

Моссэ А.Л.¹, Савченко Г.Э.², Савчин В.В.¹, Левашов А.В.²¹ *Институт тепломассообмена НАН Беларуси, Минск, Беларусь*² *ООО «ТехЭкоПлазма», Москва, РФ***Мобильные плазменные системы. Варианты исполнения, использования и сравнительный анализ**

Выполнены обзор вариантов исполнения и использования, а также сравнительный анализ работы мобильных плазменных систем по переработке и уничтожению токсичных жидких и газообразных отходов различного происхождения. Приведены результаты испытаний мобильных плазменных комплексов и установок. Обоснована целесообразность и эффективность переработки нефтяных и угольных шламов, жидких органических отходов производства на плазменных мобильных установках. Мобильность конструкции обеспечивает удобство транспортировки, минимум монтажных работ на месте, возможность гибкой коррекции технологических параметров установки с минимальными затратами на адаптацию к условиям конкретного предприятия. Полученные экспериментальные результаты показали соответствие установки экологическим нормативам.

Ключевые слова: переработка токсичных отходов, мобильная плазменная установка.

Зроблено огляд варіантів виконання та використання, а також порівняльний аналіз роботи мобільних плазмових систем з переробки та знищення токсичних рідких та газоподібних відходів різного походження. Наведено результати випробувань мобільних плазмових комплексів та установок. Обґрунтовано доцільність та ефективність переробки нафтових та вугільних шламів, рідких органічних відходів виробництва на плазмових мобільних установках. Мобільність конструкції забезпечує зручність транспортування, мінімум монтажних робіт на місці, можливість гнучкої корекції технологічних параметрів установки к мінімальними витратами на адаптацію до умов конкретного підприємства. Отримані експериментальні результати показали відповідність установки екологічним нормативам.

Ключові слова: переробка токсичних відходів, мобільна плазмова установка.

Загрязнение окружающей среды отходами производства — одна из наиболее острых проблем промышленно развитых стран мира. Многие из накопленных отходов обладают свойствами токсичности, мутагенности, канцерогенности, пожароопасности и могут сказаться на здоровье населения в регионах их складирования и привести к возникновению глобальных чрезвычайных ситуаций экологического характера с непредсказуемыми последствиями. Разработка новых методов переработки и уничтожения отходов различного происхождения является в настоящее время одной из актуальнейших научно-технических задач, требующей незамедлительного решения, практическая значимость которой неоспорима (Поручение Президента РФ от 06.06.2010 № Пр-1640).

Использование для уничтожения токсичных отходов низкотемпературной плазмы позволяет увеличить минимальную температуру в реакционной зоне плазменного реактора до 1900–2500 К и выше, исключив протекание в газовой фазе реакций с образованием высокотоксичных галогеносодержащих соединений: фосгена, диоксинов, полигалогенированных бифенилов и фуранов.

В данной статье предоставлены информация и некоторые результаты по разработке и испытанию мобильных плазменных комплексов и установок для переработки и уничтожения токсичных жидких и газообразных отходов различного происхождения.

Опубликованы результаты исследований и промышленной реализации большого перечня токсичных отходов, которые перерабатываются плазменными методами в разных странах:

— EA TECHNOLOGY (Англия): этандиол, трихлорметан, бензол-алкоголь, дихлорбензол, отходы перегонки нефти, полихлорированные бифенилы (ПХБ);

— Alberta Center (Канада): 1 — ацетон, бензин, метил-этилкетоны, специальные растворители; 2 — хлороформ, дихлорметан, тетрагидрид углерода и ПХБ;

— PLASCON (Ливертон, Австралия): толуол и хлорфенол с токсичными добавками и 2,4-Д-бутиловый эфир;

— SOLVAY (Германия): perhalogenated compounds (хлорфторуглероды — фреоны): CCl₂F₂ (R12), CClF₃ (R13) и C₂Cl₃F₃ (R113);

– E.S.T. Ltd. (Беер-Шева, Израиль): хлористый метилен, полихлорированные углеороды и углеводороды (С – 60 %, Cl – 30 %);

– Институт тепломассообмена НАН Беларуси (Минск, Беларусь) и ТВШ Мерзебург (Германия): хлористый метилен (CH₂Cl₂), трихлорэтилен (C₂H₃Cl₃), спирто-бензосмеси (с добавками канифоли);

– Integrated Environmental Technologies, LLC (PEM – Plasma Enhanced Melter): ПХБ, пластик, медико-биологические отходы;

– WESTINGHOUSE (США): переработка CCl₄ в смеси с метилэтилкетонем, этанолом и водой, в смеси с метилэтилкетонем и метанолом, многохлористые дифенилы, степень разложения дифенилов – 99,99 %. Опасных токсичных веществ (диоксинов, дибензофуранов) в отходящих газах не наблюдалось;

– PLASMOX (Швейцария, Германия): переработка боевых отравляющих веществ;

– другие организации и компании.

Обоснование целесообразности и эффективности создания плазменных мобильных установок

Накопление отходов и необходимость их переработки – в определенной степени периодический процесс. Особенно это относится к малым и средним предприятиям, для которых создание собственных устройств для переработки отходов экономически нецелесообразно.

Решение проблемы представляется возможным с применением: 1) сбора и транспортировки отходов в пункты централизованной переработки; 2) созданием мини-установок на конкретном предприятии (медицинские отходы); 3) создание мобильных установок и возможность использования их на условиях аренды.

Известны прототипы таких мобильных устройств: GmbH «Schulzverfahren techniks» (Германия) – мобильная система переработки осадков сточных вод; МосНПО «РАДОН» (Россия) – мобильная установка для переработки жидких PAO; Drexel University Philadelphia, (PA, USA) – мобильная плазменная установка для переработки медицинских отходов и др.

Мобильность конструкции установок (компоновка установки в цельнометаллическом контейнере, плазменный реакторный модуль, система газоочистки, модули систем обеспечения и дополнительные устройства) обеспечивает удобство их транспортировки, минимум монтажных работ на месте, возможность гибкой коррекции технологических параметров установки с минимальными затратами на ее адаптацию к условиям конкретного предприятия по составу и объему перерабатываемых отходов.



Рис.1. Плазменный модуль установки для переработки галогенсодержащих отходов компании E.S.T. Ltd.

В основу работы мобильных плазменных комплексов и установок заложен принцип максимальной автономности их работы. Работоспособность установки обеспечивается от источников постоянного энергоснабжения (сети переменного тока) или от автономных источников, в качестве которых могут использоваться серийно выпускаемые дизель-генераторы. Газоснабжение установки воздухом обеспечивается работой собственного компрессора и дополнительно внешним подводом от цеховой системы предприятия или работой автономной воздухоудувки. Система охлаждения обеспечивается работой водяного насоса, бака и теплообменника необходимой производительности. Система газоочистки автономная или используется существующая на предприятии. В последнем случае используется только мобильный плазменный модуль, например, разработанный фирмой E.S.T. Ltd. (Беер-Шева, Израиль), показанный на рис.1.

Некоторые результаты переработки отходов химического производства (метиленхлорида CH₂Cl₂, метилхлорида CH₃Cl, BU heavies и Rimon heavies) представлены в табл.1.

BU heavies и Rimon heavies представляют собой соединения, состоящие из молекул, со-

Таблица 1

| Параметры | Химические отходы | | | |
|---|--|---------------------------|--------------------------|-----------------------------|
| | CH ₂ Cl ₂ (ж) | CH ₃ Cl (г) | BU heavies (сусп.) | Rimon heavies (сусп.) |
| Мощность плазмотрона, кВт | 29 | 29 | 22,5 | 22,5 |
| Удельные энергозатраты, кВт/кг | 0,8 | 0,6 | 1,2 | 1,2 |
| Температура плазмы, °С | 3100 | 3100 | 3100 | 3100 |
| Расход воздуха на плазмотрон, м ³ /ч | 12,6 | 12,6 | 12,6 | 12,6 |
| Степень превращения, % | 99,2 | 99,9 | 99 | 99,5 |



Рис.2. Мобильная плазменная установка на полигоне.

Рис.3. Плазменный реактор.

держащих углерод, водород, фтор, хлор, азот и кислород.

Общий состав BU heavies, % (ат.): С – 90; Н – 9,4; Cl – 0,1; F – 0,12; O – 0,1; N – 0,1. Растворитель – ксилен.

Общий атомарный состав Rimon heavies, % (ат.): С – 59; Н – 1,2; Cl – 5,2; F – 18,6; O – 8,9; N – 4,1. Растворитель – толуол.

Анализ газовой фазы на выходе из системы газоочистки установки выполнялся независимой компанией «Ecological laboratories A.P. Ltd.».

Томский политехнический университет (г.Томск, РФ) разработал мобильную установку, где утилизация и обезвреживание жидких органических отходов (ЖОО) осуществляется в условиях неравновесной каталитически активной воздушной плазмы электрических разрядов, в виде диспергированных горючих водно-топливных композиций при рабочих температурах горения не менее 1200 °С, чтобы не допустить образования вредных и токсичных органических загрязняющих веществ (ЗВ) [3, 4].

Технологический процесс реализован в установке плазмокаталитической утилизации нефтяных шламов и может быть использован для переработки и обезвреживания различных ЖОО. В общем случае установка представляет собой функциональное объединение двух блоков: генераторный блок (высокочастотный генератор плазмы) и технологический блок, показанный на рис.2, 3. Технологическая схема приведена на рис.4.

ЖОО, поступившие в узел подготовки отходов, механически измельчают, гомогенизируют и полученную однородную горючую топливную композицию (ГТК) направляют в смеситель узла диспергирования отходов плазмокаталитического реактора. Сюда же поступает очищенная от механических примесей обратная технологическая вода (ООВТ) из узла мокрой очистки и охлаждения оборотной технологической воды. В смесителе получают горючую водно-топливную композицию (ГВТК) с температурой горения не менее 1200 °С и направляют в

форсунку узла диспергирования отходов, диспергированную горючую водно-топливную композицию (ДГВТК) утилизируют в реакционной камере плазмокаталитического реактора в условиях неравновесной каталитически активной воздушной плазмы (КАВП), генерируемой высокочастотным плазмотроном с получением газообразных и твердых продуктов утилизации.

При горении ДГВТК, содержащей значительное количество воды (30–70 %), происходят сложные химические процессы, связанные с испарением воды и наличием ее паров в зоне горения. Это повышает скорость горения ДГВТК вследствие увеличения количества активных центров, которыми являются положительно и отрицательно заряженные ионы, образующиеся в результате диссоциации воды. Появление в зоне горения ДГВТК большого числа активных центров атомарного водорода H^+ и гидроксида OH^- во много раз ускоряет реакцию окисления топлива.

Вода не только является инициатором реакции окисления топлива, но и участвует в протекании самих реакций. Это подтверждается изменением интенсивности свечения пламени, которое наблюдается с увеличением содержания воды в ДГВТК. При горении ДГВТК уменьшается дымление, которое является следствием дефицита кислорода в зоне протекания реакции.

Из плазмокаталитического реактора отходящие газы (ОГ) в виде пыли-парогазовой смеси направляются в узел мокрой очистки отходящих газов, охлаждаются, очищаются от твердых продуктов утилизации (песок, пыль) и через вытяжной вентилятор очищенные отходящие газы (ООГ) выбрасывают в атмосферу. Образующаяся в узле мокрой очистки отходящих газов водная суспензия из твердых про-

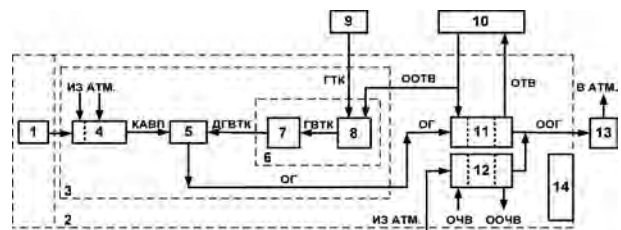


Рис.4. Технологическая схема установки плазмокаталитической утилизации ЖОО: 1 – генераторный блок (высокочастотный генератор плазмы); 2 – технологический блок; 3 – плазмокаталитический реактор; 4 – высокочастотный плазмотрон; 5 – реакционная камера плазмокаталитического реактора; 6 – узел диспергирования отходов; 7 – форсунка; 8 – смеситель; 9 – узел подготовки отходов; 10 – узел мокрой очистки и охлаждения оборотной технологической воды; 11 – узел мокрой очистки отходящих газов; 12 – емкость для сбора конденсата; 13 – вытяжной вентилятор; 14 – емкость для сбора конденсата.

дуктов утилизации направляется в узел мокрой очистки и охлаждения оборотной технологической воды, охлаждается, очищается от твердых продуктов утилизации и вновь направляется в смеситель для подготовки ГВТК.

Технико-экономическая и экологическая эффективность предлагаемого способа утилизации отходов доказана на примере утилизации нефтяных шламов, исходные предельные составы которых приведены в табл.2.

Таблица 2

| Состав нефтяного шлама | Состав 1, % | Состав 2, % |
|----------------------------------|-------------|-------------|
| Шлам в целом: | | |
| асфальтены | 1,69 | 10,27 |
| смолы | 3,17 | 13,49 |
| масла | 13,24 | 67,94 |
| вода | 5,63 | 7,98 |
| механические примеси | 76,27 | 0,32 |
| Органическая составляющая шлама: | | |
| асфальтены | 9,33 | 11,20 |
| смолы | 17,52 | 14,72 |
| масла | 73,15 | 74,08 |

Основные технические характеристики установки приведены ниже:

| | | |
|--|---|--------------|
| Производительность при односменной работе, т/ч (т/год), не менее | — | 1 (3000) |
| Потребляемая электрическая мощность, кВт | — | ≤ 50 |
| Температура воздушной плазменной струи на входе в реактор, К | — | 2000–4000 |
| Температура капель диспергированной газовой композиции на входе в реактор, К | — | 300–600 |
| Содержание ЗВ в очищенных отходящих газах, не более | — | ПДК |
| Скорость воздушного потока на входе в реактор, м/с | — | 30–100 |
| Скорость воздушной плазменной струи на входе в реактор, м/с | — | 5–20 |
| Содержание органических ЗВ в твердых продуктах утилизации, не более | — | ПДК |
| Масса установки, т | — | 20 |
| Габаритные размеры, м | — | 12,0×3,0×3,5 |

Достоинства установки: переработка разных ЖОО; малые габариты, компактность и мобильность; низкие удельные энергозатраты на утилизацию — 0,05 МВт·ч/т; получение тепловой энергии из отходов — 2,0 МВт·ч/т (1,7 Гкал/т).

Области промышленного применения: переработка нефтяных шламов; переработка угольных шламов; переработка жидких органических отходов (отработанные масла, стойкие органические загрязнители (СОЗ)).

В ООО «ТехЭкоПЛАЗМА» разработана и создана мобильная плазменная установка для переработки токсичных отходов различного

происхождения. В отличие от известных, разработанных и эксплуатируемых в РФ и за рубежом аналогичных устройств [5, 6], выбранное техническое решение одновременно с мобильностью предполагает ее модульное исполнение по всей технологической схеме, а также по отдельным элементам. Это позволяет на одной фундаментальной базе, в качестве которой используется 20-футовый транспортный контейнер, компоновать разные варианты технологической схемы для переработки широкого спектра органических и неорганических отходов, в том числе галогенорганических отходов, пестицидов с истекшим сроком годности, ПХБ и других СОЗ.

Основными преимуществами созданного устройства являются его мобильность, простота и безопасность при монтаже и эксплуатации, возможность эксплуатации непосредственно в месте сбора и накопления отходов. В предложенном и реализованном варианте комплектации состав оборудования установки оптимизирован по про-

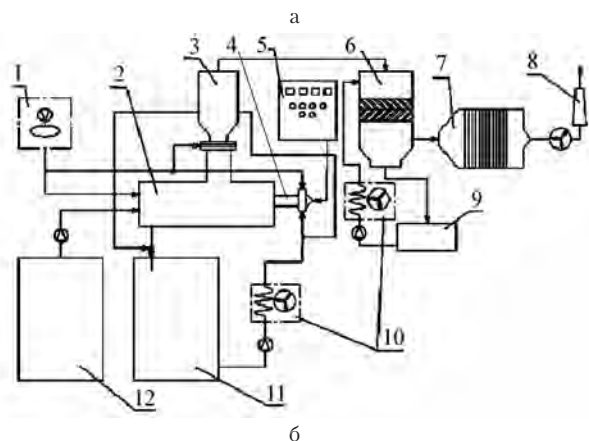


Рис.5. Общий вид (а) и технологическая схема (б) мобильной плазменной установки типа МПУ-01: 1 — система газоснабжения; 2 — противоточный плазмохимический реактор; 4 — плазмотрон; 5 — источник электропитания и поджига плазмотронов; 6–9 — система газоочистки; система управления технологическим процессом (пульт управления и диагностики, устройство регулирования потоков газа, датчики расхода, датчики давления, датчики температуры, сильноточные приводы); 10–12 — система водоснабжения.

изводительности и габаритам, что необходимо для мобильных установок с ограниченной базовой системой.

Разработана конструкторская документация, изготовлены узлы и детали, выполнены монтаж и тестирование работы установки с использованием в качестве отходов модельных смесей токсичных отходов и сточных вод промышленного производства. В основу разработки конструкторской документации на установку положены требования, обеспечивающие необходимые технические характеристики установки: среднемаховая температура плазменной струи на выходе из сопла плазмотрона 3500–5000 К; температура в зоне сжигания (или пиролиза) отходов в интервале 1200–1800 °С (зависит от состава отходов); время удержания продуктов пиролиза в реакторной зоне более 2 с, степень разложения токсичных отходов на установке 99,98 %. Технологическая схема установки показана на рис.5.

Используемый в мобильной установке плазмотрон типа ТЭМП-50/3 является плазмотроном линейной схемы с газовихревой стабилизацией дуги и состоит из унифицированных анодного и катодного узлов и газового кольца. Разработанный образец данной серии — плазмотрон ТЭМП-50/3 — имеет стержневой гафниевый катод, работающий в нейтральной и окислительной средах в термическом режиме. Водохлаждаемое сопло (анод) выполнено из меди, детали корпуса плазмотрона — из латуни. Корпус газового кольца изготовлен из нержавеющей стали, изолирующая часть — из эрталона. Циркуляция охлаждающей воды и подвод плазмообразующего газа осуществляется через штуцера с конической самоуплотняющейся резьбой М10×1,0. Присоединение плазмотрона к смесительной камере производится резьбовым соединением М39×1,5. В качестве уплотняющих элементов для анодного и катодного узлов используются типовые резиновые кольца. Плазмообразующий газ поступает в разрядную камеру плазмотрона через 4 тангенциальных отверстия диаметром 1,2 мм в газораспределительном кольце. Зазор между электродами плазмотрона устанавливается равным 2–3 мм.

На рис.6 показан общий вид плазмотрона ТЭМП-50/3. Вольтамперные характеристики плазмотрона (при двух внутренних диаметрах используемого в нем стержневого анода 10 и 20 мм) в случае использования воздуха в качестве плазмообразующего газа приведены на рис.7. На рис.8 показаны зависимости подведенной к плазмотрону мощности N от величины

силы тока дуги для ступенчатого анода диаметром 10/20 мм.

В табл.3 представлены технические характеристики мобильной плазменной установки МПУ-01/50.

Проведен анализ жидких отходов и отходящих газов при плазмотермической обработке фторида калия (имитатор реакционной массы — взвесь 10 %-го KF в дизельном топливе).

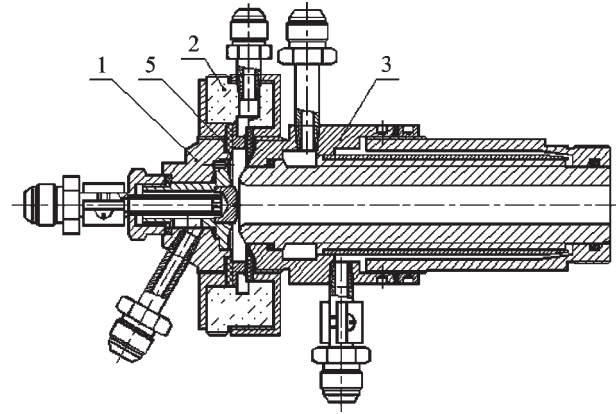


Рис.6. Плазмотрон постоянного тока типа ТЭМП-50/3 мощностью 35–80 кВт.

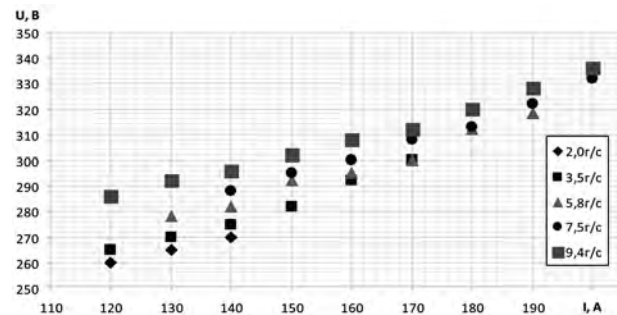


Рис.7. Вольтамперные характеристики плазмотрона типа ТЭМП-50/3 при разных G_g . Источник электроснабжения УПР-4010.

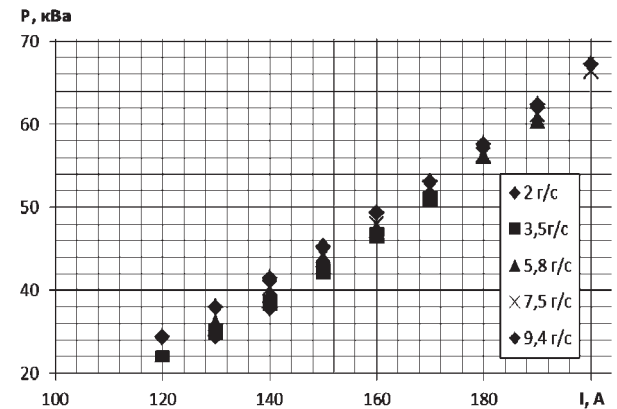


Рис.8. Зависимость подведенной электрической мощности P от силы тока I для плазмотрона типа ТЭМП-50/3 при разных G_g . Источник электроснабжения УПР-4010.

Таблица 3

| Параметры | Проектные | Рабочие |
|---|------------|---------|
| Производительность по подаваемым отходам (РМ), кг/ч | 50–100 | 10–50 |
| Электрическая мощность, кВт | 50–100 | 45–65 |
| Количество плазмотронов ПДС-3/50 | 1 | 1 |
| Максимальная мощность одного плазмотрона, кВт | 50–100 | 65 |
| Оптимальный расход плазмообразующего газа(воздуха) на плазмотрон, м ³ /ч | 12,0–15,0 | 15–18 |
| Количество воздуха, подаваемое для сжигания отходов, м ³ /ч | 492; 984 | ~ 70 |
| Количество воздуха, подаваемое для закладки продуктов сжигания отходов (РМ), м ³ /ч | 663; 1355 | ~ 100 |
| Внутренний диаметр канала реактора, мм | 200 | 200 |
| Суммарное количество газов, поступающее в систему охлаждения и газоочистки после сжигания отходов (РМ), м ³ /ч | 1020; 2050 | 1265 |

Состав отходящих газов при переработке отходов показан в табл.4.

Таблица 4

| Отходы | Проектные | Рабочие |
|--|-----------|-----------|
| Вода, % (об.) | 10–18 | 10–20 |
| СО ₂ , % (об.) | 6–12 | 7–15 |
| О ₂ , % (об.) | 7–14 | – |
| Пыль, г/м ³ | 2–10 | – |
| SO ₂ , мг/м ³ | 100–200 | 160–280 |
| NO _x , мг/м ³ | 100–400 | 27,0–77,0 |
| СО, мг/м ³ | 50–100 | 2,0–3,0 |
| Общий органический углерод*, мг/м ³ | < 20 | – |

* Все другие органические вещества в пересчете на углерод.

Параметры работы установки приведены ниже:

| | | |
|---|---|-------------------|
| Электрическая мощность плазмотрона, кВт | – | 60 |
| Производительность по отходам, кг/ч | – | 22,4 |
| Продолжительность испытаний, ч | – | 21 |
| Суммарное количество переработанных отходов, кг | – | 470 |
| Концентрация фтор-ионов в воде ЦБА, г/л | – | 0,65 |
| Количество минеральных веществ в воде ЦБА, мг/л | – | 4·10 ³ |
| Суммарное количество минеральных веществ в воде ЦБА, кг | – | 4,0 |
| Количество сухих газов на выходе из установки, м ³ /ч | – | 1000 |
| Концентрация пыли в сухих газах на выходе из установки, мг/м ³ | – | 25,8 |
| Суммарное количество пыли в сухих газах на выходе из установки, кг/ч | – | 0,54 |
| Концентрация фтор-ионов в конденсате выхлопной трубы, г/л | – | 12,0 |
| Температура газов на выходе из установки, °С | – | 85 |

Результаты испытаний

Полученные экспериментальные результаты показали соответствие установки экологическим нормативам. Основная масса минеральных примесей остается в конденсате, образу-

ющимся в тракте дымовой трубы, который сливается в специальную емкость. В продуктах на выходе из плазменного реактора и камеры дожигания не обнаружено фтористого калия, так как он весь удаляется с отходящими газами в чистом виде или частично в составе силикатов на основе материала футеровки.

Модульный мобильный комплекс АХОВ-МЧС-ДТ предназначен для ликвидации последствий техногенных аварий, чрезвычайных происшествий на месте их возникновения. Комплекс универсальный и может работать по ликвидации проливов, выбросов и проявлений радиоактивных и агрессивных химически опасных веществ, опасных биологических агентов, нефти и нефтепродуктов. Оборудование комплекса смонтировано в стандартных 20-футовых контейнерах, оснащенных электрогидравлическими погрузочно-разгрузочными устройствами для самостоятельной погрузки и разгрузки. Комплекс полностью автономен и не зависит от внешних источников энергоснабжения. Он может быстро доставляться к месту работ разными видами транспорта, самостоятельно разворачиваться для работы и сворачиваться после ее окончания и перемещения к новому месту работы, не требуя дополнительного кранового оборудования. Модульный принцип построения, положенный в основу комплекса, позволяет получать необходимые конфигурации для решения определенной задачи или усиливать отдельные стороны направления деятельности.

Базовая конфигурация модульного мобильного комплекса МЧС-ДТ:

– модуль для сбора проливов и выбросов экологически опасных веществ: оснащен оборудо-

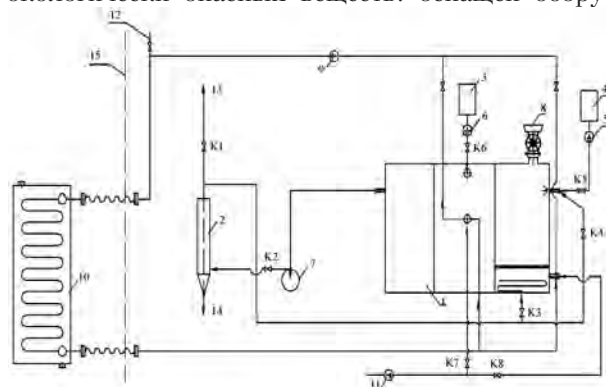


Рис.9. Технологическая схема модуля плазмотермической переработки, мобильного комплекса МЧС-ДТ: 1 – трехкамерная печь – плазмотермический реактор; 2 – аппарат газоочистки; 3 – емкость для подачи щелочи; 4 – емкость для жидких отходов; 5 – насос для подачи отходов; 6 – насос для подачи щелочи; 7 – вытяжной вентилятор; 8 – дозатор для подачи твердых отходов; 9 – циркуляционный насос для подачи воды; 10 – охладитель циркуляционной воды; 11 – компрессор для подачи воздуха; К – клапаны управления.

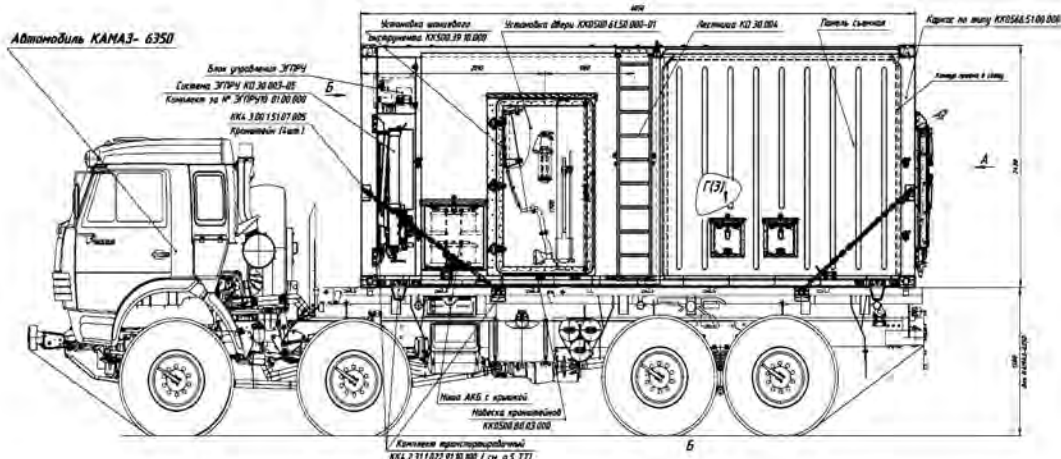


Рис.10. Плазменный модуль мобильного комплекса МЧС-ДТ.

дованием для обработки загрязненных поверхностей и емкостей горячей водой и перегретым паром; новыми высокопроизводительными системами получения горячей воды и перегретого пара; резервной системой получения горячей воды, а также системой холодного водоснабжения;

– модуль для локализации проливов и выбросов опасных веществ, санитарной обработки спасателей, персонала и населения: в состав оснащения модуля входят системы для создания защитных пенных экранов для локализации мест проливов и выбросов опасных веществ, а также для санитарной обработки спасателей, персонала и населения, обработки защитных комплектов, инструментов и оборудования;

– модуль плазмо-термической переработки (деструкции): сборы и смывы опасных веществ. Модуль оснащен трех- камерным плазмо-термическим реактором с двумя плазмотронами типа ТЕМП-50/3. Мощность модуля ДТ до 100 кВт при производительности 30 кг/ч по твердым отходам и 50 кг/ч по жидким отходам. Преимущества комплекса: не требуется тщательной сортировки отходов; сокращение объема отходящих газов и содержания в них опасных загрязнителей; компоновка в стандартном 20-футовом контейнере;

– модуль энергоснабжения: оснащен дизель-генератором для обеспечения электрической энергией технологических модулей комплекса. Переработанные комплексом отходы абсолютно нейтральны и не загрязняют окружающую среду.

Технологическая схема модуля плазмотермической переработки мобильного комплекса МЧС-ДТ показана на рис.9. Компоновка модуля на автомобиле МАЗ показана на рис.10.

Варианты исполнения и использования мобильных плазменных систем для переработки

отходов различного происхождения: мобильная установка для переработки хлор- и бромсодержащих отходов (E.S.T. Ltd., Израиль) (вариант 1); то же для переработки хлорсодержащих отходов (E.S.T. Ltd., Израиль) (вариант 2); мобильная плазменно-каталитическая установка с высокочастотным плазмотроном (Томск, РФ); мобильная установка МПУ-01/50 для уничтожения жидких отходов (Москва, РФ) (вариант 1); то же (вариант 2); модульный мобильный комплекс МЧС-ДТ для ликвидации техногенных аварий (Москва, РФ).

Выводы

Разработка и создание мобильных модульных плазменных установок целесообразно. Разработаны, созданы, проходят тестирование и эксплуатируются мобильные плазменные установки фирмы E.S.T. Ltd. (Израиль), МПУ-01/50 и АХОВ-МЧС-ДТ компании «ТехЭко-Плазма» (РФ) и ПКУ (Томский политехнический университет, РФ) для переработки токсичных отходов разного происхождения. Электрическая мощность систем 5–50 кВт, производительность по подаваемым жидким отходам (модельная смесь, промышленные сточные воды и др.) 10–50 кг/ч, объем отходящих газов 1300 м³/ч.

Для нагрева перерабатываемых отходов используются электродуговые плазмотроны типа ПДС-3/50 и Плутон-01 номинальной мощностью 50 и 20 кВт. Оптимальный расход плазмообразующего газа (воздуха) 2–15 м³/ч, расход технической воды на охлаждение плазмотрона 150–200 г/с, КПД 70 %, температура плазменной струи на выходе из сопла плазмотрона 4300–5000 К.

Смешение и нагрев отходов осуществляются в плазменных реакторах проточного и

противоточного типа, дисперсные и диспергированные потоки отходов подаются через сопло или пневматическую форсунку.

Дожигание и охлаждение отходящих газов выполняется в охлаждаемом закалочном устройстве или специальной камере дожигания с подачей дополнительного воздуха (и топлива). Температура отходящих газов на входе в систему газоочистки 150–520 °С.

Очистка отходящих газов реализуется сочетанием двух аппаратов, центробежно-барбатожно-аппарата (вихревого скруббера) и экологического фильтра, а также стандартными системами.

Для обеспечения полного сжигания реальных отходов и модельных смесей предусмотрена подача дополнительного воздуха от цеховой магистрали или дополнительной воздуходувки типа D 060M производительностью 1300 м³/ч воздуха при давлении примерно 0,1 МПа.

При переработке промышленных сточных вод и некоторых других отходов образуются соли, которые не выносятся с потоком отходящих газов, а оседают в реакторе. Требуется их непрерывное или периодическое удаление.

Для обеспечения более эффективного дожигания отходящих газов, образующихся при переработке имитатора реакционной массы (взвесь 10 % KF в дизельном топливе), закалочный модуль заменен камерой дожигания. В этом случае токсичные продукты удаляются из реактора и конденсируются в системе охлаждения.

По результатам выполненных работ показано соответствие установки экологическим нормативам. Получено разрешение Ростехнадзора

на применение установки на химически и взрывоопасных промышленных объектах, а также санитарно-эпидемиологическое заключение на технические условия и заключение промышленной безопасности.

Список литературы

1. Mosse A.L., Simon Y., Savchin V.V., Zinovenko I.N. Mobile Plasma Installation for Destruction of Toxic Halogenated Organic Wastes // Материалы IV Междунар. конф. «Сотрудничество для решения проблемы отходов», Харьков, Укр., 2007. — С. 80–82.
2. Zhdanok S.A., Mosse A.L. Plasma methods for wastes processing. — Plasma Assisted Decontamination of Biological and Chemical Agents, Springer Science + Business Media B.V., 2008. — P.143–149.
3. Пат. 2218378 РФ, МПК⁹ С 10 G 15/12, В 01 J 19/08, Н 05 Н 1/00. Способ утилизации нефтяных шламов и плазмокаталитический реактор для его осуществления / А.Г.Каренгин, А.М.Шабалин. — Оpubл. 10.12.03, Бюл. № 34.
4. Каренгин А.Г., Ляхова В.А., Шабалин А.М. Установка плазмокаталитической утилизации нефтяных шламов // Оборудование и технологии для нефтегазового комплекса. — 2007. — № 4. — С. 10–12.
5. Моссе А.Л., Савчин В.В., Ложечник А.В., Савченко Г.Э. Мобильная плазменная установка для уничтожения токсичных отходов // Экология плюс. — 2011. — № 6. — С. 22–24.
6. Моссе А.Л., Савченко Г.Э., Савчин В.В., Ложечник А.В. Мобильная плазменная установка для переработки токсичных отходов // Химия и хим. технология. — 2012. — Т. 55, вып. 4. — С. 56–63.

Поступила в редакцию 20.07.12

Mosse A.L.¹, Savchenko G.E.², Savchin V.V.¹, Levashov A.V.²

¹ Heat and Mass Transfer Institute, NASB, Minsk, Belarus

² JSC «TehEkoPlazma», Moscow, Russia

Mobile Plasma Systems. Variants of Design, Application and Comparative Analysis

The review of design and exploitation variants, as well as comparative analysis of mobile plasma systems for toxic liquid and gaseous wastes different origin processing and decontamination is executed. The results testing of mobile plasma complexes and units are educed. The expediency and efficiency of oil and coal slurries, liquid manufacture organic waste processing by plasma mobile installations is substantiated. Design mobility provides convenience transport, minimum installation place work, flexible adjustment of the process technological parameters with minimal adaptation expenses for the particular company. The obtained experimental results display the equipment conformance to environmental standards.

Key words: toxic waste recycling, mobile plasma installation.

Received July 20, 2012