

НАЦИОНАЛЬНАЯ АКАДЕМИЯ НАУК БЕЛАРУСИ
Институт тепло- и массообмена им. А. В. Лыкова

А. Л. Мосса, В. В. Савчин

ПЛАЗМЕННЫЕ
ТЕХНОЛОГИИ
И УСТРОЙСТВА
ДЛЯ ПЕРЕРАБОТКИ
ОТХОДОВ

Минск
«Беларуская навука»
2015

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение	3
-----------------------	---

Глава 1

Технологии и оборудование для процессов плазмотермической переработки отходов

1.1. Плазменные методы в технологии переработки токсичных отходов	9
1.1.1. Переработка медико-биологических отходов плазменными методами	12
1.1.2. Плазмотермическая переработка бытовых отходов	17
1.1.3. Плазменная переработка радиоактивных отходов	22
1.1.4. Переработка промышленных отходов различного происхождения	26
1.1.5. Технология переработки и повторного использования упаковки «ТетраПак»	31
1.2. Плазменные аппараты и устройства для переработки отходов	37
1.2.1. Плазменные реакторы и печи	37
1.2.2. Электродуговые генераторы низкотемпературной плазмы – плазмотроны постоянного тока	66
1.2.3. Электродуговые плазмотроны переменного тока	72

Глава 2

Плазменные устройства для переработки отходов

2.1. Плазменная камерная печь	74
2.2. Плазменная двухкамерная печь	82
2.3. Плазменная шахтная печь	86
2.4. Вращающаяся печь с плазменным нагревом	94
2.5. Проектное предложение по созданию производства для плазмотермической переработки токсичных отходов (ПППТО – 500х4)	99
2.5.1. Технические характеристики и состав блока плазменной переработки токсичных отходов	100
2.5.2. Плазменный блок	104

2.5.3. Блок очистки отходящих газов и сбора продуктов переработки твердых отходов	105
2.5.4. Блок рекуперации тепла отходящих газов	108
2.5.5. Система газоснабжения различными газами и компрессорный блок плазмобразующего газа	108
2.5.6. Система оборотного водоснабжения	110
2.5.7. Система электроснабжения	112
2.5.8. Спецификация оборудования системы электроснабжения	114
2.5.9. Пульт и система автоматизированного управления блоком ППТМО	117
2.5.10. Место расположения блока ППТМО	123
2.5.11. Показатели назначения и использования электроэнергии, компримированных газов и воды	125

Глава 3

Генераторы низкотемпературной плазмы – плазмотроны для работы плазменных устройств

3.1. Плазмотроны постоянного тока для нагрева печи	126
3.1.1. Плазмотроны постоянного тока с термокатодом	126
3.1.2. Плазмотроны постоянного тока с охлаждаемым полым электродом – катодом типа ПД-1 мощностью до 100 кВт	142
3.2. Плазмотроны постоянного тока с охлаждаемым полым электродом – катодом ПД-26 и УП-45 мощностью 200–500 кВт	149
3.3. Плазмотроны постоянного тока для технологических процессов, работающие на смесях различных газов	159
3.4. Обобщенные ВАХ плазмотронов ПД-1 и УП-45, работающих в режимах пиролиза и окислительного пиролиза	164
3.5. Плазменное горелочное устройство – ПГУ на основе электродугового плазмотрона типа ПДС-50/03	177
3.5.1. Техническое описание конструкции модернизированного плазмотрона ПДС-50/03	179
3.5.2. Расчет температуры нагрева охлаждающего воздуха в корпусе ПГУ	182
3.5.3. Расчет ресурса работы гафниевого катода плазмотрона ПДС-50/03	185
3.5.4. Испытания плазменных горелочных устройств с плазмотронами ПДС-50/03, результаты измерений и определения оптимальных параметров работы	187
3.5.5. Оптимальные параметры работы плазмотрона ПДС-50/03	188
3.5.6. Результаты испытаний плазменных горелочных устройств с плазмотроном ПДС-50/03	189
3.5.7. Результаты испытаний плазменных горелочных устройств, с плазмотроном ПДС-50/03 на ресурс работы в течение 50 ч и более	190
3.6. Плазмотроны переменного тока для нагрева печи	193
3.7. Плазмотроны прямого и комбинированного действия	201

Глава 4

Методы и результаты расчетов процессов теплообмена плазменных печей

4.1. Тепловой расчет плазменной печи камерного типа для переработки отходов.....	205
4.1.1. Методика теплового расчета камерной печи.....	205
4.1.2. Влияние расхода плазмообразующего газа – воздуха на состав синтез-газа и энергетические параметры печи.....	210
4.1.3. Результаты теплового расчета плазменной камерной печи.....	213
4.2. Тепловой расчет плазменной двухкамерной печи.....	216
4.2.1. Методика расчета плазменной двухкамерной печи.....	216
4.2.2. Результаты моделирования нагрева камеры сжигания печи...	219
4.2.3. Тепловой и газодинамический расчет дожигания отходящих дымовых газов.....	221
4.2.4. Газодинамический и тепловой расчет смешения потока дымовых газов и плазменной струи в камере дожигания.....	225
4.3. Тепловой расчет камеры сжигания плазменной шахтной печи.....	229
4.4. Расчет шахтной печи со сгораемым фильтрующим материалом	233
4.4.1. Разработка математической модели фильтрации отходящих газов в слое загрузки при плазмотермической переработке отходов в шахтной печи со сгораемым фильтрующим материалом	233
4.4.2. Техническая реализация процесса в слое загрузки при плазмотермической переработке отходов в шахтной печи со сгораемым фильтрующим материалом.....	235
4.4.3. Теоретическая разработка математической модели процесса ...	238
4.4.4. Сравнительный анализ результатов расчета.....	243
4.5. Расчет параметров процесса и элементов конструкции шахтной печи	245
4.5.1. Расчет тепловой мощности печи.....	245
4.5.2. Расчет тепловой мощности камеры дожигания.....	248
4.5.3. Расчет объема и удельной радиоактивности дымовых газов....	249
4.5.4. Расчет высоты фильтрующего шахтного слоя загрузки.....	252
4.5.5. Расчет гидравлического сопротивления слоя загрузки.....	254

Глава 5

Результаты исследований и эксплуатации плазменных печей

5.1. Результаты исследования и работы плазменной камерной печи	257
5.2. Результаты исследования и опытной эксплуатации плазменной двухкамерной печи.....	263
5.2.1. Двухкамерная плазменная печь для сжигания РАО	263
5.3. Результаты исследований и работы плазменной шахтной печи	266
5.3.1. Результаты исследований динамики нагрева плазменной шахтной печи.....	266

5.3.2. Исследование процесса плазмотермической переработки модельных отходов в шахтной печи	274
5.3.3. Результаты исследования процесса плазмотермической переработки радиоактивных отходов в шахтной печи.....	279
5.3.4. Результаты экспериментальных исследований по нагреву плазменной шахтной печи плазмотроном переменного тока.....	285
5.3.5. Реактор-газификатор шахтного типа	290
5.4. Промышленные плазменные установки для уничтожения токсичных отходов.....	296
5.4.1. Плазмотермическая установка для уничтожения медицинских отходов	296
5.4.2. Результаты исследования и работы вращающейся печи с плазменным нагревом.....	308

Глава 6

Плазменные установки и комплексы для переработки отходов, результаты разработок и исследований, перспективы использования

6.1. Сравнительный анализ термических технологий.....	311
6.2. Сравнение параметров работы печей с огневым и плазменным обогревом для высокотемпературной переработки твердых радиоактивных отходов.....	320
6.3. Применение пароплазменной технологии для пиролиза органических, в том числе медицинских и других опасных, отходов.....	327
6.4. Мобильные плазменные установки и комплексы для переработки твердых и жидких токсичных отходов	337
6.4.1. Технологические стадии процесса плазмотермической переработки опасных отходов в мобильной плазменной установке	340
6.4.2. Технологическая схема установки переработки отходов.....	341
6.4.3. Материальный баланс процесса переработки отходов	347
6.4.4. Оборудование установки плазмотермической переработки опасных отходов	349
6.4.5. Расход электроэнергии и материальных сред.....	356
6.5. Новые технологические схемы и устройства для процессов переработки отходов.....	357
6.5.1. Получение тепла и электроэнергии.....	358
6.5.2. Получение дизельного топлива из полимерных отходов.....	362
6.5.3. Получение теплоизоляционных материалов из шлака.....	364
6.5.4. Получение диоксида углерода из отходов	368
6.5.5. Получение технологического водорода	371
6.6. Технологические схемы утилизации тепла	376
6.7. Экономические показатели технологии экологически безопасной плазменной утилизации твердых отходов.....	380
Литература.....	395