менее 25 % масс;

- энергетическая эффективность при использовании твердых коммунальных отходов для комбинированного производства тепловой и электрической энергии (когенерация) должна составлять не менее 0,65, для конденсационного режима (производится только электрическая энергия) должна составлять не менее 0,45 (формула 1 для расчета в Приложении Д);

- перечень, количество, класс опасности вторичных отходов и способы их удаления (предпочтительна их утилизация); при этом остатки от термической деструкции не должны быть более опасными, чем отходы, которые поступают на термическую деструкцию.

При выборе наилучших доступных технологий для обезвреживания отходов термическими методами следует учитывать следующие критерии:

- наличие подготовки отходов к термодеструкции (за исключением обезвреживания медицинских и биологических отходов, предварительная обработка и сортировка которых запрещена); для твердых коммунальных отходов — их обработка перед термодеструкцией со степенью извлечения вторичных материальных ресурсов не менее 15 % масс, степенью извлечения отсева с преимущественным содержанием органических веществ для последующего компостирования не менее 25 % масс;

- утилизация тепла образующихся продуктов термодеструкции;

- перечень, количество, класс опасности вторичных отходов и способы их удаления (предпочтительна их утилизация); при этом остатки от термической деструкции не должны быть более опасными, чем отходы, которые поступают на термическую деструкцию.

Общие требования к эмиссиям при утилизации и обезвреживании отходов термическими способами — не превышать технологические показатели на уровне наилучших доступных технологий (перечень технологических показателей в соответствии с Приложением В ИТС 9-2020 «Утилизация и обезвреживание отходов термическими способами»).

4.2.1 Шаг 1. Рассмотрение критериев 1, 5 «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» при одновременном внедрении на двух и более объектах»

Рассмотрение данного критерия осуществляется в два этапа:

- Этап 1. Получение общей информации о применяемых на практике технологиях утилизации и обезвреживания отходов термическими способами;
- Этап 2. Выбор технологий утилизации и обезвреживания отходов термическими способами, внедренных на двух или более предприятиях в Российской Федерации.

Источниками информации о применяемых технологических процессах, оборудовании, технических методах, способах, приемах утилизации и обезвреживания отходов термическими способами послужили:

а) сведения об экологической и ресурсной эффективности предприятий утилизации и обезвреживания отходов термическим способом, полученные в процессе сбора и обработки данных, необходимых для разработки и актуализации справочника, с использованием унифицированных отраслевых шаблонов;

б) результаты научно-исследовательских работ и диссертационных работ, монографии и прочие издания (статьи, монографии), технологические регламенты;

в) международные справочники по наилучшим доступным технологиям;

г) информация, полученная в ходе консультаций с экспертами в соответствующей области.

На этапе сбора и обработки данных проводится сбор и анализ общих сведений о применяемых на практике технологиях УиООТС с целью получения следующей информации:

а) примерное количество объектов и территориальное распределение объектов (в качестве источника сведений может быть использован государственный реестр объектов, оказывающих негативное воздействие на окружающую среду);

б) распределение объектов по производственной мощности и видам продукции;

в) главные стадии производства (оказания услуг);

г) основные экологические аспекты, характерные для утилизации и обезвреживания отходов термическими способами, то есть элементы деятельности организации, ее продукции или услуг, которые могут взаимодействовать с окружающей средой;

д) показатели потребления ресурсов (ресурсной эффективности), характерные для используемых в утилизации и обезвреживания отходов термическим способом технологических процессов (частей производственного процесса, являющихся совокупностью технологических операций);

е) показатели эмиссий, то есть непосредственных или косвенных выпусков вещества, вибрации, тепла или шума из организованных или неорганизованных источников в окружающую среду, характерные для технологических процессов утилизации и обезвреживания отходов термическим способом.

Для характеристики эмиссий в окружающую среду (выбросов и сбросов загрязняющих веществ) рекомендуется выделять маркерные вещества. Для характеристики образующихся в результате утилизации или обезвреживания отходов рекомендуется разделять отходы, которые направляются на обработку, утилизацию и размещение.

При оценке сбросов и выбросов загрязняющих веществ необходимо учитывать следующие параметры:

- массу выбросов и сбросов загрязняющих веществ;
- сведения о выбросах и сбросах загрязняющих веществ, характеризующихся высокой стойкостью, биоаккумуляцией, токсическими и канцерогенными эффектами, рассматриваются как приоритетные в связи с возможностью их переноса на дальние расстояния (в том числе трансграничным переносом);
- возможность сокращения выбросов загрязняющих веществ, сбросов загрязняющих веществ с использованием природоохранного оборудования;
- характер последствий воздействия — долгосрочные необратимые воздействия требуют дополнительного внимания.

При сравнении альтернативных технологий, в результате которых образуются отходы, рекомендуется использовать анализ их количества, состава и возможного воздействия на окружающую среду. При проведении инвентаризации отходов (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) [60].

Рекомендуется для каждого класса опасности указать количество образующихся вторичных отходов (остаточных продуктов) в единицах массы на единицу утилизированных или обезвреженных отходов.

При отнесении технологии к НДТ характер и масштаб негативного воздействия на окружающую среду и возможность снижения эмиссий (в составе выбросов/сбросов/отходов), связанных с процессом термической деструкции, может оцениваться на основании следующих показателей:

а) для выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух:

1) перечень стационарных 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 утилизированных или 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 утилизированных или обезвреженных отходов;

б) для сбросов загрязняющих веществ:

1) перечень источников сбросов загрязняющих веществ;

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

3) перечень загрязняющих веществ, содержащихся в составе сточных вод;

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

в) для вторичных отходов, образующихся в результате утилизации, обезвреживания 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 утилизируемых, обезвреживаемых 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) метод снижения уровня воздействия.

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.

4.2.2 Шаг 2. Рассмотрение критериев 2, 4 «Экономическая эффективность внедрения и эксплуатации и период внедрения»

Шаг 2 включает критерии 2, 4.

Анализ экономической эффективности заключается в оценке затрат на внедрение и эксплуатацию технологии и выгоды от ее внедрения путем применения метода анализа затрат и выгод [50]. 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 [50], 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 [50]:

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

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.

Период внедрения технологии в качестве НДТ может варьироваться исходя из экономической эффективности и доступности технических/технологических решений, но не может превышать десяти лет.

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

При рассмотрении данного критерия следует учитывать требования Методических рекомендаций [50] 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 (энергия, вода, сырье):

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.);

3) технологические процессы, в которых используется вода;

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

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

Затем необходимо также рассмотреть возможность регенерации и рециклинга веществ и рекуперации энергии, использующихся в технологическом процессе.

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, то есть фактические затраты того или иного ресурса (электроэнергии, тепла, воды, реагента и т. д.) на единицу утилизированных и (или) обезвреженных отходов, выражаемые, например, для электроэнергии в кВт·ч на 1 т утилизированных и (или) обезвреженных отходов, для тепловой энергии — в Гкал/т отходов, для воды — в м³/т отходов и т. д.

Ресурсосбережение (то есть сбережение энергии и материалов) оценивается также с точки зрения возможности реализации 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-техниче-

ские, 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 утилизированных и (или) 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 утилизации и (или) обезвреживания отходов термическим способом в качестве НДТ.

4.2.4 Шаг 4. Принятие членами ТРГ решения об отнесении технологии к НДТ

Технология УиООТС может быть определена в качестве НДТ при достижении соглашения между всеми членами ТРГ по данному вопросу [50]. 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 степени негативного воздействия на окружающую среду по сравнению с существующим оборудованием, но и с учетом ее доступности с финансовой точки зрения. В данном случае рекомендуется ориентироваться на следующий логический подход (рисунок 4.1).

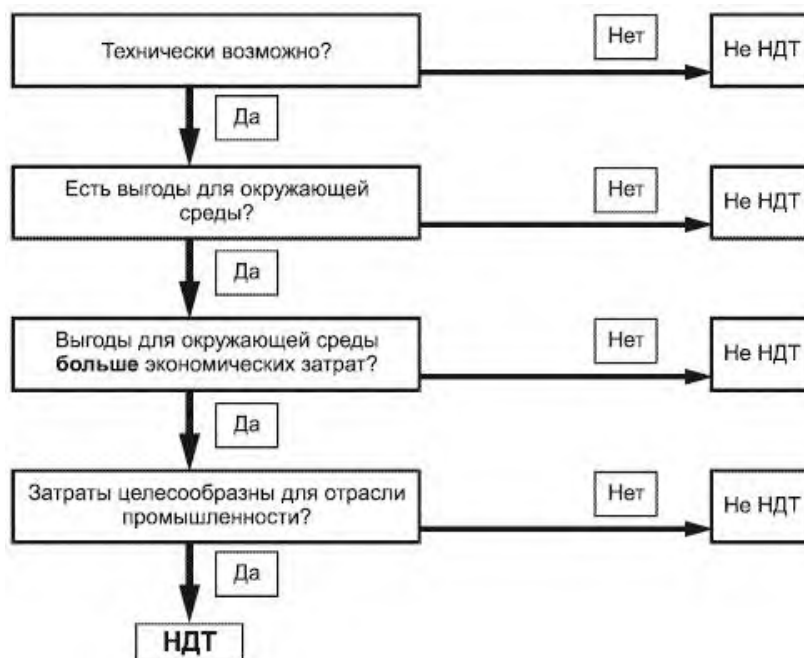


Рисунок 4.1 — Возможный логический подход для принятия решения по НДТ

При наличии особого мнения по определению технологии УиООТС в качестве НДТ, не поддерживаемого всеми членами ТРГ, такая технология может быть определена в качестве НДТ и включена в информационно-технический справочник НДТ, что сопровождается 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 утилизации и обезвреживания отходов термическими способами

Настоящий раздел содержит перечень кратких описаний НДТ, применяемых при утилизации и обезвреживании отходов термическими способами на различных этапах технологического процесса.

5.1 Перечень наилучших доступных технологий

5.1.1 Описание основных технологических, процессов утилизации и обезвреживания отходов термическими способами

При описаний технологий рассматриваются следующие этапы:

- прием поступающих на утилизацию и обезвреживание отходов;
- хранение (накопление) утилизируемых и обезвреживаемых отходов;
- предварительная подготовка отходов (сырья);
- технологии, применяемые на этапе утилизации и обезвреживания отходов термическими способами;
- 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.

5.1.2 Прием поступающих отходов

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

Отходы, поступающие на утилизацию или обезвреживание термическим методом, должны подлежать входному контролю с последующей подготовкой к технологическому процессу. Особенно это важно для отходов, имеющих нестабильные характеристики и содержащие вещества, негативно влияющие на

проведение процесса и обуславливающие повышенные концентрации загрязняющих веществ в отходящих газах. Подготовительные процедуры представлены в таблице 5.1. Конкретные 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
Необработанные ТКО	<ul style="list-style-type: none"> – 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. Контроль содержания ртути и хлора
Предварительно обработанные ТКО	<ul style="list-style-type: none"> – визуальная проверка; – периодический отбор проб и проведение анализа для определения основных свойств/веществ 	
Опасные отходы	<ul style="list-style-type: none"> – 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	<ul style="list-style-type: none"> – периодический отбор проб и проведение анализа для определения основных свойств и веществ; – контроль качественных характеристик осадка (влажность, зольность, гомогенность) с целью регулирования процесса для адаптации к изменениям его качественных характеристик 	Процедуры подбирают в зависимости от вида осадков сточных вод, например: свежего осадка, сброженного осадка, окисленного осадка и т. д.

Тип отходов	Процедуры	Комментарии
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 накопления

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.

5.1.3 Накопление (хранение) отходов

Целями накопления (хранения) отходов являются:

- безопасное складирование отходов перед подачей их на обработку, утилизацию и обезвреживание;
- обеспечение формирования 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.

5.1.4 Предварительная подготовка отходов

Предварительная подготовка может включать в себя операции, приведенные в таблице 5.2.

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

Вследствие гетерогенной природы отходов, представляющих собой смесь отходов, в том числе ТКО, подготовка должна обеспечить стабильный состав отходов, подаваемых на термическую деструкцию.

Таблица 5.2 — Общие способы подготовки отходов для утилизации и обезвреживания

Способ	Цель	Пример
Обработка	Обработка/сортировка отходов, если они ранее не прошли обработку с извлечением вторичных материальных ресурсов	Обязательна сортировка необработанных ТКО с целью извлечения вторичных материальных ресурсов не менее 15 % масс, отсева, содержащего органические вещества для последующего компостирования, — не менее 25 % от поступившего количества ТКО
Разделка, очистка	Отделение фракций отходов, не пригодных к утилизации и обезвреживанию термическими способами	Конденсаторы и трансформаторы с ПХ
Переупаковка (например пакирование)	Вследствие низкой плотности отходов в некоторых случаях требуется их уплотнение. Для уплотнения используются различные прессы	Размер и форма тюка обычно оптимизируются для транспортирования и повторного использования
Дробление, измельчение		
Усреднение		
Осаждение	В жидких отходах отделяются негорючие твердые компоненты	Подготовка жидких углеводородсодержащих отходов для подачи в реактор
Грохочение	Применяется для отделения крупных частиц. Используются вибрационное сито, статическое сито и барабанное сито	Подготовка твердых углеводородсодержащих отходов для подачи в реактор

5.1.5 Технологии, применяемые на этапе утилизации и обезвреживания отходов термическими способами

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 модификаций вышеперечисленного, а также иного оборудования, описанного в разделе 2 настоящего справочника.

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

Оптимизация технологического процесса на этапе утилизации и обезвреживания отходов термическими способами 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 утилизируемых и 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 оживления 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 подгрева 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 °C до 1400 °C. **Использование сопел специальной конструкции и**

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

Достижимый 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 .

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 $850\text{ }^\circ\text{C}$ до $1500\text{ }^\circ\text{C}$, хотя в отдельных случаях температура доходит до $2000\text{ }^\circ\text{C}$ или выше. При температурах выше $1250\text{ }^\circ\text{C}$ 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 теплоноситель 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 межконтурному 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 способа утилизации и 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 дожигания. Примеры конструкций камер дожигания 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 инъекции 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 дымовых 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 полного 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 утилизации и 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. Достаточную температуру 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.

5.1.6 Энергоэффективность. Теплоиспользование

Увеличения энергоэффективности обезвреживания и утилизации отходов термическими способами (кроме получения энергии) можно достичь путем **использования тепла**: для внешнего потребления — с получением горячей воды, отопле-

ния производственных помещений, выработкой электроэнергии, а также путем использования на собственные технологические нужды — для получения пара, горячего воздуха, обогрева и сушки отходов. Расчет показателей энергоэффективности технологии утилизации отходов с получением энергии (электрической и тепловой энергии) при оценке ее на соответствие НДТ приведен в Приложении Д.

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 могут также обеспечивать повышение энергоэффективности.

Для установок утилизации отходов с получением тепловой и/или электрической энергии важным показателем является КПД процесса производства энергии. КПД связан с величиной удельных выбросов парникового газа CO_2 . Одним из способов уменьшения выбросов CO_2 на единицу произведенной энергии является **оптимизация процессов использования и производства энергии**. Увеличение теплового КПД связано с нагрузкой, системой охлаждения, выбросами, качеством подготовки отходов, их низшей теплотой сгорания и так далее. Наиболее действенным способом повышения КПД производства энергии является как можно более полное использование произведенного тепла. При выборе варианта утилизации сбросного тепла следует принять во внимание ряд термодинамических, технических и экономических критериев. Термодинамические факторы включают, с одной стороны, температуру, а с другой — эксергию сбросного тепла. Температура существенна в том случае, если это тепло предполагается использовать для обогрева, а эксергия — если тепло будет использовано для производства электроэнергии. Технические критерии зависят от характеристик конкретного предприятия.

Как правило, уменьшая потери тепла или используя сбросное тепло, можно сэкономить энергию и ресурсы, а также сократить выбросы. В настоящее время существует все больше возможностей для размещения установок утилизации отходов термическими способами с получением энергии в таких местах, где энергия, не преобразованная в электричество, может поставляться потребителям в виде тепла. Технология когенерации может обеспечить общий КПД установки с учетом потребления тепла в диапазоне 70–90%. Оптимизация КПД установок состоит в том, чтобы оптимизировать весь процесс термических способов утилизации и 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/электрообеспечения;
- 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 утилизации и обезвреживания отходов термическими способами являются: вентиляторы; оборудование для транспортирования, 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. 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. Имеются три основных технических 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 с оребренными трубками, охлаждаемыми потоком воздуха. 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). Остаточная 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 основные требования:

– 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 650–700 °С. Однако не допускается охлаждение с помощью топочных экранов;

- первые трубные пучки не должны устанавливаться в местах, где может налипать летучая зола, то есть 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 утилизации и 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 инъекция воды снижает температуру газов. Обычно она должна составлять 190–200 °С;
- процесс с использованием сухой газоочистки может проводиться при температурах 130–300 °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 многофакторные измерения и контроль технологических систем, работающих на топливе и воздухе для горения, является определяющим для эффективного функционирования установок.

5.1.7 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 систем газоочистки;
- совместимость между существующими элементами технологического процесса термических способов утилизации и 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.

5.1.7.1 Снижение выбросов пыли

Предварительное обеспыливание снижает нагрузку по взвешенным веществам и механическим примесям на последующих стадиях системы газоочистки.

На установках для утилизации и обезвреживания отходов могут использоваться следующие системы обеспыливания:

- циклоны и мультициклоны;
- электрофильтры;
- рукавные фильтры.

Электрофильтры и циклоны эффективны для предварительного обеспыливания и обеспечивают достижение 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 инжестироваться 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 концентрация в выбросах обычно связана 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).

5.1.7.2 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 проводится при pH от 6 до 8, главным образом для удаления SO₂. 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);
- Hg²⁺ (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 инжeksiруется активированный уголь, а также щелочной реагент;
- ртути — улавливается, если инжeksiруется 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.

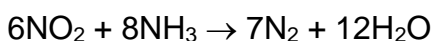
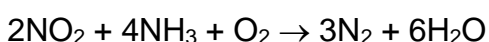
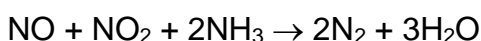
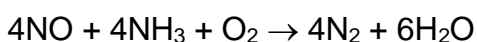
Прямая добавка щелочных реагентов к отходам используется для снижения нагрузки на элементы установки утилизации и обезвреживания отходов термическими способами благодаря тому, что щелочные реагенты взаимодействуют с кислыми газами по мере их образования в печи. Адсорбция в печи при высоких температурах намного более эффективна для SO₂, чем для HCl.

Использование щелочных реагентов будет изменять состав шлака, а также состав и электрическое сопротивление летучей золы.

5.1.7.3 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 120–180 °С — для большинства рукавных фильтров). Для достижения рабочих температур для системы СКВ необходима температура 230–320 °С.

Катализируемые реакции СКВ представлены ниже:

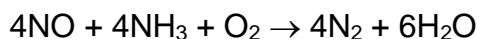


СКВ может также каталитически разрушать ПХДД/ПХДФ (эффективность деструкции составляет 98–99,9 %).

Рабочая температура катализатора — 100–220 °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 карбамид ($\text{CO}(\text{NH}_2)_2$) впрыскиваются в печь для снижения выбросов NO_x .



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/нм³;
- 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 утилизации и 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	<ul style="list-style-type: none"> – возможность подавления высоких пиковых значений NO_x (при хорошей оптимизации); – более низкие выбросы N_2O (10–15 мг/нм³) 	<ul style="list-style-type: none"> – узкий температурный диапазон (850–950 °С), поэтому требуется тщательный контроль; – обращение и хранение опасного вещества; – повышенные затраты на тонну отходов; – проскок аммиака примерно 10 мг/нм³; – запах аммиака при контакте потоков с влажной средой
Мочевина	<ul style="list-style-type: none"> – шире диапазон эффективных температур (540–1000 °С), поэтому температурный контроль менее критичен; – меньше опасность при хранении и обращении; – ниже затраты на тонну отходов 	<ul style="list-style-type: none"> – меньший потенциал подавления пиковых значений NO_x (по сравнению с аммиаком при оптимизации); – выше выбросы N_2O (25–35 мг/нм³); – проскок аммиака порядка 1 мг/нм³
<p>Примечание — Пониженные затраты на мочевины наиболее значимы для относительно небольших установок. Для более крупных установок повышенные затраты на хранение аммиака могут быть полностью скомпенсированы.</p>		

5.1.7.4 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 удлинится, следовательно, формируется рискованная 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 450–200 °С должен быть выполнен так, чтобы ограничить пребывание пыли в нисходящем потоке);

- использования 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 утилизации и 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 этого 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 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 деструкции обычно приводит 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 утилизации и обезвреживания отходов, тем самым снижая общий выход с установки ПХДД/ПХДФ.

ПХДД/ПХДФ подвергаются деструкции в процессе утилизации и обезвреживания отходов. Однако имеется риск того, что произойдет их регенерация, если на

этапе очистки дымовых газов не предусмотрено специальных способов для их удаления.

Адсорбция ПХДД/ПХДФ с помощью инъекции 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 углеродсодержащих материалов 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 материал может размещаться на полигонах или дополнительно обезвреживаться. В некоторых случаях он подвергается сжиганию.

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 накопления диоксинов в материале скруббера.

При околонеутральном диапазоне рН активированный уголь добавляется в систему с концентрацией до 50 г/л. После системы мокрой очистки должен быть предусмотрен фильтр-отстойник, в котором осаждаются 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.

5.1.7.5 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 SO₂. На второй стадии pH поддерживается на уровне 6–8. Здесь происходит удаление SO₂.

Регулирование значения pH ниже 1 позволяет увеличить эффективность удаления ионной ртути в виде HgCl₂ до 95 %. HgCl₂ 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 HgCl₂, что облегчает ее осаждение.

Общая эффективность удаления ртути (как металлической, так и ионной) составляет около 85 %.

Достижимые уровни выбросов после системы мокрой газоочистки составляют приблизительно 36 мкг/нм³, с мокрым скруббером и фильтром из активированного угля — < 2 мкг/нм³ и при сочетании процесса впрыска и мокрого скруббера — 4 мкг/нм³.

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/нм³. 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);
- установка имела 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 SO₂ 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.

5.1.8 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, чтобы 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 утилизации и обезвреживания отходов; 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 ($Cd \geq 85 \%$; $Zn \geq 85 \%$; $Pb, Cu \geq 33 \%$; $Hg \geq 95 \%$). 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.

5.1.9 Удаление остатков, образующихся при очистке газообразных продуктов сгорания

Отделение стадии улавливания пыли от других стадий очистки дымовых газов имеет большое 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 последующие утилизацию и 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.

5.1.10 Мониторинг (производственный контроль) и регулирование выбросов

Неоднородный состав поступающих на утилизацию и обезвреживание отходов требует постоянного производственного контроля в независимости от степени автоматизации системы. Контроль основывается на получении достоверной ин-

формации о процессе посредством использования контрольно-измерительных приборов. Необходимо иметь данные о: температуре в различных местах камеры сжигания, толщине слоя отходов на полу или в подподоковой 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 (таких как 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.

5.1.11 Контроль и обработка сточных вод

Использование технической воды для обеспечения реализации технологий утилизации и обезвреживания отходов термическими способами 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 установок утилизации и обезвреживания отходов термическими способами приведены в таблице 3.3.

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, несмотря 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 рисков 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».

5.1.12 Обработка шлаков и зольных остатков, образующихся в результате сжигания

В результате процессов сжигания могут образовываться твердые отходы. Такие твердые отходы обычно называются «зола» или «шлак». Отходы от сжигания бывают 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.

Шлаки от сжигания и отходы 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 **утилизации и обезвреживанию твердых остатков** от сжигания отходов обычно определяются на основе следующих параметров:

- 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).

Существуют различные методы изменения свойств шлака.

Улучшение качества 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 рН шлака может снизиться после стадии сжигания с помощью вызревания.

Раздельный сбор шлака и отходов очистки дымовых газов. Смешение шлаков с отходами очистки дымовых газов 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 его использования.

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 новую 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. Такая 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 рН вследствие потребления CO_2 из воздуха или биологической активности;
- создание бескислородных, восстановительных условий вследствие био-разложения 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/м² и имеют производительность плавления 300 кг/ч/м². Зона влияния процесса обычно небольшая.

Результатами этого способа являются 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 утилизации и обезвреживания отходов термическими способами в части общих очистных сооружений.

5.2 Варианты технологического процесса

5.2.1 Технологические процессы на базе методов сжигания

Стадия подготовки твердых отходов (сырья для установки термических способов утилизации обезвреживания) для придания получаемым продуктам и материалам определенных характеристик является эффективным способом снижения эмиссий.

Использование слоевых топок для утилизации и обезвреживания органических отходов должно сопровождаться предварительной подготовкой отходов перед загрузкой в печь.

Наибольшее промышленное внедрение имеют установки со слоевым сжиганием. Для минимизации воздействия на окружающую среду для таких установок необходим контроль 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 термических способов утилизации и 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

утилизируемых и обезвреживаемых отходов, турбулизацией в камере дожигания за счет подачи воздуха.

Безопасность термических способов утилизации и 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 он-лайн по основным загрязняющим веществам.

Периодический ввод жидких шламов в подовые печи рассматривается как источник резервного энергоснабжения при утилизации и 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 утилизации и 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 щелочноземельными 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.

При использовании мокрых скрубберов абсорбционный раствор используется циклически. При этом к базовым технологическим решениям относятся локальные очистные установки, работающие по принципу фильтрации. Следует использовать внутриводную очистку, которая обеспечивается уровнем подвода очищаемых дымовых газов в скруббер и его гидравлическими характеристиками. При этом сгущаемый осадок транспортируется шнековым транспортером. Также имеется опыт механической фильтрации и отстаивания

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.

В качестве примера НДТ может рассматриваться схема слоевого колосникового сжигания ТКО. В ней может быть организована система генерации электрической энергии.

Факторами, определяющими эффективность утилизации и обезвреживания, являются температура процесса и соотношение компонентов горения. Температура процесса утилизации и обезвреживания зависит от состава отходов и находится в интервале от 850 °С до 1300 °С.

При рабочих температурах 850–900 °С подавляющее большинство органических соединений (спирты, кислоты, альдегиды, кетоны) становятся термически нестойкими.

Для термических способов обезвреживания отходов, содержащих циклические, хлорорганические соединения, полимеры, требуется температура 1000–1300 °С, которая может создаваться в вихревом дожигателе дымовых газов при одновременной нейтрализации галогенов путем введения нейтрализующих добавок.

Сжигание отходов с помощью барабанных вращающихся печей 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, СОЗ-содержащие отходы и т. п.

Использование вращающихся печей довольно широко распространено в отечественной практике.

Для эффективного, энерго- и ресурсосберегающего процесса утилизации и обезвреживания коммунальных отходов и других шламов известно использование двухкамерной вращающейся трубчатой печи. **Траектория движения шлама** 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.

Для обеспечения экологической безопасности используется 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 используются активированный уголь и цеолиты. 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.

Модификация конструкции печи в виде циклонного реактора 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 дожигания. Необходимость вихревого режима определяется требованиями к сжиганию высокотоксичных сред. Имеется информация, что внедрение автоматического режима управления позволило сократить выбросы и уменьшить потери, уменьшить количество рабочих мест и сделать технологию с применением циклонного реактора в качестве камеры дожигания более безопасной.

Циклонная топка обеспечивает более качественное сжигание и относительную минимизацию концентрации контролируемых загрязняющих веществ.

5.2.2 Технологические процессы на базе методов пиролиза

Экономическая эффективность процесса пиролиза, проводимого с получением топлива, обеспечивается получением пиролизного газа и пиролизного топлива, а также получением товарного технического углерода.

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».

Технология реализуется в следующей последовательности: разогрев и сепарация шлама, пиролиз отходов, 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».

Принципиальная схема процесса высокотемпературного пиролиза в практике температурного обезвреживания отходов позволяет получить 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. Технология может быть реализована в мобильном исполнении, что расширяет функциональные возможности ее использования.

5.2.3 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.

5.3 Технологические показатели наилучших доступных технологий

Установка для утилизации и (или) обезвреживания отходов термическими способами должна представлять собой совокупность оборудования, обеспечивающего загрузку и подачу отходов, их термическую деструкцию, очистку и удаление дымовых газов, выгрузку шлака и продуктов газоочистки (в том числе летучей золы).

Модернизация существующих производственно-технических комплексов по термическим способам утилизации и обезвреживания 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, методы, основанные на применении плазменных источников энергии (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.

Кроме того, при отнесении технологии учитывалась классификация методов термической деструкции отходов и критерии, применяемые для определения НДТ и приведенные в разделе 4.2. Наименования внедренных технологий, техники и оборудования утилизации и обезвреживания отходов термическим способом представлены в таблице 3.2.

Для определения технологических показателей НДТ были проанализированы представленные в анкетах текущие уровни выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух от российских объектов утилизации и 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 значения уровней выбросов находятся в широком диапазоне концентраций, что свидетельствует о низкой достоверности представленных данных. В связи с этим принято решение сохранить технологические показатели НДТ для российских объектов утилизации и обезвреживания отходов термическим способом на уровне европейских технологических показателей, приведенных в ИТС 9-2015, кроме показателей по выбросам углеводородов предельных C₁₂-C₁₉ и бензапирену, которые установлены по верхней границе текущих выбросов (см. таблицу 5.6).

Таблица 5.6 — Предложения по установлению технологических показателей

№ п/п	Перечень маркерных веществ	Ед. измерения	Уровни выбросов в соответствии с данными анкет	Директива № 2010/75/ЕС Европейского парламента и Совета Европейского Союза «О промышленных эмиссиях»	Технологические показатели по Европейскому справочнику НДТ (2006) [14]	Технологические показатели по Европейскому справочнику НДТ (2019) [60]		Предложения по установлению технологических показателей
						новый завод	существующий завод	
1	Оксиды азота в сумме в пересчете на диоксид азота	мг/м ³		200*	200	50–120*	50–150*	200
	Диоксид азота	мг/м ³	0,003–1101,3	—	—	-	-	—
	Оксид азота	мг/м ³	0,0004–181,2	—	—	-	-	—
2	Серы диоксид	мг/м ³	0,1–1112,2	50*	50	5–30*	5–40*	50
3	Углерода оксид	мг/м ³	0,1–4975,1	50*	50	10–50*		50
4	Углеводороды предельные C ₁₂ -C ₁₉	мг/м ³	0,4–4,15	10*	—	< 3–10*		10
5	Взвешенные вещества	мг/м ³	0,1–11766,5	10*	10	< 2–5*		10
6	Бензапирен	мг/м ³	0,0000008–0,11	—	—	-		0,001
7	Хлористый водород	мг/м ³	0,1–20	10*	10	< 2–6*	< 2–8*	10

Окончание таблицы 5.6

№ п/п	Перечень маркерных веществ	Ед. измерения	Уровни выбросов в соответствии с данными анкет	Директива № 2010/75/ЕС Европейского парламента и Совета Европейского Союза «О промышленных эмиссиях»	Технологические показатели по Европейскому справочнику НДТ (2006)	Технологические показатели по Европейскому справочнику НДТ (2019)		Предложения по установлению технологических показателей
						новый завод	существующий завод	
8	Фтористый водород	мг/м ³	0,014–16,2	1*	1	< 1*		1
9	Диоксины	нг/м ³	0,0057–0,014	0,1**	0,1	< 0,01–0,04**	< 0,01–0,06**	0,1
10	Ртуть и ее соединения	мг/м ³	0,0003–0,0009	0,05***	0,05	< 0,005–0,02*		0,05
11	Cd + Пl	мг/м ³		0,05***	0,05	0,005–0,02***		0,05
	Кадмий и его соединения	мг/м ³	0,003	—	—	-		—
	Таллий и его соединения	мг/м ³	н/д	—	—	-		—
12	Сумма остальных тяжелых металлов (As+Pb+Co+Cr+Cu+Mn+Ni+Sb+V)	мг/м ³	0,005–0,05	0,5***	0,5	0,01–0,3***		0,5
13	Аммиак	мг/м ³	-	-	-	2–10*		-
14	Диоксины + ПХБ	нг WHO-TEQ/м ³	-	-	-	< 0,01–0,06**	< 0,01–0,08**	-
Примечание: * – среднесуточные пороговые значения выбросов; ** – средние пороговые значения выбросов для диоксинов и фуранов, где минимальный период отбора равен 6 часам, а максимальный – 8 часам; *** – средние пороговые значения выбросов для тяжелых металлов, где минимальный период отбора равен 30 минутам, а максимальный – 8 часам								

Каждая из перечисленных в разделе 5 НДТ имеет преимущества и недостатки, поэтому выбор конкретного метода утилизации и 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 недопущение роста 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 термических способов утилизации и обезвреживания отходов, содержащих токсичные компоненты, обеспечивается поддержанием некоторых параметров:

- температурный уровень процесса — более 800 °С (в барабанной печи), 1200–1250 °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 утилизацию и обезвреживание отходов с температурным режимом 850–1250 °С.

Применение НДТ обеспечивает выполнение данных условий, предотвращает образование суперэкотоксикантов (фураны, бензапирен и др.), понижает класс опасности отходов после утилизации и 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, при этом необходимо уделять особое внимание распределению и использованию тепла.

Перспективно также реализовывать комбинацию мероприятий, предусматривающих более длительное воздействие при термических способах утилизации и 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 и неконденсируемого газообразного 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 утилизации и 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 разложения отходов и минимизации выбросов (особенно в воздух) количество энергии, необходимой для работы установки, должно обеспечивать термическими способами утилизации и обезвреживания 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), имеющих элементы, работающие с переменной скоростью, с частотным регулирова-

нием 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 технологического 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 разложение 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 Перспективные технологии в сфере утилизации и обезвреживания отходов термическими способами

К перспективным технологиям в российских методических документах по НДТ предлагается относить технологии, которые находятся на стадии научно-исследовательских, опытно-конструкторских работ или опытно-промышленного внедрения, позволяющие на стадии промышленного внедрения:

- обеспечить уровень защиты окружающей среды выше уровня защиты, определенного наилучшими доступными технологиями,
- при одинаковом уровне защиты обеспечить снижение производственных экономических затрат.

На основе анализа присланных анкет, в настоящее время можно определить следующие перспективные технологии утилизации / обезвреживания отходов термическими способами, которые могут рассматриваться как потенциальные НДТ.

6.1 Технология газификации твердых топлив и горючих отходов производства и потребления

Краткая характеристика:

Загрузка топлива осуществляется транспортёром в верхнюю часть газогенератора, где поддерживается температура в пределах 100–200 °С, поступающее топливо нагревается восходящими потоками продукт-газа, испаряются остатки влаги, содержащейся в топливе. В свою очередь продукт газ охлаждается поступающим горючим, что значительно сокращает потери тепла. В средней части реактора происходит газификация топлива при температуре 1000–1200 °С, и кокс, образовавшийся при пиролизе органических веществ, реагирует с кислородом, водяным паром и двуокисью углерода образуя горючие газы - окись углерода и водород.

В нижней части зоны горения с температурой 1000–800 °С сгорают остатки органических веществ, а твердые остатки, содержащие неорганические вещества (золу), по мере опускания к дну реактора охлаждаются потоком окислителя до 80 °С.

Зола, выгружаемая из реактора, не содержит недогоревшего углерода и имеет низкую температуру, что облегчает обращение с ней. Она может быть использована в дорожном строительстве.

Особенностью газогенератора твёрдых топлив является выход газообразных продуктов с низкой температурой. Таким образом, тепло, выделяемое при горении, не выводится из реактора, а остаётся в зоне горения и используется для получения водорода из водяного пара, реагирующего с топливом в зоне горения.

В зависимости от вида топлива меняется состав синтез-газа. Например, при утилизации коры и опилок в нём появляются пиролизные смолы, которые несут определённую часть калорийности всего газа. При сжигании угля (высокозольного антрацита) пиролизные смолы практически отсутствуют.

Для защиты котла от налипания смол на поверхности нагрева разработано специальное горелочное устройство для сжигания газов, содержащих смолы.

Уровень реализации:

Промышленное внедрение на 1 объекте.

Сведения об эмиссиях:

Т а б л и ц а 6.1 — Сведения о выбросах загрязняющих веществ в атмосферный воздух

Наименование загрязняющих веществ	Единицы измерения	Количество
Азота диоксид (NO ₂)	мг/м ³	0,187
Азота оксид (NO)	мг/м ³	0,395
Серы диоксид (SO ₂)	мг/м ³	0,45
Углерода оксид (CO)	мг/м ³	2,4
Углеводороды C ₁₂ -C ₁₉	мг/м ³	0,72
Углерод (сажа)	мг/м ³	0,149
Взвешенные вещества	мг/м ³	1,41
Бензапирен	мг/м ³	<0,001
Хлористый водород (HCl)	мг/м ³	0,18
Фтористый водород (HF)	мг/м ³	0,0178
Диоксины	нг/м ³	0,0184
Ртуть и ее соединения (Hg)	мг/м ³	<0,0003
Cd + Tl	мг/м ³	0,0002 (0,0002+н/д)
As+Pb+Co+Cr+Cu+Mn+Ni+Sb+V		<0,10+0,05+0,022+н/д+0,15+н/д+0,12+н/д+н/д

6.2 Технология сжигания иловых осадков коммунальных очистных сооружений в кипящем слое катализатора

Краткая характеристика

Влажные отходы после механического обезвоживания до влажности 70–75 масс.% подаются из усреднительного бункера, при помощи поршневых насосов подаются в псевдоожиженный слой катализатора, где при температуре 700–750 °С происходит их сушка и сжигание без использования дополнительного топлива.

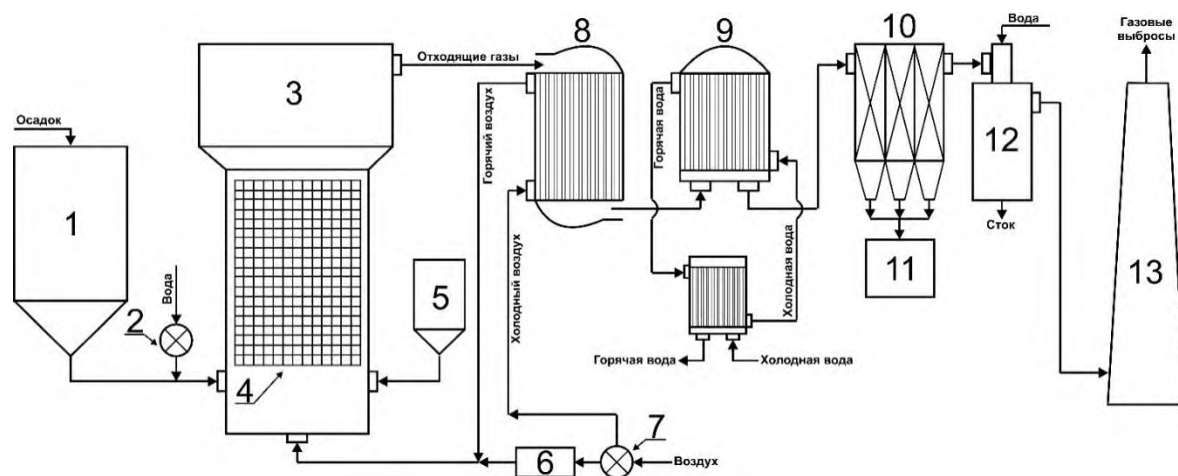
Ключевым блоком установки термokatалитической утилизации осадка в кипящем слое является реактор с катализатором, который представляет собой сферические гранулы с размером частиц 1.4–2.0 мм. Через вентиль, предварительно разогретый в нагревателе воздух, подается в реактор для поддержания режима псевдоожижения частиц слоя (катализатора). После выхода установки на рабочий режим, воздухонагреватель отключается.

Патрубок ввода осадка в реактор снабжен штуцером для ввода воды, при необходимости увлажнения поступающего ила. В случае падения температуры в

слое, в системе реализована возможность шнековой подачи дополнительного топлива (угля) из бункера топлива.

Дымовые газы, покидающие реактор, поступают в рекуператор, где нагревают воздух, подающийся в реактор. После рекуператора, отходящие газы попадают в экономайзер, где охлаждаются за счет нагрева воды. Расходы воды в экономайзере на охлаждение составляет 112000 кг/час. Вода в экономайзере циркулирует с теплообменником вода-вода для получения тепловой энергии. Охлажденные дымовые газы из экономайзера проходят через рукавный фильтр, в котором улавливаются твердые частицы золы. Зола собирается в бункер, а газы, через мокрый скруббер, попадают на сброс в дымовую трубу.

На рисунке 6.1 представлена схема технологической цепочки процесса термokatалитического сжигания иловых осадков сточных вод.



1 – усреднительный бункер; 2- насос для подачи воды; 3 – реактор; 4 – организующая решетка; 5 – бункер с твердым топливом; 6 – воздухонагреватель; 7 – насос для подачи воздуха; 8 – теплообменник рекуператор; 9 – теплообменник экономайзера; 10 – рукавный фильтр; 11 – бункер с золой; 12 – мокрый скруббер; 13 – дымовая труба

Рисунок 6.1 – Технологическая схема процесса сжигания иловых осадков в кипящем слое катализатора

Лабораторные исследования процесса сжигания иловых осадков в кипящем слое катализатора на опытных установках показали, что процесс горения протекает с высокой эффективностью (степень выгорания составила $> 98\%$) и экологической безопасностью. Количество образующихся в результате горения токсичных веществ (CO , NO_x , SO_x , диоксины) находится значительно ниже предельно допустимых значений. Образующаяся в результате зола относится к IV классу опасности [64].

Уровень реализации:

Промышленное внедрение на 1 объекте.

Сведения об эмиссиях:

Таблица 6.2 — Сведения о выбросах загрязняющих веществ в атмосферный воздух

Наименование загрязняющих веществ	Единицы измерения	Количество
Азота диоксид (NO ₂)	мг/м ³	23
Азота оксид (NO)	мг/м ³	
Серы диоксид (SO ₂)	мг/м ³	12
Углерода оксид (CO)	мг/м ³	не обнаружено
Углеводороды предельные C ₁₂ -C ₁₉	мг/м ³	н/д
Взвешенные вещества	мг/м ³	1,1*
Бензапирен	мг/м ³	н/д
Хлористый водород (HCl)	мг/м ³	1,8
Фтористый водород (HF)	мг/м ³	н/д
Диоксины	нг/м ³	0,047**
Ртуть и ее соединения (Hg)	мг/м ³	0,09
Cd + Tl	мг/м ³	н/д
As+Pb+Co+Cr+Cu+Mn+Ni+Sb+V	мг/м ³	н/д
* – по степени улавливания		
** – в пересчете на изомер 2,3,7,8 по токсическому эквиваленту		

Заключительные положения и рекомендации

Для разработки справочника была сформирована Техническая рабочая группа (ТРГ 9) «Обезвреживание отходов термическим способом (сжигание отходов)», в состав которой вошли представители различных организаций. Состав ТРГ 9 был утвержден Приказом Минпромторга России от 3 апреля 2020 г. № 1118 (в редакции Приказа Минпромторга России от № 4094 от 24 ноября 2020 г.).

В целях сбора информации о применяемых на объектах утилизации и 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 ГОСТ Р 113.00.04-2020 «Наилучшие доступные технологии. Формат описания технологий».

Анкета была направлена в адреса российских предприятий, на которых согласно данным различных источников информации применяются или могли применяться технологии утилизации и обезвреживания отходов термическим способом. В связи с отсутствием специализированного учёта объектов (деятельности) по термическим способам утилизации и обезвреживания 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 низкую информативность по различным аспектам применения технологий в области утилизации и обезвреживания отходов термическими способами. По результатам подготовки данного справочника НДТ можно сделать вывод, что отечественные компании в сфере утилизации и обезвреживания отходов термическим способом 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.

Процесс совершенствования справочника должен отражать принцип последовательного улучшения — основной принцип современных систем менеджмента. Разработчики информационно-технического справочника по наилучшим доступным технологиям «Утилизации и обезвреживания отходов термическими способами» надеются, что коллеги готовы разделить эту позицию и поддержать совершенствование данного документа и продвижение наилучших доступных технологий в сфере утилизации и обезвреживания отходов термическими способами.

Приложение А (обязательное)

Перечень маркерных веществ

Для атмосферного воздуха		
Наименование загрязняющего вещества	Класс опасности	Класс отходов, подлежащих утилизации и обезвреживанию термическими способами *
Азота оксид Азота диоксид	III	1–5
Серы диоксид	III	1–3, 5
Углерода оксид	IV	1–5
Углеводороды предельные C ₁₂ — C ₁₉	IV	1, 2, 5
Взвешенные вещества	III	1–5
Бензапирен	I	1–5
Хлористый водород	II	3, 4
Фтористый водород	II	1–3, 5
Диоксины (полихлорированные дибензо-п-диоксины и дибензофураны) в пересчете на 2,3,7,8-тетрахлордибензо-1,4-диоксин	I	1–5
Ртуть и её соединения, кроме диэтилртути	I	1–3, 5
Кадмий и его соединения Таллий и его соединения	I	1–3, 5
Мышьяк и его соединения, кроме водорода мышьяковистого Свинец и его соединения, кроме тетраэтилсвинца, в пересчете на свинец Хром (Cr 6+) Кобальт и его соединения (кобальта оксид, соли кобальта в пересчете на кобальт) Медь, оксид меди, сульфат меди, хлорид меди (в пересчете на медь) Марганец и его соединения Никель, оксид никеля (в пересчете на никель) Ванадия пяти оксид Сурьма и ее соединения		1–3, 5

*) Класс отходов, подлежащих утилизации и обезвреживанию термическими способами:

- 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 утилизации и обезвреживании которых образуются NaCl, Na₂SO₄, Na₄P₂O₇, Na₂CO₃, 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	5.1.2 Процедура проверки и отбора проб	НДТ содержит подходы в обращении с различными видами отходов, в том числе с имеющими «нежелательные» характеристики
2	5.1.2 Предварительный входной контроль отходов	НДТ содержит подходы, связанные с контролем отходов визуальными, инструментальными, лабораторными способами
3	5.1.3 Хранение (накопление) отходов	НДТ содержит подходы, связанные с обеспечением безопасности и оптимизации хранения отходов с учетом их специфики и морфологии
4	5.1.4 Предварительная подготовка отходов	НДТ содержит подходы, связанные с обработкой отходов в соответствии с их спецификой, с целью обеспечения стабильного состава отходов, подаваемых на термическую деструкцию
5	5.1.5 Оптимизация стехиометрии воздуха	НДТ содержит подходы, учет которых обеспечивает подвод оптимального расчетного количества воздуха
6	5.1.5 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
7	5.1.5 Инжекция вторичного воздуха, оптимизация и распределение	НДТ содержит подходы, связанные с обеспечением энергоэффективности технологий утилизации и обезвреживания отходов термическим способом, посредством подвода вторичного воздуха (его подогрева, точек подвода)
8	5.1.5 Использование сопел специальной конструкции	НДТ содержит подходы, позволяющие снизить содержание азота в воздухе, температуру сопел, для сокращения NOx

Продолжение таблицы Перечень НДТ

Номер	Номер структурного элемента справочника НДТ, наименование НДТ	Краткое описание НДТ
1	2	3
9	5.1.5 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	5.1.5 Обогащение воздуха кислородом	НДТ содержит подходы, связанные с подводом кислорода для оптимизации температуры в камере сгорания в зависимости от требуемых технологических параметров
11	5.1.5 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	5.1.5 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	5.1.5 Повышение турбулентности в камере дожигания	НДТ содержит подходы, связанные с различными конструкциями камер дожигания с целью улучшения качества отходящих дымовых газов относительно NOx, летучих органических соединений и CO
14	5.1.5 Оптимизация времени, температуры, турбулентности газов в зоне сжигания и концентрации кислорода	НДТ содержит подходы, связанные с достижением эффективного дожигания отходящих дымовых газов
15	5.1.5 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	5.1.6, 5.3 Использование тепла	НДТ содержит подходы, связанные с использованием тепла от установок на внешние нужды, например выработку энергии, производственного пара и т. п.
17	5.1.6 Переход с жидкого топлива на природный газ	НДТ содержит подходы, связанные с оптимальной конструкцией горелочных устройств и форсунок

Номер	Номер структурного элемента справочника НДТ, наименование НДТ	Краткое описание НДТ
1	2	3
18	5.1.6 Оптимизация КПД установок	НДТ содержит подходы, связанные с определением оптимальной энергетической эффективности с учетом ряда факторов
19	5.1.6 Автоматизация системы аналитического контроля	НДТ содержит подходы, направленные на выполнение задач технического обслуживания и технической поддержки
20	5.1.6 Использование частотно-регулируемых приводов	НДТ содержит подходы, связанные с обеспечением энергосбережения посредством оптимизации системы управления технологическим процессом и эксплуатационных параметров
21	5.1.6 Оптимизация системы охлаждения	НДТ содержит подходы, связанные с использованием различных систем охлаждения для оптимизации энергоэффективности в соответствии с условиями подключения к инженерным сетям
22	5.1.6 Оптимизация конструкции котла-утилизатора	НДТ содержит подходы, связанные с максимально полным использованием энергии отходящих газов с учетом требований к оптимизации конструкции котла-утилизатора
23	5.1.6 Использование тепловых насосов	НДТ содержит подходы, связанные с генерацией тепловой энергии посредством объединения низкотемпературных потоков
24	5.1.6 Внедрение автоматизированных систем	НДТ содержит подходы, связанные с многофакторным контролем технологических систем для эффективного функционирования установок
25	5.1.7.1 Снижение выбросов пыли	НДТ содержит подходы, связанные с обеспыливанием, посредством использования определенных технических систем
26	5.1.7.1 Использование рукавных фильтров	НДТ содержит подходы, связанные с обеспыливанием и улавливанием тяжелых металлов, ПХДД/ПХДФ, защитой от коррозии
27	5.1.7.1 Применение систем доочистки дымовых газов	НДТ содержит подходы, связанные с заключительным этапом очистки дымовых газов перед выбросом газов в дымовую трубу
28	5.1.7.1 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	5.1.7.1 Способ двойного фильтрования	НДТ содержит подходы, связанные с использованием двух рукавных фильтров

Продолжение таблицы Перечень НДТ

Номер	Номер структурного элемента справочника НДТ, наименование НДТ	Краткое описание НДТ
1	2	3
30	5.1.7.2 Мокрые системы пылегазоочистки	НДТ содержит подходы, связанные со снижением выбросов пыли, ПХДД/ПХДФ, Hg ²⁺
31	5.1.7.2 Полусухие системы газоочистки	НДТ содержит подходы, связанные с улавливанием нерастворимых в абсорбционных растворах кислых газов, а также пыли, ПХДД/ПХДФ и ртути
32	5.1.7.2 Рециркуляция реагентов	НДТ содержит подходы, связанные с увеличением эффективности мокрой системы газоочистки
33	5.1.7.2 Оптимизация интенсивности впрыска реагента	НДТ содержит подходы, связанные с минимизацией проскока загрязняющих веществ
34	5.1.7.2 Проведение мониторинга процесса абсорбции	НДТ содержит подходы, связанные с поддержанием эффективности абсорбции кислых газов
35	5.1.7.2 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
36	5.1.7.2 Подбор щелочного реагента	НДТ содержит подходы, связанные с оптимизацией выбора реагента в зависимости от конструкции аппаратов газоочистки
37	5.1.7.2 Прямая добавка щелочных реагентов	НДТ содержит подходы, связанные с необходимостью сокращения коррозионного воздействия на элементы камер сгорания и дожигания сырья (отходов)
38	5.1.7.3 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	5.1.7.3 Селективное некаталитическое восстановление (СНКВ)	НДТ содержит подходы, связанные с возможностью снижения выбросов NOx посредством впрыскивания аммиака (NH ₃) или мочевины (CO(NH ₂) ₂) в печь
40	5.1.7.4 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

Номер	Номер структурного элемента справочника НДТ, наименование НДТ	Краткое описание НДТ
1	2	3
41	5.1.7.4 Обеспыливание на высокотемпературных установках	НДТ содержит подходы, связанные со снижением ПХДД/ПХДФ в результате ударного охлаждения с использованием или преобразованием тепловой энергии
42	5.1.7.4 Предотвращение ресинтеза диоксинов	НДТ содержит подходы, связанные с закалкой дымовых газов
43	5.1.7.4 Повторный обжиг абсорбентов	НДТ содержит подходы, связанные с обезвреживанием остатков ПХДД/ПХДФ, собранных в системе газоочистки
44	5.1.7.4 Адсорбция	НДТ содержит подходы, связанные с сокращением ПХДД/ПХДФ в отходящих газах в результате впрыска реагентов в газовом потоке
45	5.1.7.4 Каталитическая деструкция	НДТ содержит подходы, связанные с деструкцией ПХДД/ПХДФ на поверхности активированного кокса
46	5.1.7.4 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	5.1.7.4 Использование материалов, пропитанных углеродом	НДТ содержит подходы, связанные с возможностью адсорбции ПХДД/ПХДФ в системах мокрой газоочистки
48	5.1.7.4 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	5.1.7.5 Мокрая газоочистка с низким рН и добавка аддитивов	НДТ содержит подходы, связанные с регулированием рН для удаления HCl, HF, SO ₂ , HgCl ₂ . Представлены подходы, позволяющие увеличить эффективность адсорбции металлической ртути
50	5.1.7.5 Впрыск активированного угля	НДТ содержит подходы, связанные с сокращением содержания металлической ртути в результате адсорбции и ионной ртути в результате хемосорбции
51	5.1.7.5 Пропитка адсорбента серой	НДТ содержит подходы, связанные с повышением удаления ртути в результате пропитки адсорбента серой
52	5.1.7.5 Использование смоляного фильтра	НДТ содержит подходы, связанные с удалением ртути

Продолжение таблицы Перечень НДТ

Номер	Номер структурного элемента справочника НДТ, наименование НДТ	Краткое описание НДТ
1	2	3
53	5.1.7.5 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	5.1.7.5 Добавка перекиси водорода для мокрой газоочистки	НДТ содержит подходы, связанные с удалением ртути, HCl и SO ₂ из дымовых газов
55	5.1.8 Цементирование остатков	НДТ содержит подходы, связанные со смешением остатков термического обезвреживания с минеральными или гидравлическими вяжущими
56	5.1.8 Остекловывание и плавление	НДТ содержит подходы, связанные с использованием систем электроплавки, систем, отапливаемых горелками и плавкой с дутьем
57	5.1.8 Экстрагирование кислотой	НДТ содержит подходы, связанные с одновременным использованием летучей золы и остатков с мокрого скруббера
58	5.1.8 Обработка остатков	НДТ содержит подходы, связанные с обезвреживанием остатков от очистки дымовых газов, появляющихся в процессе очистки сухим бикарбонатом натрия
59	5.1.8 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	5.1.9 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	5.1.10 Мониторинг (производственный контроль) и регулирование выбросов	НДТ содержит подходы, связанные с использованием КИПиА для получения достоверной информации о параметрах технологического процесса
62	5.1.10 Мониторинг горения в печи и распределения температур	НДТ содержит подходы, связанные с использованием оптических или инфракрасных измерительных систем, ультразвуковых и визуальных камер
63	5.1.10 Контроль коэффициента избытка воздуха	НДТ содержит подходы, связанные с сокращением образования загрязняющих веществ

Номер	Номер структурного элемента справочника НДТ, наименование НДТ	Краткое описание НДТ
1	2	3
64	5.1.10 Мониторинг HCl	НДТ содержит подходы, связанные с мониторингом HCl до и после блока газоочистки для корректировки количества используемого щелочного реагента
65	5.1.10 Регулирование в дозировании	НДТ содержит подходы, направленные на поддержание адсорбционной способности в системе очистки дымовых газов
66	5.1.10 Ретроспективный анализ параметров технологического процесса	НДТ содержит подходы, связанные с хранением информации, полученной от КИПиА
67	5.1.11 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	5.1.12 Переработка шлаков и зольных остатков, образующихся в результате сжигания	НДТ содержит подходы, связанные со стабилизацией, отверждением, сжиганием и плавлением золы в плазме
68	5.1.12 Утилизация и обезвреживание шлаков и зольных остатков	НДТ содержит подходы, связанные с предшествующим контролем ряда параметров выбору технических решений
69	5.1.12 Улучшение качества шлака	НДТ содержит подходы, связанные с оптимизацией технологических параметров для снижения в шлаке остаточного углерода и уменьшения токсичности образующихся шлаков
70	5.1.12 Раздельный сбор шлака и отходов очистки дымовых газов	НДТ содержит подходы, связанные с технологическими операциями, исключаящими смешение шлака с отходами очистки дымовых газов
71	5.1.12 Сепарация металлов из шлака	НДТ содержит подходы, связанные с необходимостью извлечения черных и цветных металлов из зольных остатков
72	5.1.12 Обработка шлака с использованием вызревания	НДТ содержит подходы, связанные с возможностью хранения зольных остатков для приобретения ими требуемых свойств
73	5.1.12 Обработка шлака с использованием систем сухой очистки	НДТ содержит подходы, связанные с комбинированной обработкой шлака

Окончание таблицы Перечень НДТ

Номер	Номер структурного элемента справочника НДТ, наименование НДТ	Краткое описание НДТ
1	2	3
74	5.1.12 Обработка шлака с использованием систем мокрой очистки	НДТ содержит подходы, связанные с возможностью получения шлака с минимальной выщелачиваемостью металлов и анионов
75	5.1.12 Остекловывание и плавление	НДТ содержит подходы, связанные с использованием плазменных печей
76	5.2 Траектория движения шлама	НДТ содержит технические подходы, связанные с минимизацией недожога органической части отходов
77	5.2 Путь движения дымовых газов	НДТ содержит технические подходы, связанные с обеспечением энергетической эффективности и стабильной нагрузки на футеровку
78	5.2 Подготовка твердых отходов	НДТ содержит технические подходы, связанные с приданием сырью (отходам) определенных параметров

Приложение В (обязательное)

Перечень технологических показателей

Технологический показатель	Единица измерения	Предложения по установлению технологических показателей
Азота оксид Азота диоксид (в пересчете на азота диоксид)	мг/м ³	суммарно ≤ 200*
Серы диоксид	мг/м ³	≤ 50*
Углерода оксид	мг/м ³	≤ 50*
Углеводороды предельные C ₁₂ –C ₁₉	мг/м ³	≤ 10*
Взвешенные вещества	мг/м ³	≤ 10*
Бензапирен	мг/м ³	≤ 0,001
Хлористый водород	мг/м ³	≤ 10*
Фтористый водород	мг/м ³	≤ 1*
Диоксины (полихлорированные дибензо-п-диоксины и дибензофураны) в пересчете на 2,3,7,8-тетрахлордибензо-1,4-диоксин	нг/м ³	≤ 0,1**
Ртуть и её соединения, кроме диэтилртути	мг/м ³	≤ 0,05***
Кадмий и его соединения Таллий и его соединения	мг/м ³	суммарно ≤ 0,05***
Мышьяк и его соединения, кроме водорода мышьяковистого Свинец и его соединения, кроме тетраэтилсвинца, в пересчете на свинец Хром (Cr 6+) Кобальт и его соединения (кобальта оксид, соли кобальта в пересчете на кобальт) Медь, оксид меди, сульфат меди, хлорид меди (в пересчете на медь) Марганец и его соединения Никель, оксид никеля (в пересчете на никель) Ванадия пяти оксид Сурьма и ее соединения	мг/м ³	суммарно ≤ 0,5***
Примечание: * — среднесуточные пороговые значения выбросов; ** — средние пороговые значения выбросов для диоксинов и фуранов, где минимальный период отбора равен 6 часам, а максимальный — 8 часам; *** — средние пороговые значения выбросов для тяжелых металлов, где минимальный период отбора равен 30 минутам, а максимальный — 8 часам		

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 ([58], ст. 1).

Обращение с отходами — деятельность по сбору, накоплению, транспортированию, обработке, утилизации, обезвреживанию, размещению отходов ([58], ст. 1).

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), а также использование твердых коммунальных отходов в качестве возобновляемого источника энергии (вторичных энергетических ресурсов) после извлечения из них полезных компонентов на объектах обработки, соответствующих требованиям, предусмотренным пунктом 3 статьи 10 настоящего Федерального закона (энергетическая утилизация) ([58], ст. 1).

Обезвреживание отходов — уменьшение массы отходов, изменение их состава, физических и химических свойств (включая сжигание, за исключением сжигания, связанного с использованием твердых коммунальных отходов в качестве возобновляемого источника энергии (вторичных энергетических ресурсов), и (или) обеззараживание на специализированных установках) в целях снижения негативного воздействия отходов на здоровье человека и окружающую среду ([58], ст. 1).

Утилизация и обезвреживание отходов термическим способом — утилизация и обезвреживание отходов, содержащих в своем составе органические вещества, термическими способами с деструкцией органических веществ, в том числе:

- сжигание отходов;
- пиролиз;
- газификация;
- методы, основанные на применении плазменных источников энергии;
- комбинация указанных выше методов.

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 ([58], ст. 1).

Вид отходов — совокупность отходов, которые имеют общие признаки в соответствии с системой классификации отходов ([58], 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 ([58], 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) ([58], 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 ([59], п. 3.16).

Зола — несгоревший остаток, образовавшийся в результате сгорания органического вещества ([59], п. 3.45).

Остекловывание отходов — обработка отходов, в результате которой происходит их преобразование в стекловидные материалы ([59], п. 5.48).

Приложение Д (обязательное) Ресурсная и энергетическая эффективность

1 Краткая характеристика сферы деятельности с точки зрения ресурсо- и энергопотребления

Утилизация и обезвреживание отходов термическим способом является энергоемким процессом.

В сфере утилизации и обезвреживания отходов термическим способом 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 утилизации и обезвреживания отходов термическим способом.

1.1 Отнесение термических методов переработки ТКО к энергетической утилизации

Для отнесения деятельности предприятия по переработке ТКО с применением термических методов к энергетической утилизации рекомендуется использовать показатель, отражающий эффективность использования энергетического ресурса ТКО (в годовом исчислении с учетом затрат на собственные нужды, дополнительное топливо, покупаемую энергию и т. д.), рассчитываемый по формуле, представленной в Директиве Европейского Парламента и Совета Европейского Союза 2008/98/ЕС от 19 ноября 2008 г.:

$$\mathcal{E} = \frac{(E_p - (E_f + E_i))}{(0,97 \cdot (E_w + E_i))} = \frac{((k_e \cdot E_e + k_t \cdot E_t) - (E_f + E_i))}{(0,97 \cdot (E_w + E_i))} \quad (1)$$

\mathcal{E} — показатель энергетической эффективности (коэффициент преобразования энергопотенциала ТКО в тепловую и электрическую энергию);

E_p — энергия, отпущенная потребителю в виде тепла или электроэнергии, ГДж/год. Эта величина рассчитывается как сумма отпущенных электрической и тепловой энергий, каждая из которых умножается на соответствующие коэффициенты $k_e = 2,6$ и $k_t = 1,1$;

E_i — теплота дополнительного топлива, затраченного на производство энергии, ГДж/год;

E_w — энергия, содержащаяся в перерабатываемых отходах, рассчитанная с учетом их теплоты сгорания, ГДж/год;

E_f — импортируемая энергии, получаемая от внешнего поставщика, ГДж/год, исключая E_w и E_i , ГДж/год;

0,97 — показатель для расчета тепловых потерь с теплом шлака (так как потери тепла с летучей золой учитываются через q_2 , см. примечание ниже) и в окружающую среду через ограждения котла (от наружного охлаждения).

(Примечание: в тепловых расчетах котлов используются следующие виды потерь тепла:

- $q_2 = 5–8 \%$ — потери тепла в окружающую среду с уходящими газами с температурой 120–150 °С;
- $q_3 = 0–0,5 \%$ — потери тепла от химической неполноты сгорания топлива;
- $q_4 = 0,5–3,0 \%$ — потери тепла от механической неполноты сгорания топлива;
- $q_5 = 0,5–1,2 \%$ — потери тепла в окружающую среду от наружного охлаждения через ограждения котла;
- $q_6 = 0,28–0,38 \%$ — потери тепла с теплом шлака.

Поэтому в реальных условиях $q_5 + q_6 \leq 3\%$ и значение 0,97 в формуле (1) принято обоснованно).

Критерии отнесения деятельности предприятия по переработке ТКО с использованием термических методов к энергетической утилизации:

- энергетическая эффективность для комбинированного производства тепловой и электрической энергии (когенерация) должна составлять не менее 0,65;
- энергетическая эффективность для конденсационного режима (производится только электрическая энергия) должна составлять не менее 0,45.

1.2 Определение уровней энергетической эффективности технологий, обеспеченных НДТ (показатели, характеризующие энергоэффективность установки)

Для расчета показателей энергоэффективности технологии утилизации отходов с получением энергии (электрической и тепловой) при оценке ее на соответствие НДТ необходимо использовать формулы, представленные в справочнике Европейского союза по наилучшим доступным технологиям «Европейская комиссия. Директива о промышленных эмиссиях 2010/75/EU. Справочное руководство по наилучшим доступным технологиям. Сжигание отходов. 2019 г.» (см. таблицу Д. 1).

Показатели энергоэффективности, соответствующие НДТ, приведены в таблице Д. 2.

Таблица Д 1 — Формулы для расчета показателей общей энергоэффективности

Показатель	Формула расчета (справочник Европейского союза по наилучшим доступным технологиям «Европейская комиссия. Директива о промышленных эмиссиях 2010/75/EU. Справочное руководство по наилучшим доступным технологиям. Сжигание отходов. 2019 г.»)
Для установок с получением электрической энергии: Электрический КПД (общая электрическая эффективность)	$\eta_e = \frac{W_e}{Q_{th}} \times (Q_b / (Q_b - Q_i)) \quad (2)$
Для установок с получением тепловой энергии или электрической и тепловой энергии: Общий КПД (общая энергетическая эффективность)	$\eta_h = \frac{W_e + Q_{he} + Q_{de} + Q_i}{Q_{th}} \quad (3)$

W_e — вырабатываемая электрогенератором электрическая мощность, МВт;
 Q_{he} — тепловая мощность, подводимая к теплообменникам сетевой воды (теплота, используемая для отопления и горячего водоснабжения), МВт;

Q_{de} — тепловая мощность, отпускаемая потребителю в виде пара или горячей воды за вычетом тепловой мощности обратного потока отработанного теплоносителя, МВт;

Q_b — общая тепловая мощность котла за вычетом тепловых потерь, МВт;

Q_i — тепловая мощность собственных нужд (в виде пара или горячей воды), которая используется непосредственно в самом процессе термической переработки отходов (например для подогрева дымовых газов), МВт;

Q_{th} — тепловая мощность, подводимая к котлу, включая удельную энергию, содержащуюся в перерабатываемых отходах, рассчитанную с учетом их теплоты сгорания, а также удельную теплоту дополнительного топлива, внешних теплоносителей (пара, импортируемой электроэнергии) и т. д, которая используется в номинальном режиме (исключая, например, пуско-остановочные режимы) и непосредственно в самом процессе термической переработки отходов.

Таблица Д 2 — Показатели общей энергоэффективности наилучших доступных технологий утилизации отходов термическими способами

Показатель	ТКО, прочие горючие отходы IV–V классов опасности	Опасные отходы*	Осадки сточных вод*
Для установок с получением электрической энергии: Электрический КПД (общая электрическая эффективность)	≥ 20 %		

Показатель	ТКО, прочие горючие отходы IV–V классов опасности	Опасные отходы*	Осадки сточных вод*
Для установок с получением тепловой энергии или электрической и тепловой энергии: Общий КПД (общая энергетическая эффективность)	≥ 70 %		
Энергетическая эффективность (КПД котла-утилизатора) (показатель рассчитывается по формуле общей энергетической эффективности — уравнение (3))		≥ 60 %	≥ 60 %
Примечание: * — только в тех случаях, когда применяется котел-утилизатор			

2 Основные энерго- и ресурсоемкие технологические процессы

В разделе 2 представлено описание технологических процессов, используемых в настоящее время в сфере утилизации и обезвреживания отходов термическими способами, в том числе в части реализации принципа теплогенерации (теплоиспользования).

3 Уровни потребления основных видов ресурсов и энергии

В связи с большим разнообразием физико-химических характеристик утилизируемых и обезвреживаемых отходов, вариантов применения технологических процессов, уровни потребления материальных и энергетических ресурсов представлены в весьма широких пределах.

4 Наилучшие доступные технологии, направленные на повышение энергоэффективности и оптимизацию и сокращение ресурсопотребления

Наилучшие доступные технологии, направленные на повышение энергоэффективности и оптимизацию и сокращение ресурсопотребления, представлены в таблице Д 3.

Таблица Д 3 — Наилучшие доступные технологии, направленные на повышение энергоэффективности и оптимизацию и сокращение ресурсопотребления

Но- мер	Номер структурного элемента справочника НДТ, наименование НДТ	Краткое описание НДТ
7	5.1.5 Инжекция вторичного воздуха, оптимизация и распределение	НДТ содержит подходы, связанные с обеспечением энергоэффективности технологий утилизации и обезвреживания отходов термическим способом, посредством подвода вторичного воздуха (его подогрева, точек подвода)
9	5.1.5 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	5.1.5 Обогащение воздуха кислородом	НДТ содержит подходы, связанные с подводом кислорода для оптимизации температуры в камере сгорания в зависимости от требуемых технологических параметров
12	5.1.5 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
14	5.1.5 Оптимизация времени, температуры, турбулентности газов в зоне сжигания и концентрации кислорода	НДТ содержит подходы, связанные с достижением эффективного дожигания отходящих дымовых газов
15	5.1.5 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	5.1.6, 5.3 Использование тепла	НДТ содержит подходы, связанные с использованием тепла от установок на внешние нужды, например, на выработку энергии, производственного пара и т. п.
17	5.1.6 Переход с жидкого топлива на природный газ	НДТ содержит подходы, связанные с оптимальной конструкцией горелочных устройств и форсунок
18	5.1.6 Оптимизация КПД установок	НДТ содержит подходы, связанные с определением оптимальной энергетической эффективности с учетом ряда факторов

Но- мер	Номер структурного элемента справочника НДТ, наименование НДТ	Краткое описание НДТ
20	5.1.6 Использование частотно-регулируемых приводов	НДТ содержит подходы, связанные с обеспечением энергосбережения посредством оптимизации системы управления технологическим процессом и эксплуатационных параметров
21	5.1.6 Оптимизация системы охлаждения	НДТ содержит подходы, связанные с использованием различных систем охлаждения для оптимизации энергоэффективности в соответствии с условиями подключения к инженерным сетям
22	5.1.6 Оптимизация конструкции котла-утилизатора	НДТ содержит подходы, связанные с максимально полным использованием энергии отходящих газов с учетом требований к оптимизации конструкции котла-утилизатора
23	5.1.6 Использование тепловых насосов	НДТ содержит подходы, связанные с генерацией тепловой энергии посредством объединения низкотемпературных потоков
37	5.1.7.2 Прямая добавка щелочных реагентов	НДТ содержит подходы, связанные с необходимостью сокращения коррозионного воздействия на элементы камер сгорания и дожигания сырья (отходов)
41	5.1.7.4 Обеспыливание на высокотемпературных установках	НДТ содержит подходы, связанные со снижением ПХДД/ПХДФ в результате ударного охлаждения с использованием или преобразованием тепловой энергии
59	5.1.8 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
64	5.1.10 Мониторинг HCl	НДТ содержит подходы, связанные с мониторингом HCl до и после блока газоочистки для корректировки количества используемого щелочного реагента
67	5.1.11 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
71	5.1.12 Сепарация металлов из шлака	НДТ содержит подходы, связанные с необходимостью извлечения черных и цветных металлов из зольных остатков
77	5.3 Путь движения дымовых газов	НДТ содержит технические подходы, связанные с обеспечением энергетической эффективности и стабильной нагрузки на футеровку

5 Целевые показатели ресурсной и энергетической эффективности

Таблица Д.4 – Целевые показатели энергоэффективности наилучших доступных технологий утилизации отходов термическими способами

Показатель	ТКО, прочие горючие отходы IV-V классов опасности	Опасные отходы*	Осадки сточных вод*
Для установок с получением электрической энергии: Электрический КПД (общая электрическая эффективность)	≥ 20 %		
Для установок с получением тепловой энергии или электрической и тепловой энергии: Общий КПД (общая энергетическая эффективность)	≥ 70 %		
Энергетическая эффективность (КПД котла-утилизатора) (показатель рассчитывается по формуле общей энергетической эффективности – уравнение (3))		≥ 60 %	≥ 60 %
Примечание: * — только в тех случаях, когда применяется котел-утилизатор			

6 Перспективные технологии, направленные на повышение энергоэффективности и ресурсной эффективности, в том числе – на сокращение потребления природных ресурсов и повышения уровня вовлечения отходов производства и потребления в хозяйственный оборот в качестве дополнительных источников сырья

В разделе 6 перспективные технологии в сфере утилизации и обезвреживания отходов термическими способами рассматриваются также в части оценки экономичности технологий, в том числе на основе повышения энергоэффективности.

Приложение Е (обязательное)

Заключения по наилучшим доступным технологиям

Область применения настоящего Заключения совпадает с областью применения информационно-технического справочника по НДТ для утилизации и обезвреживания отходов термическими способами (ИТС 9-2020 «Утилизация и обезвреживание отходов термическими способами») и распространяется на следующие основные виды деятельности:

- сжигание отходов;
- пиролиз;
- газификация;
- методы, основанные на применении плазменных источников энергии;
- комбинация указанных выше методов.

Реализация перечисленных методов может осуществляться с целью:

- получения материальной продукции;
- получения энергии (в том числе энергетическая утилизация ТКО);
- обезвреживания отходов.

Заключение также распространяется на процессы, связанные с основными видами деятельности, которые могут оказать влияние на объемы эмиссий и (или) масштабы загрязнения окружающей среды:

- накопление (хранение) и предварительная подготовка утилизируемых и обезвреживаемых отходов;
- выбор и подготовка потребляемых материалов и топлива;
- методы предотвращения и сокращения эмиссий и образования отходов;
- способы преобразования энергии, полученной при термических процессах, в электрическую или тепловую энергию;
- технологии термической утилизации и обезвреживания отходов, являющиеся неотъемлемым подпроцессом технологического процесса производства отраслевой продукции на предприятиях, в случае если в отраслевом ИТС НДТ они не рассмотрены.

Справочник НДТ не распространяется на:

- технологии утилизации и обезвреживания отходов, в процессе которых используются методы термического воздействия, не приводящие к деструкции отходов (сушка, дистилляция и т. п.);
- технологии обеззараживания медицинских отходов, используемые непосредственно в медицинских учреждениях и не предусматривающие термическую деструкцию органических веществ, входящих в состав медицинских отходов с использованием методов сжигания, пиролиза, газификации;

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

Дополнительные виды деятельности при утилизации и обезвреживании отходов термическим способом и соответствующие им справочники НДТ приведены в таблице Е 1.

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

Вид деятельности	Соответствующий справочник
Утилизация и обезвреживание отходов другими способами	ИТС 15-2016 «Утилизация и обезвреживание отходов (кроме обезвреживания термическим способом (сжигание отходов))»
Размещение отходов	ИТС 17-2016 «Размещение отходов производства и потребления»
Очистка сточных вод с использованием централизованных систем водоотведения поселений, городских округов: сжигание осадков сточных вод	ИТС 10-2019 «Очистка сточных вод с использованием централизованных систем водоотведения поселений, городских округов»
Производство целлюлозы, древесной массы, бумаги, картона: сжигание отходов производства	ИТС 1-2015 «Производство целлюлозы, древесной массы, бумаги, картона»
Сжигание топлива на крупных установках в целях производства энергии	ИТС 38-2017 «Сжигание топлива на крупных установках в целях производства энергии»
Производство основных органических химических веществ: сжигание отходов производства	ИТС 18-2019 «Производство основных органических химических веществ»
Производство продукции тонкого органического синтеза: сжигание отходов производства	ИТС 31-2017 «Производство продукции тонкого органического синтеза»
Добыча нефти: сжигание отходов производства	ИТС 28-2017 «Добыча нефти»
Очистка выбросов вредных (загрязняющих) веществ в атмосферный воздух при производстве продукции (товаров), а также при проведении работ и оказании услуг на крупных предприятиях	ИТС 22-2016 «Очистка выбросов вредных (загрязняющих) веществ в атмосферный воздух при производстве продукции (товаров), а также при проведении работ и оказании услуг на крупных предприятиях»
Производственный экологический контроль	ИТС 22.1–2016 «Общие принципы производственного экологического контроля и его метрологического обеспечения»
Повышение энергетической эффективности	ИТС 48-2017 «Повышение энергетической эффективности при осуществлении хозяйственно и (или) иной деятельности»

Таблица Е 2 — Сфера распространения ИТС НДТ

ОКПД 2	Наименование продукции по ОК 034-2014 (ОКПД)	Наименование вида деятельности по ОКВЭД 2	ОКВЭД 2
38.2	Услуги по обработке и утилизации отходов	Обработка и утилизация отходов	38.2
38.21	Услуги по переработке и утилизации отходов неопасных	Обработка и утилизация неопасных отходов	38.21
38.22	Услуги по переработке и утилизации опасных отходов	Обработка и утилизация опасных отходов	38.22

1 Наилучшие доступные технологии

Заключение содержит перечень кратких описаний НДТ, применяемых при утилизации и обезвреживании отходов термическим способом на различных этапах технологического процесса.

Технологии/методы, перечисленные и описанные в настоящем документе в качестве наилучших доступных технологий (НДТ), не являются ни предписывающими, ни исчерпывающими. Могут использоваться другие технологии/методы, которые гарантируют по крайней мере эквивалентный уровень охраны окружающей среды.

Содержащиеся в приведенных ниже заключениях краткие описания НДТ даны в редакции раздела 5 ИТС 9-2020 «Утилизация и обезвреживание отходов термическими способами».

Таблица Е 3 — Перечень НДТ

Номер НДТ	Наименование НДТ
1	Процедура проверки и отбора проб
2	Предварительный входной контроль отходов
3	Хранение (накопление) отходов
4	Предварительная подготовка отходов
5	Оптимизация стехиометрии воздуха
6	Оптимизация и распределение подачи первичного воздуха
7	Инжекция вторичного воздуха, оптимизация и распределение
8	Использование сопел специальной конструкции
9	Рециркуляция дымовых газов
10	Обогащение воздуха кислородом
11	Охлаждаемые вращающиеся печи
12	Увеличение времени выдержки отходов в камере сжигания
13	Повышение турбулентности в камере дожига
14	Оптимизация времени, температуры, турбулентности газов в зоне сжигания и концентрации кислорода
15	Использование автоматически работающих вспомогательных горелок
16	Использование тепла
17	Переход с жидкого топлива на природный газ
18	Оптимизация КПД установок

Продолжение таблицы Е 3

Номер НДТ	Наименование НДТ
19	Автоматизация системы аналитического контроля
20	Использование частотно-регулируемых приводов
21	Оптимизация системы охлаждения
22	Оптимизация конструкции котла-утилизатора
23	Использование тепловых насосов
24	Внедрение автоматизированных систем
25	Снижение выбросов пыли
26	Использование рукавных фильтров
27	Применение систем доочистки дымовых газов
28	Использование системы мокрой очистки дымовых газов
29	Способ двойного фильтрования
30	Мокрые системы пылегазоочистки
31	Полусухие системы газоочистки
32	Рециркуляция реагентов
33	Оптимизация интенсивности впрыска реагента
34	Проведение мониторинга процесса абсорбции
35	Системы сухой очистки дымовых газов
36	Подбор щелочного реагента
37	Прямая добавка щелочных реагентов
38	Селективное каталитическое восстановление (СКВ)
39	Селективное некаталитическое восстановление (СНКВ)
40	Предотвращение вторичного образования ПХДД/ПХДФ в системе газоочистки
41	Обеспыливание на высокотемпературных установках
42	Предотвращение ресинтеза диоксинов
43	Повторный обжиг абсорбентов
44	Адсорбция
45	Каталитическая деструкция
46	Адсорбция в неподвижном слое
47	Использование материалов, пропитанных углеродом
48	Использование угольной суспензии в мокрой газоочистке
49	Мокрая газоочистка с низким рН и добавка аддитивов
50	Впрыск активированного угля
51	Пропитка адсорбента серой
52	Использование смоляного фильтра
53	Инъекция хлорита и выбор агента с сильной окислительной формой
54	Добавка перекиси водорода для мокрой газоочистки
55	Цементирование остатков
56	Остекловывание и плавление
57	Экстрагирование кислотой
58	Обработка остатков
59	Обработка остатков с использованием гидравлических вяжущих
60	Удаление остатков, образующихся при очистке газообразных продуктов сгорания
61	Мониторинг (производственный контроль) и регулирование выбросов
62	Мониторинг горения в печи и распределения температур

Номер НДТ	Наименование НДТ
63	Контроль коэффициента избытка воздуха
64	Мониторинг HCl
65	Регулирование в дозировании
66	Ретроспективный анализ параметров технологического процесса
67	Циклическое использование воды
67	Переработка шлаков и зольных остатков, образующихся в результате сжигания
68	Утилизация и обезвреживание шлаков и зольных остатков
69	Улучшение качества шлака
70	Раздельный сбор шлака и отходов очистки дымовых газов
71	Сепарация металлов из шлака
72	Обработка шлака с использованием выжаривания
73	Обработка шлака с использованием систем сухой очистки
74	Обработка шлака с использованием систем мокрой очистки
75	Остекловывание и плавление
76	Траектория движения шлама
77	Путь движения дымовых газов
78	Подготовка твёрдых отходов

Таблица Е 4 — Технологические показатели НДТ

Технологический показатель	Единица измерения	Значение (диапазон)
Азота оксид Азота диоксид (в пересчете на азота диоксид)	мг/м ³	суммарно ≤ 200*
Серы диоксид	мг/м ³	≤ 50*
Углерода оксид	мг/м ³	≤ 50*
Углеводороды предельные C ₁₂ –C ₁₉	мг/м ³	≤ 10*
Взвешенные вещества	мг/м ³	≤ 10*
Бензапирен	мг/м ³	≤ 0,001
Хлористый водород	мг/м ³	≤ 10*
Фтористый водород	мг/м ³	≤ 1*
Диоксины (полихлорированные дибензо-п-диоксины и дибензофураны) в пересчете на 2,3,7,8-тетрахлордибензо-1,4-диоксин	нг/м ³	≤ 0,1**
Ртуть и её соединения, кроме диэтилртути	мг/м ³	≤ 0,05***
Кадмий и его соединения Таллий и его соединения	мг/м ³	суммарно ≤ 0,05***

Технологический показатель	Единица измерения	Значение (диапазон)
Мышьяк и его соединения, кроме водорода мышьяковистого Свинец и его соединения, кроме тетраэтил-свинца, в пересчете на свинец Хром (Cr 6+) Кобальт и его соединения (кобальта оксид, соли кобальта в пересчете на кобальт) Медь, оксид меди, сульфат меди, хлорид меди (в пересчете на медь) Марганец и его соединения Никель, оксид никеля (в пересчете на никель) Ванадия пяти оксид Сурьма и ее соединения	мг/м ³	суммарно ≤ 0,5***
Примечание: * — среднесуточные пороговые значения выбросов; ** — средние пороговые значения выбросов для диоксинов и фуранов, где минимальный период отбора равен 6 часам, а максимальный — 8 часам; *** — средние пороговые значения выбросов для тяжелых металлов, где минимальный период отбора равен 30 минутам, а максимальный — 8 часам		

2 Производственный экологический контроль

Таблица Е 5 — Методы контроля технологических показателей для выбросов

Измеряемые показатели	Метод контроля (непрерывный с применением систем автоматического контроля, периодический, расчетный метод)	Методика измерения
Азота оксид Азота диоксид	См. ИТС 22.1-2016	Федеральный фонд единства измерений https://fgis.gost.ru/fundmetrology/registry/16
Серы диоксид	См. ИТС 22.1-2016	Федеральный фонд единства измерений https://fgis.gost.ru/fundmetrology/registry/16
Углерода оксид	См. ИТС 22.1-2016	Федеральный фонд единства измерений https://fgis.gost.ru/fundmetrology/registry/16
Углеводороды предельные C ₁₂ –C ₁₉	См. ИТС 22.1-2016	Федеральный фонд единства измерений https://fgis.gost.ru/fundmetrology/registry/16
Взвешенные вещества	См. ИТС 22.1-2016	Федеральный фонд единства измерений https://fgis.gost.ru/fundmetrology/registry/16
Бензапирен	См. ИТС 22.1-2016	Федеральный фонд единства измерений https://fgis.gost.ru/fundmetrology/registry/16

Измеряемые показатели	Метод контроля (непрерывный с применением систем автоматического контроля, периодический, расчетный метод)	Методика измерения
Хлористый водород	См. ИТС 22.1-2016	Федеральный фонд единства измерений https://fgis.gost.ru/fundmetrology/registry/16
Фтористый водород	См. ИТС 22.1-2016	Федеральный фонд единства измерений https://fgis.gost.ru/fundmetrology/registry/16
Диоксины (полихлорированные дибензо-п-диоксины и дибензофураны) в пересчете на 2,3,7,8-тетрахлордибензо-1,4-диоксин	См. ИТС 22.1-2016	Федеральный фонд единства измерений https://fgis.gost.ru/fundmetrology/registry/16
Ртуть и её соединения, кроме диэтилртути	См. ИТС 22.1-2016	Федеральный фонд единства измерений https://fgis.gost.ru/fundmetrology/registry/16
Кадмий и его соединения Таллий и его соединения	См. ИТС 22.1-2016	Федеральный фонд единства измерений https://fgis.gost.ru/fundmetrology/registry/16
Мышьяк и его соединения, кроме водорода мышьяковистого Свинец и его соединения, кроме тетраэтилсвинца, в пересчете на свинец Хром (Cr 6+) Кобальт и его соединения (кобальта оксид, соли кобальта в пересчете на кобальт) Медь, оксид меди, сульфат меди, хлорид меди (в пересчете на медь) Марганец и его соединения Никель, оксид никеля (в пересчете на никель) Ванадия пяти оксид Сурьма и ее соединения	См. ИТС 22.1-2016	Федеральный фонд единства измерений https://fgis.gost.ru/fundmetrology/registry/16

Библиография

1. Бернадинер, М. Н. Высокотемпературная переработка и обезвреживание жидких, пастообразных и твердых промышленных и медицинских отходов / М. Н. Бернадинер, И. М. Бернадинер // Экология и промышленность России. — 2011. — Апрель. — С. 19–21.
2. Бернадинер, М. Н. Огневая переработка и обезвреживание промышленных отходов / М. Н. Бернадинер, А. П. Шурыгин. — М.: Химия, 1990. — 304 с.
3. Федеральный классификационный каталог отходов. ФККО-2017.
4. ISO 14001:2016 (ГОСТ Р ИСО 14001—2016) Системы экологического менеджмента. Требования и руководство по применению.
5. Ершов, А. Г. Термическое обезвреживание отходов: теория и практика, мифы и легенды / А. Г. Ершов, В. Л. Шубников // Журнал ТБО. — 2014. — № 5. — С. 47–52.
6. Ершов, А. Г. Термическое обезвреживание отходов: теория и практика, мифы и легенды / А. Г. Ершов, В. Л. Шубников, Л. А. Шульц // Журнал ТБО. — 2014. — № 6. — С. 54–60.
7. Бернадинер, И. М. Диоксины и другие токсиканты при высокотемпературной переработке / И. М. Бернадинер. — М.: ИД МЭИ, 2007.
8. Ладыгин, К. В. К вопросу предварительной оценки и методов снижения содержания диоксинов в отходах установок термоокислительного обезвреживания медицинских отходов / К. В. Ладыгин, Н. Д. Осветицкая, Ю. А. Рахманов // Научный журнал НИУ ИТМО, Серия «Экономика и экологический менеджмент». — № 1 2014.
9. Ершов, А. Г. Диоксинофобия: факты и домыслы / А. Г. Ершов, В. Д. Шубников // ЭкоПрогресс. — 2009. — № 9. — С. 26–32.
10. Малышевский, А. Ф. Обоснование выбора оптимального способа обезвреживания твердых бытовых отходов жилого фонда в городах России / А. Ф. Малышевский. — М.: МПР Российской Федерации, 2012. — 47 с.
11. Тугов, А. Н. Перспективы использования твердых бытовых отходов в качестве вторичных энергетических ресурсов в России / А. Н. Тугов // Теплоэнергетика. — 2013. — № 9. — С. 1–6.
12. Ключников, В. Ю. О сжигании отходов / В. Ю. Ключников // Научно-практический журнал «Экология Производства». — № 2. — Февраль 2012 года.
13. Билитевски, Б. Сжигание отходов: опыт Германии / Б. Билитевски // 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.ec.europa.eu/reference.
15. Силин, В. Е. Особенности низкотемпературного горения древесного топлива в современных энергоустановках / В. Е. Силин, В. Ф. Рыжков. — Промышленная энергетика, 2008.
16. Бернадинер, М. Н. Высокотемпературная переработка отходов. Плазменные источники энергии (часть 1) / М. Н. Бернадинер, И. М. Бернадинер // Твердые бытовые отходы. — № 4. — 2011. — С. 16–19.

17. Бернадинер, М. Н. Высокотемпературная переработка отходов. Плазменные источники энергии (часть 2) / М. Н. Бернадинер, И. М. Бернадинер // Твердые бытовые отходы. — № 5. — 2011. — С. 24–27.
18. Бернадинер, И. М. Реакторы термического обезвреживания твердых и пастообразных органических отходов. Состояние и перспективы / И. М. Бернадинер, М. Н. Бернадинер // Высокотемпературные процессы и аппараты. Сборник научных статей к 100-летию С. Н. Шорина. — М. : МГУИЭ, 2003. — С. 124–144.
19. Бернадинер, И. М. Обезвреживание опасных отходов: выбор оптимальной технологии / И. М. Бернадинер, М. Н. Бернадинер // Твердые бытовые отходы. — 2010. — № 10. — С. 18–26.
20. Безопасные технологии [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://zaobt.ru/>
21. Российская инсинераторостроительная компания № 1 [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://turmalin.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. Плазмохимическая переработка отходов хлорорганических производств / А. М. Тухватуллин, Ю. В. Изингер, И. В. Береснева и др. // 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. Перспективы плазмохимического уничтожения ПХБ-содержащих конденсаторов и других токсичных отходов / А. П. Цыганков, О. Е. Цыганкова // Экология производства. — 2004. — № 5. — С. 75–79.
27. Моссэ, А. Л. Электродуговые плазменные устройства для переработки и уничтожения токсичных отходов / А. Л. Моссэ, А. В. Горбунов, В. В. Савчин. — Материалы 4-го Международного симпозиума по теоретической и прикладной плазмохимии. Ивановский государственный технологический университет, 13–18 мая 2005 г.
28. Гонопольский, А. М. Обезвреживание отходов медицинских учреждений в герметичной плазменной печи / А. М. Гонопольский, О. Л. Федоров // Чистый город. — 1999. — № 1 (5) — С. 28–31.
29. Гонопольский, А. М. Опыт внедрения системы сбора, транспортировки и плазменной переработки медицинских отходов (на примере Московской городской инфекционной клинической больницы № 1) / А. М. Гонопольский, Н. А. Малышев, В. М. Ланин, О. Л. Федоров // 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. Плазменные технологии: расширение возможности переработки отходов / И. И. Кадыров, М. А. Полканов, В. А. Горбунов, С. А. Дмитриев, Ф. А. Лифанов, А. П. Кобелев // Материалы Международной конференции «Стратегия безопасности использования атомной энергии — прошлое, настоящее и будущее». — СПб., 25–29 сентября 2006 г.
32. Моссэ, А. Л. Плазмотермическая обработка токсичных отходов / П. Л. Моссэ, В. В. Савчин // Твердые бытовые отходы. — 2006. — № 12. — С. 22–24.

33. Савчин, В. В. Разработка и исследование плазменной шахтной печи для утилизации радиоактивных отходов / П. Л. Моссэ, В. В. Савчин // *Материалы 5-го Международного симпозиума по теоретической и прикладной плазмохимии*. Ивановский государственный технологический университет, 3–8 сентября 2008 г.
34. Братцев, А. Н. Установка для плазменной газификации различных видов отходов / А. Н. Братцев, В. Е. Попов, А. Ф. Рутберг, С. В. Штенгель // *Теплоэнергетика высоких температур*. — 2006. — Т. 44. — № 6. — С. 832–837.
35. Братцев, А. Н. Переработка твердых отходов методом плазменной газификации / А. Н. Братцев, В. Е. Попов, С. В. Штенгель, А. А. Уфимцев // *Вода и экология: проблемы и решения*. — 2006. — № 4. — С. 69–73.
36. Петров, С. В. Плазменная газификация отходов / С. В. Петров // *Мир техники и технологии*. — 2009. — № 7. — С. 54–55.
37. Савчин, В. В. Плазменные методы в технологии переработки РАО / В. В. Савчин, А. Л. Моссэ // *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. Бернадинер, М. Н. Огневое обезвреживание суперэкоотоксикантов / М. Н. Бернадинер, И. М. Бернадинер // *Экология и промышленность России*. — 2004. — Июнь. — С. 12–13.
40. Бернадинер, М. Н. Обезвреживание отходов, содержащих полихлорированные бифенилы / М. Н. Бернадинер, И. М. Бернадинер // *Твердые бытовые отходы*. — № 4. — 2013. — С. 24–26.
41. Бернадинер, И. М. Термическое обезвреживание медицинских отходов в Москве / И. М. Бернадинер // *Экология и промышленность России*. — 2004. — Август. — С. 24–28.
42. Федеральный закон от 4.05.1999 г. № 96-ФЗ «Об охране атмосферного воздуха».
43. Федеральный закон от 10.01.2002 г. № 7-ФЗ (ред. от 31.07.2020) «Об охране окружающей среды».
44. Федеральный закон от 21.07.2014 г. № 219-ФЗ (ред. от 26.07.2019) «О внесении изменений в Федеральный закон “Об охране окружающей среды” и отдельные законодательные акты Российской Федерации».
45. Директива № 2010/75/ЕС Европейского парламента и Совета Европейского Союза «О промышленных эмиссиях (комплексное предотвращение и контроль загрязнения)».
46. Федеральный закон от 30.03.1999 г. № 52-ФЗ «О санитарно-эпидемиологическом благополучии населения».
47. Положение о государственном санитарно-эпидемиологическом нормировании, утвержденное Постановлением Правительства Российской Федерации от 24.07.2000 г. № 554.
48. Распоряжение Правительства Российской Федерации от 08.07.2015 г. № 1316-р «Об утверждении перечня загрязняющих веществ, в отношении которых применяются меры государственного регулирования в области охраны окружающей среды».
49. Постановление Правительства Российской Федерации № 1458 от 23.12.2014 г. «О порядке определения технологии в качестве наилучшей доступной технологии, а также разработки, актуализации и опубликования информационно-технических справочников по наилучшим доступным технологиям».
50. Приказ Минпромторга России от 23.08.2019 № 3134 «Об утверждении методических рекомендаций по определению технологии в качестве наилучшей доступной технологии».

51. ГОСТ Р 56828.32-2017 Наилучшие доступные технологии. Ресурсосбережение. Методологии идентификации.
52. ГОСТ Р 56828.24-2017 Наилучшие доступные технологии. Энергосбережение. Руководство по применению наилучших доступных технологий для повышения энергоэффективности.
53. ГОСТ Р 54205-2010. Ресурсосбережение. Обращение с отходами. Наилучшие доступные технологии повышения энергоэффективности при сжигании.
54. ГОСТ Р 56828.15-2016 Наилучшие доступные технологии. Термины и определения.
55. ГОСТ Р 113.00.04-2020 Наилучшие доступные технологии. Формат описания технологий.
56. ГОСТ Р 113.00.03-2019 Наилучшие доступные технологии. Структура информационно-технического справочника.
57. Directive 2008/1/EC of the European Parliament and of the Council of 15 January 2008 concerning integrated pollution prevention and control.
58. Федеральный закон от 24.06.1998 г. № 89-ФЗ (с изменениями на 07.04.2020 г.) «Об отходах производства и потребления».
59. ГОСТ 30772-2001. Межгосударственный стандарт. Ресурсосбережение. Обращение с отходами. Термины и определения.
60. Frederik Neuwahl, Gianluca Cusano, Jorge Gómez Benavides, Simon Holbrook, Serge Roudier; Best Available Techniques (BAT) Reference Document for Waste Incineration; EUR 29971 EN; doi:10.2760/761437.
61. ГОСТ 12.1.044-89 (ИСО 4589-84) Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Пожаровзрывоопасность веществ и материалов. Номенклатура показателей и методы их определения (с Изменением N 1).
62. Руководящие принципы по наилучшим используемым методам и указания по НВПД. Раздел V. Указания и руководящие принципы по категориям источников: Категории источников в Части II Приложения С. Категория источников (а): Установки для сжигания отходов // 2006.
63. Боравская, Т. В. Информационно-технический справочник «Сжигание отходов» / Т. В. Боравская, И. И. Глушкова, В. О. Самойленко // Наилучшие доступные технологии. Применение в различных отраслях промышленности. Сборник статей 1. — М.: Перо, 2015. — С. 170–179.
64. Симонов А.Д., Языков Н.А., Трачук А.В., Яковлев В.А. Сжигание осадков сточных вод коммунального хозяйства в псевдооживленном слое катализатора // Международный научный журнал Альтернативная энергетика и экология. 2010. № 6. С. 61-66.