

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования
«Южно-Уральский государственный университет»
(национальный исследовательский университет)
Факультет «Энергетический»
Кафедра «Теоретические основы электротехники»

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ
Заведующий кафедрой
_____/ С.А. Ганджа/
_____ 2019 г.

**ПОВЫШЕНИЕ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ УСТАНОВКИ ДЛЯ
СЖИГАНИЯ ОТХОДОВ "ПЛУТОН"**

**ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА
ЮУрГУ – 13.03.02.2019.122-200. ВКР**

Руководитель, доцент, к.т.н.
_____/ М.И. Грамм/
« ____ » _____ 2019г.

Автор
студент группы П-474
_____/ Р.Д. Белов/
« ____ » _____ 2019г.

Нормоконтролер, доц., к.т.н.
_____/ М.И. Грамм/
« ____ » _____ 2019г.

АННОТАЦИЯ

Белов Р.Д.. – Челябинск: ЮУрГУ, Э, П-474;
2019, 71 с., 37 ил., 3 табл., библиогр. список – 24
наим.

Целью выпускной квалификационной работы (ВКР) является повышение энергоэффективности весьма распространённой печи "Плутон" для пиролизного сжигания радиоактивных отходов путём расширения диапазона её применимости переоборудованием плазмотронной группы и цепей электропитания.

В данной ВКР рассмотрены общие вопросы классификации, назначения и областей применения установок для переработки отходов. Приведен литературный обзор печей для переработки радиоактивных, а также опасных медицинских отходов. Показано, что наименее экологически опасной является пиролизная переработка отходов в замкнутом изолированном пространстве с выходом образующегося при пиролизе газа – синтезгаза. Использование этого газа как энергоносителя повышает энергетические характеристики всего комплекса переработки. Рассмотрено устройство и технология переработки отходов печью "Плутон", а также возможности по улучшению её работы. Приведен вариант замены двух штатных плазмотронов на пароводяной плазменный модуль фирмы "ЭПОС Инжиниринг", а также указаны преимущества данного изменения технологии. Выбран и рассчитан источник питания для работы обновляемого плазменного модуля.

В программной среде Solidworks выбраны оптимальные параметры печи и подобраны теплоизоляционные материалы для улучшения её характеристик. Расчет печи выполнен весьма точным и производительным методом противоточного теплообмена (ПТТО) в печи шахтного типа, а также проведён тепловой расчет в программе Ansys Mechanical.

					13.03.02.2019.122-200 ПЗ ВКР			
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>	Повышение энергоэффективности печи "Плутон" для сжигания отходов	<i>Лит.</i>	<i>Лист</i>	<i>Листов</i>
<i>Зав кафедр</i>	<i>Ганджа С,А</i>					1	5	71
<i>Нормоконтр</i>	<i>Грамм М,И</i>							
<i>Руководит</i>	<i>Грамм М,И</i>							
<i>Разработал</i>	<i>Белов Р,Д</i>							
<i>Утв.</i>	<i>Грамм М,И</i>							
						ЮУрГУ Кафедра ТОЭ		

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	7
1. СУТЬ ГАЗИФИКАЦИИ МУСОРА.	11
1.1 Традиционный метод сжигания угля.....	11
1.2 Процесс плазменной газификации.....	12
1.3 Технология газификации	13
1.4 Методы переработки мусора	15
1.5 Особенности сбора и переработки мусора в различных государствах мира.	19
1.6 Заключение	20
2. АНАЛИТИЧЕСКИЙ ОБЗОР УСТАНОВОК ДЛЯ УТИЛИЗАЦИИ ОТХОДОВ.	22
3. УСТРОЙСТВО И ОБЩИЙ ВИД ПЕЧИ «ПЛУТОН».	27
3.1 Плазмотрон «Торнадо», используемый на установке «Плутон».....	32
4. РАЗРАБОТКА НОВОЙ СХЕМЫ РАБОТЫ ПЕЧИ. ВЫБОР ПЛАЗМОТРОНА ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ УСТАНОВКИ ПЛУТОН.....	34
4.1 Техническое описание конструкций пароводяных плазмотронов.	36
4.2 Плазмотроны прямого и косвенного действия.....	39
4.3 Выбор нового пароводяного плазмотрона для печи "Плутон"	40
5. РАСЧЕТ ПЛАЗМОТРОНА И ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЕГО ХАРАКТЕРИСТИК	43
5.9 Научно-исследовательская работа.....	54
6. СПЕЦИАЛЬНАЯ ЧАСТЬ ДИПЛОМНОГО ПРОЕКТА.....	57
6.1 Расчетная Часть. Противоточный теплообмен (ПТТО) в печи шахтного типа установка «Плутон».....	57
6.2 Моделирование печи в программной среде Ansys Mechanical.	61
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	68
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК	69

					13.03.02.2019.200 ПЗ ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		6

ных отходов (РАО). Именно как вариант решения этой проблемы и была создана установка «Плутон», являющаяся основным объектом для развития в данной выпускной квалификационной работе. Основной задачей установки «Плутон» считался переплав в нейтральное стекловидное состояние минеральных радиоактивных отходов. Успешному решению этой задачи способствовало применение высокоэффективных плазмотронов. В данном проекте предлагается вариант расширения возможностей этой установки за счёт перехода на более мощный плазмотрон с соответствующим переоборудованием футеровки печи и некоторых изменений в цепи питания печи. Поднятие характеристик установки «Плутон» подкреплено подробными расчётами и позволит расширить ассортимент перерабатываемых установкой отходов.

Общей задачей переработки отходов является уменьшение их объёмов и перевод в химически и физически стойкие формы для безвредного хранения или для полезного использования. При этом технология переработки должна предусматривать минимальное воздействие на окружающую среду. Распространённые в настоящее время технологии не только требуют значительных средств от местных структур и крупных промышленных компаний, но и сопровождаются значительным воздействием на окружающую среду. Основной причиной их слабых показателей являются низкие параметры существующих технологических линий, в частности, невысокие температуры в процессах переработки. Здесь и возможен прорыв на основе применения плазмотронов, при которых достижимая температура позволяет перейти к технологиям переработки, даже и не требующим предварительной сортировки отходов. Реализация последнего, как известно, во многих странах превратилось в существенное препятствие для механизации переработки.

Дополнительно к повышению параметров переработки с помощью плазмотронов был обнаружен технологический вариант плазменной обработки с дополнением плазменного факела водяным паром. Существенная интенсификация разложения отходов при высоких температурах добавлением водяного пара дала особенно перспективную технологию переработки, поскольку при этом значительно

					13.03.02.2019.200 ПЗ ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		8

возрастает выход попутного с высоким энергетическим потенциалом так называемого синтез-газа, сингаза. Он является смесью водорода и оксида углерода и оказывается ценным энергоносителем. Его замыкают в закрытый цикл с газотурбинным блоком, производящим электроэнергию. Такое замыкание почти исключает выбросы во внешнюю среду, ничтожный остаток которых совершенно неопасен ввиду химической нейтральности. Плазма с участием водяного пара в таком случае помимо теплоносителя приобретает и роль активного реагента. Именно поэтому новый процесс переработки и был назван газификационным.

Помимо плазменной переработки отходов в настоящее время применяются самые разнообразные технологии. Для преобразования отходов в нейтральную стабильную форму, пригодную для безопасного хранения, транспортировки и захоронения, отходы иммобилизуются разными методами в матричные материалы. Для этого применяют сжигание, прессование твердых отходов, извлекают радионуклиды из жидких радиоактивных отходов, переплавляют металлические отходы – все это примеры устоявшихся технологий переработки.

Значительно более современными и производительными являются методы переработки с использованием низкотемпературной плазмы в технологии обезвреживания не только обычных отходов, но и радиоактивных (РАО). Серьезное преобразование исходных РАО, сокращение их объема при высокой производительности процесса предоставляют высокие температуры (1500-1800°C), реализуемые в печах с интенсивным плазменным нагревом. При этом удаётся значительно сократить размеры оборудования технологических установок, резко уменьшить объем отходящих газов в сравнении с установками с обычным огневым нагревом, осуществлять процессы в любой необходимой газовой атмосфере (в зависимости от вида плазмообразующего газа) поскольку все процессы идут в герметически замкнутых объёмах.

Плазменные газификационные технологии позволяют преодолеть трудности переработки отходов, содержащих в базовом варианте РАО среднего уровня радионуклиды продуктов деления урана – ^{137}Cs , ^{134}Cs , ^{90}Sr . Помимо этих продук-

					13.03.02.2019.200 ПЗ ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		9

тов, значительный вклад могут вносить α -излучающие радионуклиды тяжелых металлов (актининов), а также ^{60}Co , ^{144}Ce , ^{54}Mn , ^{59}Fe и другие радиоактивности с длительными периодами полураспада. Перевод таких материалов в стекловидную массу в результате воздействия высоких температур обеспечивает возможность их безопасного захоронения.

Реализация газификационных плазменных технологий достаточно сложна и связана с формированием больших электротехнологических комплексов по переработке различных видов отходов. Комплексы содержат плазменные электропечи с выходом расплавов шлака, электродугую пароводяную плазменную горелку и системами электроснабжения, газоснабжения и водоснабжения.

Известно, что плазменный нагрев является достаточно энергоемким, следовательно, большое значение приобретает изучение и оптимизация всей плазменной технологии. Изложенное выше свидетельствует о высокой актуальности внедрения процессов плазменной газификации переработки отходов.

Цель данной ВКР заключается в решении важной технологической задачи по повышению энергоэффективности установки "Плутон" за счет замены двух плазмотронов мощностью $P=100-150$ кВт на пароводяной плазмотрон мощностью $P=200-250$ кВт. Этим достигается расширение диапазона применения установки для переработки многих видов отходов, а также обеспечивается выход сингаза, использование которого улучшает энергоэффективность всей технологии переработки. Оптимизация позволит максимально использовать установку, сократив время простоев в отсутствие РАО.

					13.03.02.2019.200 ПЗ ВКР	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		10

1. СУТЬ ГАЗИФИКАЦИИ МУСОРА.

Плазменная технология является достаточно простой. Высокие токи (высокое напряжение) создают дугу высокой интенсивности между двумя электродами которая, в свою очередь, вырывает электроны из воздуха и преобразует газ в плазму.

Плазма – это четвертое агрегатное состояние вещества. Ионизированный газ, который содержит ионы, электроны, атомы и нейтроны. При прохождении газа через электрический разряд, нейтральные атомы расщепляются на заряженные ионы. Плазму можно увидеть невооруженным глазом: она меняет свой цвет от бело-голубого до темно-пурпурного, в зависимости от типа газа. Каждый из нас не раз сталкивался с этим четвертым состоянием: пламя огня или вспышка молнии ни что иное, как атмосферная плазма, солнце, согревающее нас, является огромным сгустком разряженного газа (плазмы).

1.1 Традиционный метод сжигания угля

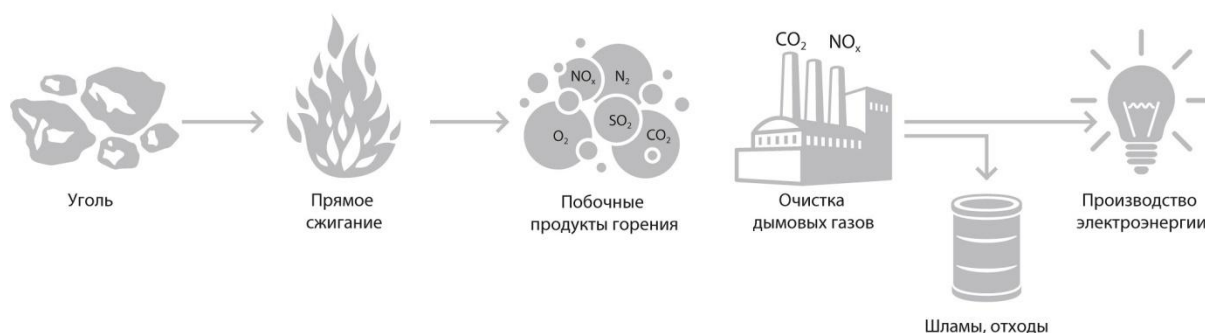


Рис. 1.1 —Метод сжигания угля

Традиционный метод сжигания угля основан на процессе окисления, который выделяет значительное число тепловой энергии, а также газов, такие как ТБО и оксидов различных соединений. Эти газы представляют огромную опасность для экологии.

Вести контроль за выбросами дымов газов достаточно проблематично, поэтому сжигание угля влечет за собой ухудшение окружающей среды. Для этого ,чтобы решить проблему экологии, государство пытается использовать метод газификации и приблизиться к развитым странам по сжиганию отходов.

									Лист
									11
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата					

13.03.02.2019.200 ПЗ ВКР

Метод газификации отходов имеет ряд преимуществ экономических и экологических при использовании более системной работы по переработке сырья.

1.2 Процесс плазменной газификации

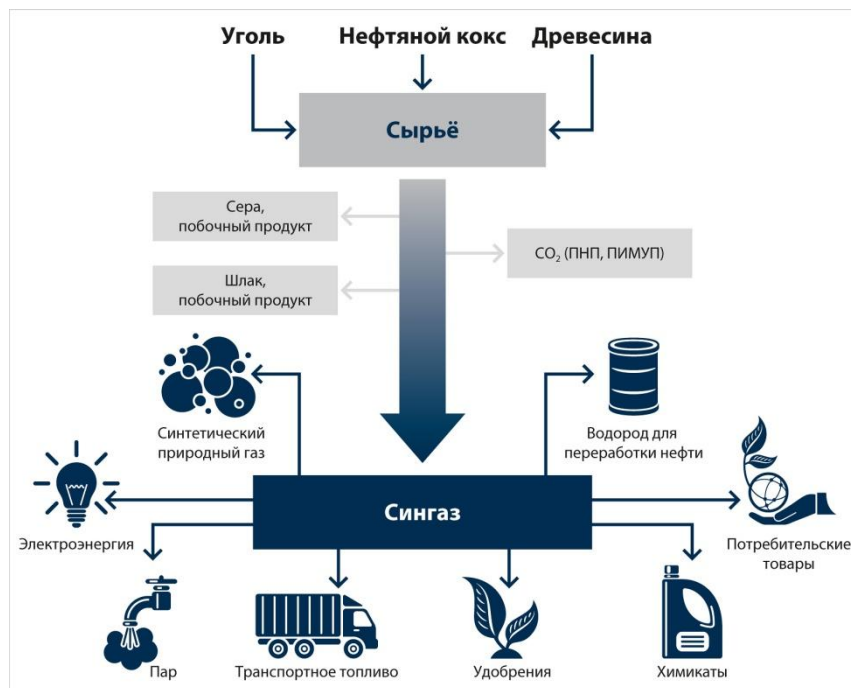


Рис. 1.2 —Процесс газификации

Метод газификации – это процесс , в котором сырьё (нефть, древесина или уголь), а также горячие вещества перерабатывают в синтез-газ. Затем он используется для получения экологически чистых и дорогих продуктов (моторное масло, садовые удобрения, а также некоторые виды газов и др).

Процесс газификации экологически безопасен, почти не выделяет выбросов, в отличие от метода указанного выше, продукты которые выделяются при сжигании методом газификации также безопасны для природы. Широкое применение этот метод нашел в промышленности, его используют в химических, металлургических и во многих других производствах[16].

Достоинствами метода газификации радиоактивных и медицинских отходов является:

- Низкий процент выбросов (почти равен нулю)
- Экологически чистый метод

1.4 Методы переработки мусора

Производительная утилизация отходов — огромный шаг на пути улучшения экологии. Существует много способов переработки мусора. Главная задача каждого из методов состоит в том, чтобы выполнить поставленную задачу, не допуская распространения вредных бактерий и микроорганизмов. При этом нужно минимизировать и выделяющиеся при самой утилизации вредные вещества. Рассмотрим варианты уничтожения отходов и оценим их эффективность.

- Захоронение отходов на полигонах

Полигоны служат для сбора и переработки мусора природным путем. На многих из них практикуется очень простая и понятная система утилизации: как только соберется определенный объем мусора, его закапывают. Мало того, что этот метод устаревший, он фактически формирует бомбу замедленного действия. Известно, что есть материалы, не разлагающиеся десятилетиями. Те немногие полигоны, которые имеют в своем распоряжении цеха по сортировке мусора, работают следующим образом: приезжающие машины регистрируют на пункте пропуска. Там же измеряется объем кузова для определения стоимости утилизации; измеряется уровень радиации. Если он превышает допустимые нормы, машину не пропускают.

От пропускного пункта машина направляется в цех сортировки мусора. Сортировка происходит вручную: машина подает мусор на транспортировочную ленту, а работники оттуда выбирают бутылки, бумагу и т. д. Отсортированные материалы складывают в контейнеры без дна, из которых мусор попадает сразу в клетку и под пресс. Когда процесс окончен, оставшиеся отходы (не вошедшие ни в одну из категорий) также спрессовывают и отвозят непосредственно на свалку. Так как долго разлагающиеся материалы отсортированы, оставшийся мусор можно засыпать землей.

Материалы, которые принимают на полигонах:

									Лист
									15
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	13.03.02.2019.200 ПЗ ВКР				

- Бытовые отходы жилых домов, учреждений, предприятий, занимающихся торговлей пром- и продтоваров.
- Отходы строительных организаций, которые могут быть приравнены к твердым бытовым отходам.
- Могут приниматься промышленные отходы 4 класса опасности, если их количество не превышает третьей части принимаемого мусора.

Отходы, ввоз которых запрещен на полигон:

- Строительный мусор 4 класса опасности, который содержит асбест, золу, шлаки.
- Промышленный мусор 1, 2, 3 класса опасности.
- Радиоактивные отходы.
- Полигоны устраиваются согласно строгим санитарным нормам и только на тех участках, где риск заражения человека бактериями через воздушное или водное пространство сводится к минимуму.
- Занимаемая площадь рассчитана примерно на 20 лет.
- **Компостирование**

Этот метод переработки знаком огородникам, которые для удобрения растений применяют перегнившие органические материалы.

Компостирование отходов — метод утилизации, заключается в естественном разложении органических материалов. Простой и малозатратный способ преобразования органических материалов в смесь для улучшения качества почвы. Способ преобразования органических продуктов при помощи микроорганизмов в смесь, которую можно использовать при выращивании растений.

Сегодня известен способ компостирования даже неотсортированного потока бытовых отходов. Из мусора вполне реально получить компост, который впоследствии мог бы использоваться в сельском хозяйстве. В 20 веке было выстроено огромное количество заводов, но они закончили функционировать из-за большого количества тяжелых металлов в мусоре.

					13.03.02.2019.200 ПЗ ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		16

Технологии компостирования в наше время в России сводятся к сбраживанию неотсортированного мусора в биореакторах. Данный продукт нельзя будет применять в сельском хозяйстве, поэтому ему находят применение здесь же, на свалках, которым покрывают отходы.

- Сжигание ТБО

Сжигание ТБО – данный способ утилизации считается эффективным при условии, что завод оборудован сверхтехнологичными установками. Из отходов в первую очередь удаляют металлы, аккумуляторные батареи, а также пластмассу.

Преимущества сжигания отходов:

- уменьшает объёмы отходов;
- уменьшение массы вредных бактерий и выбросов;
- предотвращение образования свалочного газа;
- возможность работать в любую погоду на линиях мусоросжигательных заводов;
- эффективная утилизация металлов;
- возможен компьютеризированный мониторинг;
- обеспечивается лучший контроль над шумом и запахами;
- полученные отходы не привлекают животных и птиц;
- экономия при транспортировке переработанных отходов;
- производство тепловой и электрической энергии;
- возможность использования золы.

Недостатки технологии сжигания:

- это дорого;
- строительство занимает более 3-5 лет;
- значительно загрязняет окружающую среду;
- возникновение долгосрочных проблем из-за перегрева, тления;
- зола может нанести вред людям и окружающей среде;
- трёхменная работа персонал и трудности поддержания работоспособности при нерегулярной загрузке.

					13.03.02.2019.200 ПЗ ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		17

Из-за дефицита городских бюджетов, несогласованности с мусороперерабатывающими компаниями и по иным причинам в Российской Федерации пока не налажено промышленное производство мусоросжигающих заводов.

- Пиролиз, его виды и преимущества

Пиролизом называют сжигание мусора в специальных камерах, которые препятствуют доступу кислорода. Существует несколько видов пиролиза:

- 1) Низкотемпературный – температура сжигания в печи от 450 до 900°C.
- 2) Высокотемпературный – более 900°C.

Преимущества пиролиза:

- в окружающую среду не поступают продукты горения, не происходит загрязнение природы и не наносится вред здоровью людей;
- не содержат агрессивных веществ, легко складировать даже под землей;
- более значительно уменьшается объем образуемых материалов в сравнении с методом сжигания;
- практически безотходный, создающий циклический механизм переработки твердых бытовых отходов.

Недостатки пиролиза:

- сложность печей;
- высокая стоимость оборудования;
- необходимость большого количества работников.

Достоинства есть у всех способов переработки мусора, но все упирается в стоимость установок: чем продуктивнее и выгоднее метод утилизации, тем дороже его установка и длиннее срок окупаемости. Невзирая на эти недостатки, администрации и правительства стремятся осуществить проекты по наиболее эффективной и безопасной переработке мусора, доступной по объемам капитальных затрат, что обычно предопределяет использование перспективных технологий.

					13.03.02.2019.200 ПЗ ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		18

1.5 Особенности сбора и переработки мусора в различных государствах мира.

Самый распространенный способ утилизации, например, радиоактивных и медицинских отходов – это сжигание. Известно огромное количество заводов по сжиганию такого рода ТБО, но этот способ, так же как и захоронение мусора, губителен для экологии. К слову, закапывать в землю можно лишь разлагаемый мусор, но соблюдается это правило отнюдь не во всех государствах. Переработка отходов для вторичного использования, является оптимальным методом утилизации отходов. Заводов по переработке мусора в мире мало, а ведь именно этот метод работы с отходами поможет сохранить экологию и создать баланс в отношениях между человеком и природой.

В США довольно широко используют метод сортировки мусора. Процесс очень оптимизирован и облегчен, ведь свое начало сортировка берет на этапе выброса отходов. Законодательство и многих других стран обязывает граждан сортировать мусор в разные тары и мешки, у которых есть свой цвет и обозначение.

Сбор отходов в США происходит в пластиковые пакеты, их отправляют в контейнеры, которые есть около каждого дома. Государственные службы отвозят контейнеры на сортировку, чтобы отправить мусор на переработку. Отходы из: бумаги, пластика, бутылки используются для изготовления вторичных товаров с пометкой «сделано из мусора». А остальные отходы утилизируют методом захоронения.

Например, во Франции правительство не остаётся равнодушным к проблемам сбережения окружающей природы, поэтому каждый бак для отходов в стране снабжен специальным чипом.

В Японии к мусору относятся очень трепетно. Чего только стоит нашумевший скандал о человеке, который выбрасывал мусор в неполюженном месте. Полиция сделала ему предупреждения, но он их игнорировал. Дело закончилось тюремным заключением.

					13.03.02.2019.200 ПЗ ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		19

Особенностью системы сбора мусора в Финляндии являются уличные емкости, похожие на небольшие ящики, которые находятся под землей. К некоторым контейнерам подводят специальные безвоздушные трубы, благодаря им отходы сразу попадают на предприятия по переработке. Скорость движение мусора составляет около 30 м/с.

Австрия является одним из лидеров по сортировке отходов. Вопросом сортировки мусора здесь занимаются местные муниципальные и частные компании. Половина отходов страны сжигается. Например, в Вене работают четыре мусоросжигательных завода. Кроме этого в Австрии хотят прийти к отказу от использования полезных ископаемых в энергетике. Для этого хотят использовать альтернативные источники. В том числе и энергию сжигаемого мусора.



Рис 1.4 – Мусоросжигательный завод Шпиттелау

Швеция является одним из флагманов в сборе мусора. В стране перерабатывают практически все отходы. Около половины из них используется для получения электрической и тепловой энергии. Сбор мусора в Швеции полностью соответствует стандартам, принятым на территории Европейского Союза.

1.6 Заключение

Для того, чтобы решить проблему переработки мусора нужно, чтобы все жители государства стремились жить в чистоте, только тогда они будут выполняться

										Лист
										20
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	13.03.02.2019.200 ПЗ ВКР					

простые правила для утилизации и переработки отходов. Но до полного массового понимания человечеством проблем, вызванных неуклонным накоплением мусора, еще далеко. Остается только надеяться на то, что мы сможем заставить всех людей перерабатывать мусор и беречь экологию еще до того, как будем завалены в собственных отходах.

Я считаю чтобы решить эту проблему с мусором в нашей стране необходимо:

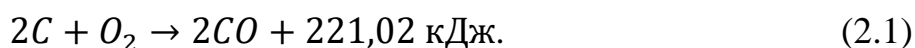
1. Достаточное количество заводов по переработке мусора
2. Мусорные баки для отдельного сбора мусора
3. Сознательность каждого человека (отдельный сбор мусора дома)
4. Минимизация отходов.

					13.03.02.2019.200 ПЗ ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		21

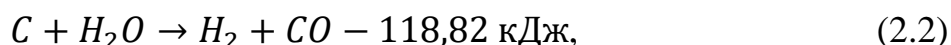
2. АНАЛИТИЧЕСКИЙ ОБЗОР УСТАНОВОК ДЛЯ УТИЛИЗАЦИИ ОТХОДОВ.

Современные способы переработки отходов основаны на пиролизе, с помощью технологии газификации, при это образуется синтез-газ, пригодный для получения электрической энергии. В линии газификации вторая высокотемпературная стадия (рис.1.3) обеспечивает полное обезвреживание радиоактивных и медицинских отходов от образования диоксинов и фуранов. Выбросы электростанций на сингазе, образующемся при сжигании ТБО, в несколько раз меньше по объему и вредности, чем выбросы угольных тепловых электростанций.

Газификация угля основана на неполном сжигании до монооксида углерода:



В случае пароводяной газификации реакция усложняется:



В эндотермическом процессе температура поддерживается около 1000°C. Происходит это за счет термической плазмы горения или внешних источников. Процесс по (2.1) даёт небольшую теплоту $Q_{\text{сгорания}} < 4 \text{ МДж/м}^3$ из-за большого содержания азота. При химической реакции (2.2) при использовании $H_2 + CO$, получаем более значительную теплоту $Q_{\text{сгорания}} < 11,1 \text{ МДж/м}^3$. При этом продукт по содержанию водорода близок по составу к обычному углеводородному топливу.

Плазменная газификация характеризуется тем, что тепло для поддержания эндотермической реакции образования синтез-газа из углеродсодержащего сырья, например, согласно реакции (2.1), вводится в систему с плазмой (в данном случае – пароводяной), а не за счет сжигания части этого сырья.

Рассмотрим виды установок предназначенных для сжигания радиоактивных и медицинских отходов:

									Лист
									22
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	13.03.02.2019.200 ПЗ ВКР				

Первая установка была разработана в конце 20 века фирмой MGC Moser-Glaser. Она внедрила установку высокотемпературного обезвреживания опасных отходов мощностью 1 т/ч (рисунок 2.1). Данная установка получила название «Плазмокс». Центральным элементом установки является центрифуга с установленной в ней плазменной горелкой. Отходы в бочках подаются питателем в медленно вращающуюся водоохлаждаемую центрифугу, где распределяются на подине печи. Пиролиз мусора осуществляется с помощью агрегата, в котором есть плазмотрон, плазмохимический реактор и закалочное устройства. Плазменная горелка постоянного тока мощностью 1,2 МВт нагревает материал и разрушает токсичные органические вещества.

На поде печи образуется расплав минеральных компонентов с температурой около 1600°C. Термическая деструкция органических компонентов осуществляется основной 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, где находятся в течение 2 с при 1200 °С.

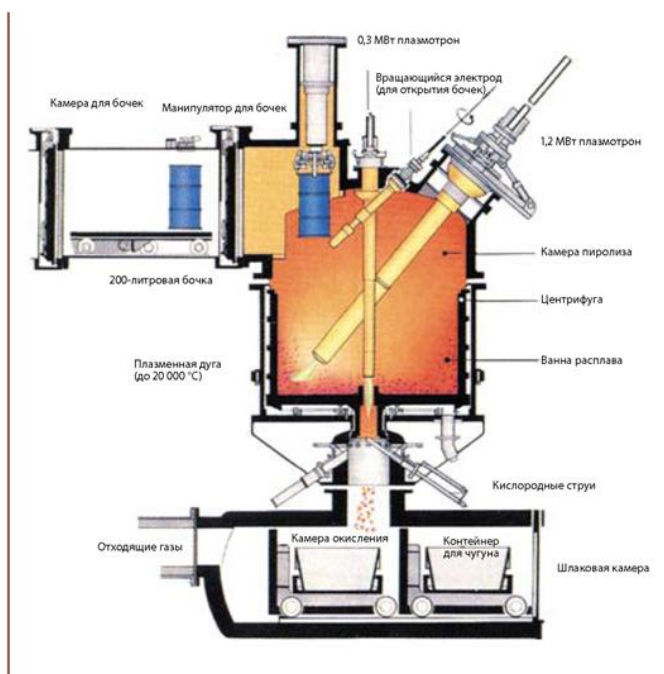


Рис. 2.1 – Установка «Плазмокс»

									Лист
									23
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	13.03.02.2019.200 ПЗ ВКР				

Плазмаагрегат работает следующим образом: ионизированный газ нагревается в плазмотроне до температуры около 3000 – 5000°С, затем эта низкотемпературная плазма поступает в плазмохимический реактор, откуда форсунками впрыскиваются хлорорганические отходы.

Производительность установки по отходам - 750 кг/ч, Затраты энергии на переработку отходов около 2 кВт·ч/кг. Процесс является закрытым, безотходным, рентабельным. Установка довольно широко применяется на химических и нефтехимических заводах.

Разработана фирмой Europlasma установка для переработки радиоактивных отходов и веществ (рис. 2.2). Нелетучие минеральные компоненты, в том числе соли тяжелых металлов, вынимают из печи в виде вторичного продукта, а летучие вещества такие как: кадмий, ртуть и свинец после системы сорбции и улавливания собираются для последующей упаковки, утилизации или захоронения.

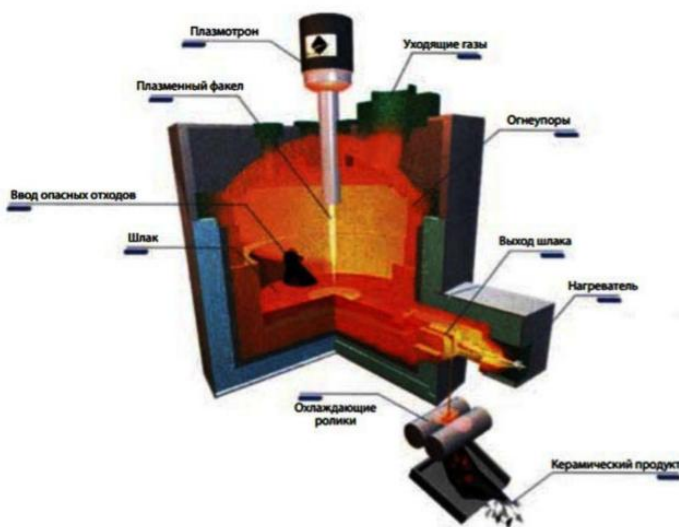


Рис. 2.2 – Плазменная печь фирмы EUROPLASMA

Специалистами Института тепло- и массообмена им. А. В. Лыкова и ООО «Плазмактор» (г.Минск, Беларусь) разработана, изготовлена и испытана плазменная камерная печь периодического действия мощностью до 50 кВт и производительностью 20-30 кг/ч, показанная на рисунке 2.3. Печь предназначена для обезвреживания сравнительно небольших объемов медицинских и биологических отходов. После загрузки отходов в количестве примерно 10-15 кг и включения

										Лист
										24
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	13.03.02.2019.200 ПЗ ВКР					

плазмотрона цикл их переработки (сжигания) составляет примерно 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.

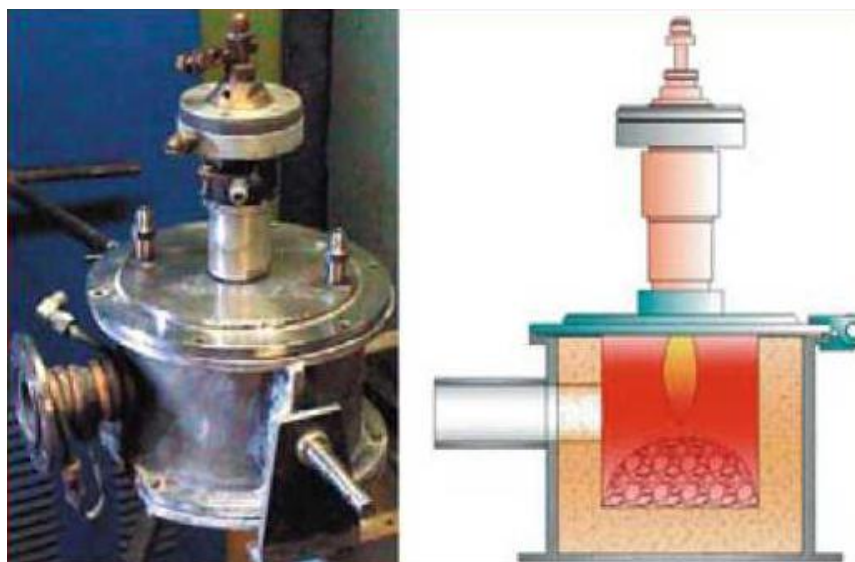


Рис. 2.3 – Плазменная печь для обезвреживания медико- биологических отходов

На рисунке 2.3. изображена схема плазмохимического реактора с жидкометаллическими электродами. Внутри стального герметичного корпуса, футерованного огнеупорным кирпичом, находятся две реакционные камеры со специальными ваннами. Прежде чем первый раз запустить плазмохимический реактор в ванны помещается металлический лом, а водоохлаждаемый канал помогает зажечь электрическую дугу между этими ваннами.

Отходы подаются на поверхность расплавленного металла. Плазмохимическая реакция газификации протекает в камерах реактора при температуре 1300-1500°C. Продукты газификации выводятся из камер плазмохимического реактора и поступают в систему газоочистки. В течение работы на поверхности металла образуется слой расплавленного шлака. Необходимо удалять шлак, как только он накапливается, за счет устройства шлакоудаления. Или же он должен устраняться постоянно для установок большой производительности.

										Лист
										25
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	13.03.02.2019.200 ПЗ ВКР					

Далее приведен реактор мощностью на 500 кВт для утилизации вредных и опасных веществ, который имеет несколько отличительных преимуществ в сравнении с аналоговыми установками:

1. Полное отсутствие эрозии электродов;
2. Возможность использования водяного пара в качестве плазмообразующего газа.



Рис. 2.4 – Плазмохимический реактор для утилизации токсичных отходов

Заключение

Приведён литературный обзор печей для сжигания отходов. Практически все они являются печами для пиролизного сжигания радиоактивных и опасных медицинских отходов.

Эти высокотемпературные установки, разработаны как в нашей стране, так и за рубежом и находят довольно широкое применение. Однако, повсеместное и стандартизованное практическое распространение высокотемпературных плазменных установок различного назначения сдерживается в связи с обозначенными проблемами, а именно отсутствием надёжных дуговых плазмотронов с достаточным ресурсом непрерывной работы.

									Лист
									26
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	13.03.02.2019.200 ПЗ ВКР				

3. УСТРОЙСТВО И ОБЩИЙ ВИД ПЕЧИ «ПЛУТОН».

Установка «Плутон» разработана на предприятии «Радон». Это предприятие представляет собой единый научно-технологический комплекс, соответствующий всем международным стандартам. Предприятие обладает уникальными технологиями удаления и хранения РАО, создавая, таким образом, надежный радиационный щит Москвы. Опираясь на положительный опыт, на базе НПО в Сергиево-Посадском районе Московской области создан региональный центр подготовки специалистов в области обращения с РАО для стран Восточной Европы и постсоветских стран на территории СНГ.

Сотрудники «Радона» активно привлекаются в качестве экспертов по решению различных технических проблем и аудита международных проектов. Такое предприятие является победителем конкурса МАГАТЭ (Международное агентство по атомной энергии) по созданию модульных мобильных установок очистки жидких радиоактивных отходов (ЖРО) за рубежом. Пять линий таких технологий поставлены в Бангладеш Иран, Сербию, Сирию и Узбекистан.

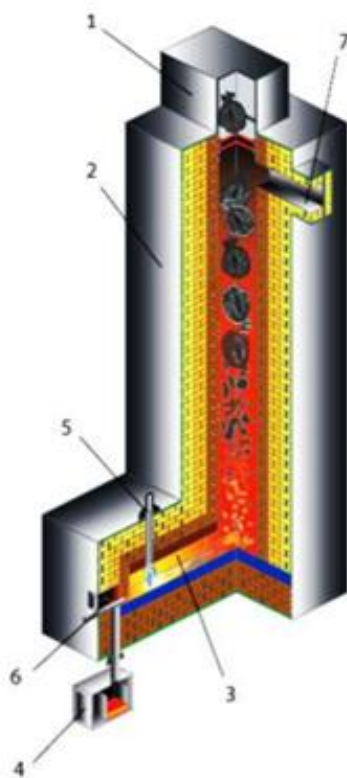


Рис. 3.1 –Шахтная печь «Плутон»

					13.03.02.2019.200 ПЗ ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		27

Плотность шлака составляет 2,5-3,5 г/см³. Это – весьма химически стойкий материал. Темп выщелачивания натрия из шлака в воду, одного из наиболее «подвижных» элементов, в среднем значительно ниже аналогичного показателя для боросиликатных стекол и на два-три порядка ниже, чем у цементных матриц.



Рис. 3.2 – Шлак в контейнерах

Удельная активность ТРО, отбираемых для термической переработки, ограничивается, согласно условиям действия лицензии, значениями $2,2 \cdot 10^5$ Бк/кг по α -излучающим радионуклидам и $3,7 \cdot 10^6$ Бк/кг по β -излучающим радионуклидам.

На установке «Плутон» кроме переработки радиоактивных отходов были проведены испытания медико-биологической переработки отходов. При этом особое внимание было уделено качеству очистки отходящих газов, что отразилось на сложной схеме очистки (рис. 3.3).

Содержание вредных веществ в газах на выходе газоочистки из печи установке «Плутон» не превышает 0,17 нг/м³. При том, что допустимые нормативы на вредные вещества установленные для предприятий, равняются 0,85 нг/м³. Следовательно, установка имеет очень хорошие показатели по выбросам и практически безвредна для окружающей среды. Выбросы в атмосферу также получились меньше допустимой доли содержания вредных веществ.

«Плутон» является первой установкой, сделанной специально для атомной промышленности. Подобного оборудования в этой отрасли до этого не было. Существуют аналоги для переработки ядерного топлива, но они никак не могут быть использованы для переработки РАО на атомных станциях.

										Лист
										29
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата						

13.03.02.2019.200 ПЗ ВКР

В этом варианте устанавливается трехъярусное размещение тепловых фурм для подачи горячего водяного пара. Используются плазменные источники тепла с жидким шлакоудалением, с принудительным охлаждением гарнисажной футеровки плавильной камеры и высокотемпературной зоны шахты, с нижним отводом синтез-газа после прохождения зоны высокотемпературной блокировки.

В настоящее время решение актуальной проблемы широкого выпуска и внедрения пиролизных установок близких по своим данным к установке «Плутон» в процессы переработки отходов в разных местностях должно стать содержанием целевой государственной экологической программы и базироваться на законодательной базе, которая в этой связи потребует существенной доработки.

Около 10 лет назад плазменным методом в шахтной печи установки «Плутон» перерабатывались такие «неудобные» для других высокотемпературных технологий отходы, как активированный уголь, неорганические сорбенты и донные отложения (шлам), сбрасываемые из специальных систем очистки сточных вод. Эти виды отходов характеризуются высоким содержанием влаги (до 90%), в сухом остатке шлам доля органических веществ достигает 50%.

Предварительно сжатые смешанные отходы успешно перерабатываются плазменным методом после извлечения из контейнера и переупаковки в крафт-мешки, а также отходы, подвергнутые суперкомпрессии в металлической упаковке. Проблема переработки вышеуказанных видов радиоактивных отходов очень важна для атомных электростанций. Плазменная технология может значительно снизить ее тяжесть.

Специалистами предприятия была разработана и активно используется плазменная технология переработки радиоактивных отходов. Достоинствами разработанного плазменного шахтного процесса :

- нет необходимости тщательно сортировать отходов;
- возможность получить конечный продукт нужного качества в одной установке без дополнительных стадий;

										13.03.02.2019.200 ПЗ ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата							31

- Значительное сокращение (в 1,5–2 раза) объема отходящих газов в при использовании плазменных источников нагрева вместо топливных устройств.

Из приведенного выше ряда преимуществ сделаем вывод, что технология сжигания отходов плазменным методом позволяет эффективно перерабатывать как радиоактивные, так и опасные промышленные, медицинские и бытовые отходы. Таким образом, сегодня «Радон» представляет собой коллектив специалистов высокого уровня. В нем есть трудовые династии. Высокая культура производства, постоянное внедрение инновационных форм деятельности и богатые традиции способствуют решению задач любой сложности.

3.1 Плазмотрон «Торнадо», используемый на установке «Плутон»

Предприятием «Радон» для установки «Плутон» был разработан достаточно мощный плазмотрон «Торнадо».

Источник питания для него – постоянного тока любого типа (тиристорный, диодный с реактивным балластным сопротивлением), обеспечивающий поддержание рабочих параметров в пределах указанных в таблице 1.

Его различие является в возможности заглубления корпуса в футеровку печи для повышения теплоотдачи от плазменного факела и поверхности расплава.



Рис. 3.3 – Плазмотрон «Торнадо»

										Лист
										32
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	13.03.02.2019.200 ПЗ ВКР					

Таблица 3.1 - Технические характеристики плазмотрона «Торнадо»

Параметры	Значения параметров
Электрическая мощность, кВт	100-150
Рабочий ток, А	100-180
Рабочее напряжение, В	300-600
КПД, %	40-60
Ресурс непрерывной работы плазмотрона, ч	не менее 50
Ресурс анода	350
Расход водяного пара, кг/ч	12-30
Длина факела, мм	200...350
Температура водяного пара, °С	200-250
Расход защитного газа (азот, аргон), г/с	0,5-1,0
Стабилизация дугового разряда	вихревая
Охлаждение	Водяное, замкнутое
Способ запуска плазмотрона	Осцилляторный
Масса, кг	20
Габаритные размеры, Д·Ш·В, мм	820·175·195

Как видно по таблице 3.1 плазмотрон «Торнадо» представляет собой весьма мощный источник высокотемпературного факела, достаточный, как следует из расчётов и из опыта эксплуатации установки «Плутон». Вместе с тем, представляется возможным на его конструкционное место установить более мощное устройство с более развитыми техническими параметрами.

4. РАЗРАБОТКА НОВОЙ СХЕМЫ РАБОТЫ ПЕЧИ. ВЫБОР ПЛАЗМОТРОНА ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ УСТАНОВКИ ПЛУТОН.

Плазмотрон – устройство, генерирующее плазму. Плазма — «четвёртое состояние вещества», среда, состоящая из отрицательных и положительных частиц, образующих ионизированный газ. При малом объёме, по сравнению с общей субстанцией, плазма обладает нулевым зарядом.

По конструкции плазмотроны бывают двух видов:

- прямого действия
- косвенного действия

Кожух плазмотрона (рис.4.1) содержит анод. Катодом служит головка устройства. Между катодом и анодом приложено напряжение, вызывающее электродугу и рабочий плазменный разряд. Он преобразует проходящий газ в ионизованную струю плазмы с температурой 3000 – 4000 С°. Обработываемая деталь подвергается действию этой струи, истекающей из пароводяного плазмотрона.

Общее устройство плазмотрона:

- стержневой графитовый катод;
- дуговая камера с вихребразователем для создания плазмы;
- сопло, - разгоняет поток ионизированного газа, формирует его толщину;
- элементы подвода газа, охладителя (вода);
- электрокабель.

Одним из важнейших компонентов является воздух или избранные по технологии защитные газы. Для охлаждения пароводяного плазмотрона используется вода, затем она превращается в пар и поступает в вихревую камеру.

					13.03.02.2019.200 ПЗ ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		34



Рис. 4.1 – Устройство плазмотрона

Принцип работы плазмотрона:

1. Газ (воздух) под большим давлением проходит вихреобразователь, а потом попадает в дуговую камеру.
2. Дуга зажигается между катодом и анодом, создавая электрический разряд. Эта дуга не задевает поверхностей сопла из-за вихревого потока газов.
3. При высокой температуре и большом выделении тепла образуется ионизированный газ, считающийся в физике низкотемпературной плазмой.
4. Сопло предназначено для концентрации плазмы и придания скорости тепловому потоку.

Электродуга, действуя на обдуваемый ею массив, разрушает или плавит его материал. Быстрый поток ионизированного газа преобразует, например, массив отходов воздействием высокой температуры в расплав шлака и в смесь водорода и кислорода над расплавом – происходит газификация материалов переработки.

									Лист
									35
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	13.03.02.2019.200 ПЗ ВКР				

4.1 Техническое описание конструкций пароводяных плазмотронов.

Пароводяной плазмотрон использует в качестве рабочего тела паровой газ. Водяная система регенерацией пара позволяет добиться высокой степени сжатия столба электродуги. Обычно в конструкции применяется графитовый электрод, подаваемый в зону горения автоматически (рис.4.2). Ускоренному сгоранию углерода способствует наличие высокотемпературного водяного пара.

Несмотря на довольно сложную конструкцию, паровой плазменный резак является одним из самых востребованных устройств на производстве.

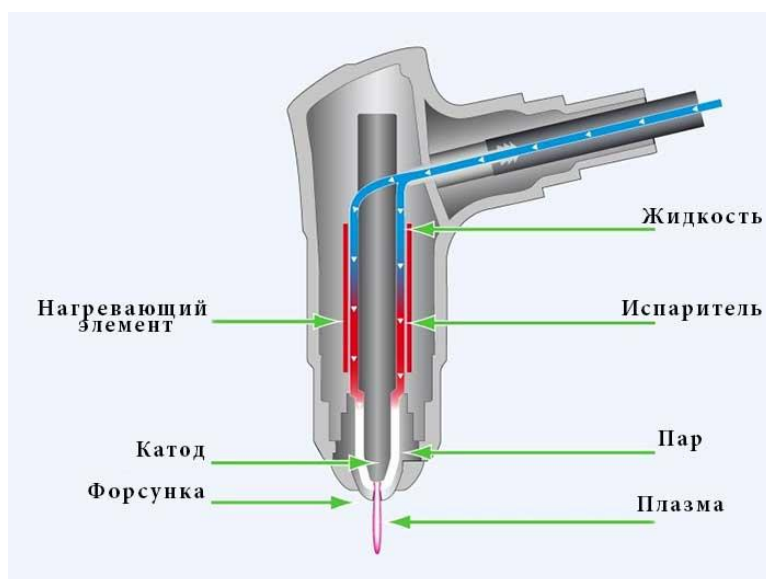


Рис. 4.2 – Структура пароводяного плазмотрона

Электродуговой плазмотрон постоянного тока ЭДП-217 (рис 4.3) мощностью 150 кВт, состоит из следующих узлов и деталей:

1. катод;
2. впрессованная вставка;
3. разделительная диафрагма;
4. вихревая камера;
5. анод;
6. штуцера подачи воздуха, напора и слива воды;

Анод состоит из корпуса анода, обтекателя, анодной вставки, фланца анода, распорного фланца, заглушки и контактного винта. Анодная вставка и контакт-

теплового экрана. Он теплоизолирует пароплазменную среду в разрядной камере от холодной поверхности водоохлаждаемой медной обоймы катода и препятствует конденсации пара на ее стенках, вследствие плохой теплопроводности нержавеющей стали.

4.2 Плазмотроны прямого и косвенного действия

В плазмотронах с дугой прямого действия электрическая дуга вынесена за пределы разрядной камеры и опорное пятно дуги привязано к подовому электроду.

Для переработки отходов в различных печах используют плазмотрон типа МР-1, который используется в качестве катода. В качестве анода используется непосредственно подовый графитовый электрод, который устанавливается в корпусе печи. Анодный потенциал подводится через подовый электрод или электропроводящую подину. Плазмотрон прямого действия, фото которого показано на рис. 4.5, конструктивно представляет собой катодный узел. Катод плазмотрона стержневого типа выполняют из торированного вольфрама.

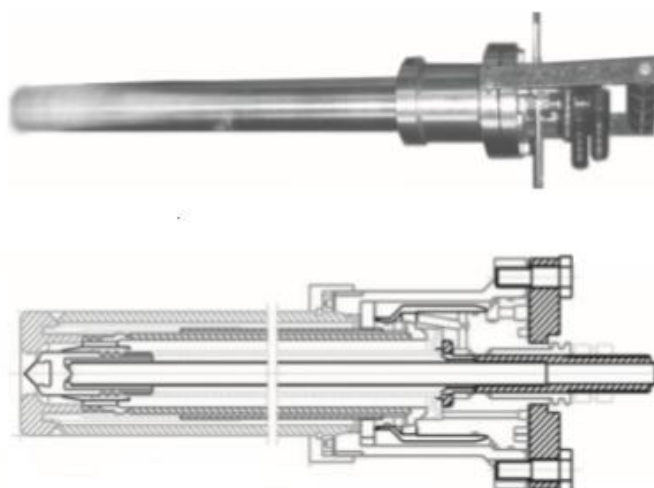


Рис. 4.5. Схема плазмотрона прямого действия

Мощность плазмотрона – от 50 до 300 кВт и может регулироваться в пределах $\pm 30\%$; сила тока – до 1,5 кА; напряжение – до 250 В; расход плазмообразующего

									Лист
									39
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	13.03.02.2019.200 ПЗ ВКР				

газа – аргона – 0,5–1,0 г/с. В качестве плазмообразующих могут использоваться также восстановительные газы и различные смеси газов.

Также, на рис. 4.6 покажем схему плазмотрона комбинированного действия, предназначенного для работы в режиме косвенного и прямого действия. Параметры такого плазмотрона аналогичны параметрам плазмотрона МП-1.

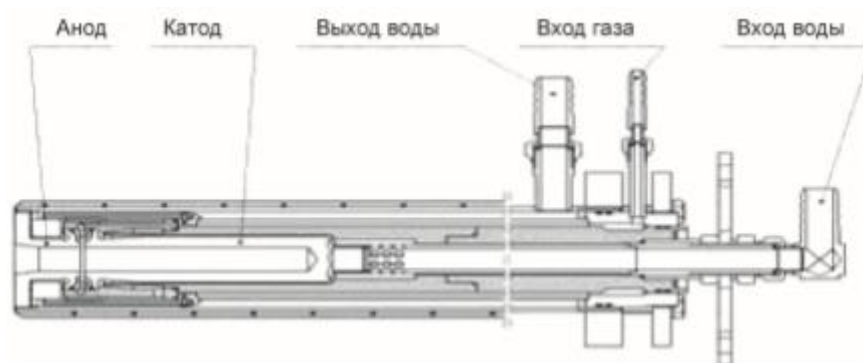


Рис. 4.6. Схема плазмотрона комбинированного действия

Мощность плазмотрона – от 50 до 300 кВт и может регулироваться в пределах $\pm 20\%$; сила тока – 1,5 кА; напряжение – до 300 В; расход плазмообразующего газа – аргона – 0,5–1,5 г/с. Плазмотрон находится в стадии исследований и отработки элементов конструкции.

4.3 Выбор нового пароводяного плазмотрона для печи "Плутон"

Наиболее подходящим по характеристикам и габаритам является плазменный модуль с пароводяным плазмотроном фирмы ЭПОС-Инжиниринг. Он обладает такими характеристиками как: мобильность, стабильность и надежность работы, технически оконченная технологическая единица, позволяющая получить пароводяную плазменную струю с точно заданными Заказчиком параметрами.

Стабильность и надежность работы плазменного модуля обеспечивается стабильной и надежной работой входящих в него узлов, таких как:

- плазмотрон пароводяной;
- источник питания плазмотрона ИПП;
- блок подготовки водяного пара;

5. РАСЧЕТ ПЛАЗМОТРОНА И ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЕГО ХАРАКТЕРИСТИК

5.1 Схема для расчета

Задаемся начальными значениями:

$$T_1=300 \text{ К}; T_2=4000 \text{ К}; G=10 \cdot 10^{-3} \text{ кг/с}; p=10^5 \text{ Па}$$

Нам нужно найти, такие параметры как:

U –рабочее напряжение

I –рабочий ток

η –тепловой КПД

геометрические размеры катода и камеры (l и d)

А также построить характеристики и сравнить два вида плазмотронов, проверить какую реальную мощность они смогут обеспечить, [5].

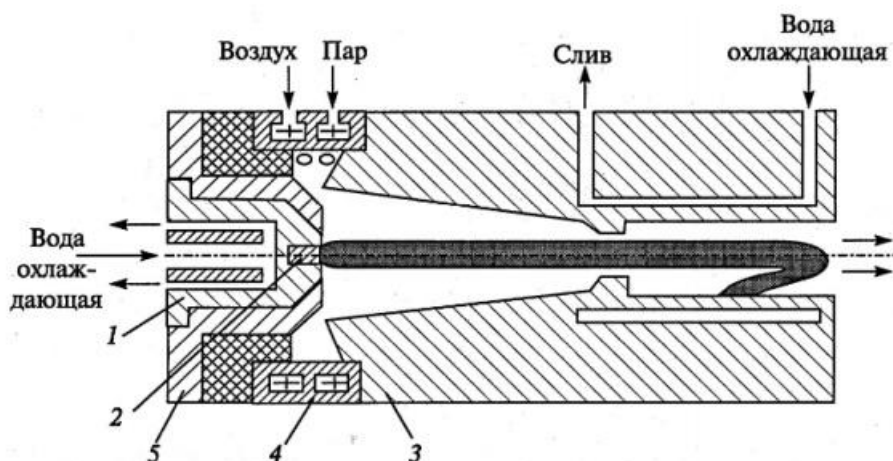


Рис. 5.1 – Схема пароводяного плазмотрона

5.2 Расчет рабочих параметров и габаритов плазмотрона

Для расчета воспользуемся следующими константами:

- скорость звука при 4000 К $v_{кр} = 1313,4 \text{ м/с}$;
- плотность воздуха при 4000 К $\rho_{кр} = 0,067 \text{ кг/м}^3$;
- начальная энергия истекающей струи $i_1 = 300 \cdot 10^3 \text{ Дж/кг}$;
- конечная энергия истекающей струи $i_2 = 10000 \cdot 10^3 \text{ Дж/кг}$.

Составим уравнения для расчета параметров плазмотрона:

									Лист
									43
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	13.03.02.2019.200 ПЗ ВКР				

- вольтамперной характеристики (ВАХ)

$$U = 2280 \cdot \left(\frac{I^2}{G \cdot d} \right)^{-0.17} \cdot \left(\frac{G}{d} \right)^{0.2} \cdot (p \cdot d)^{0.25}; \quad (5.1)$$

- теплового КПД плазмотрона

$$\frac{1-\eta}{\eta} = 5.85 \cdot 10^{-5} \cdot \left(\frac{I^2}{G \cdot d} \right)^{0.27} \cdot \left(\frac{G}{d} \right)^{-0.27} \cdot (p \cdot d)^{0.3} \cdot \left(\frac{I}{d} \right)^{0.5}; \quad (5.2)$$

- энергии истекающей струи

$$\eta = \frac{G \cdot (i_2 - i_1)}{U \cdot I}. \quad (5.3)$$

Мы можем рассчитать диаметр разрядного канала плазмотрона по следующей формуле :

$$d = 2.6 \cdot \sqrt{\frac{G}{\pi \cdot \rho \cdot v_{кр}}} = 2.6 \cdot \sqrt{\frac{10 \cdot 10^{-3}}{3.14 \cdot 0.067 \cdot 1313.4}} = 16 \cdot 10^{-3}, \quad (5.4)$$

Решая полученную систему уравнений с помощью MathCAD, получим:

- напряжение дуги $U = 425$ В;
- сила тока $I = 300$ А;
- тепловой КПД $\eta = 76,1\%$;
- длина разрядного канала $l = 0,313$ м;
- мощность плазмотрона $N_q = U \cdot I = 425 \cdot 300 = 127,5$ (кВт).

5.3 Расчет системы охлаждения

Системы охлаждения плазмотронов является одной из важнейших составляющих при работе плазмотрона. Потому что такая система определяет технологические возможности и габариты плазмотрона. Системы охлаждения сопла плазмотрона различают по двум типам: с воздушным и с водяным охлаждением. Также бывают плазмотроны со смешанной системой охлаждения для узлов с большим тепловым воздействием. Разработка эффективных систем охлаждения является довольно трудной задачей.

										Лист
										4.4
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата						

13.03.02.2019.200 ПЗ ВКР

5.3.1 Расчет охлаждения катода

Расчет охлаждения катода начинается с определения теплового потока в него от пятна дуги при $I=300\text{A}$:

$$Q_k = 2,34 \cdot I = 2,34 \cdot 300 = 702 \text{ Вт.} \quad (5.5)$$

Принимаем значение радиуса обоймы равным $r_1=10 \cdot 10^{-3} \text{ м}$.

Тогда величина плотности теплового потока на охлаждаемой стенке катода:

$$q_w = \frac{Q_k}{2\pi r_1^2} = \frac{702}{2 \cdot 3,14 \cdot 10 \cdot 10^{-5}} = 1,17 \cdot 10^6 \text{ Вт/м}^2 \quad (5.6)$$

Коэффициент надежности охлаждения, примем равным $K_{\text{охл}}=13$.

Далее находим критическую плотность теплового потока, на которую должно быть рассчитано охлаждение катода:

$$q_{\text{кр}} = K_{\text{охл}} \cdot q_w = 13 \cdot 1,17 \cdot 10^6 = 1,452 \cdot 10^7 \text{ Вт/м}^2. \quad (5.7)$$

Выберем начальную температуру охлаждающей воды $t_{\text{вх}}=20^\circ\text{C}$, перепадом температур в рубашке охлаждения катода $\Delta t=4^\circ\text{C}$, и давлением воды в ней $p=5 \cdot 10^5 \text{ Н/м}^2$. Определяем расход воды, необходимый для охлаждения электрода:

$$G_B = \frac{Q_k}{c_B \cdot \Delta t} = \frac{702}{4,18 \cdot 10^3 \cdot 4} = 0,042 \text{ кг/с} \quad (5.8)$$

Затем рассчитываем, средняя температура охлаждающей воды $t_f = 20 + \frac{4}{2} = 22^\circ\text{C}$ и температура насыщения $t_{\text{вн}}$:

$$t_{\text{вн}} = 100 \cdot \sqrt[4]{5 \cdot 10^5 \cdot 10^{-5}} = 149^\circ\text{C} \quad (5.9)$$

Величина недогрева воды до температуры насыщения равна,

$$\Delta t_H = 149 - 22 = 127^\circ\text{C} \quad (5.10)$$

Далее определяем нужную скорость охлаждающей воды в зазоре

$$V_B = V_{B0} \cdot \left[\frac{q_{\text{кр}}}{q_{B0} \cdot (1 + B \cdot t_H)} \right]^2 = 0,15 \cdot \left[\frac{1,452 \cdot 10^7}{1,3 \cdot 10^6 \cdot (1 + 0,013 \cdot 127)} \right]^2 = 2,65 \text{ м/с.} \quad (5.11)$$

					13.03.02.2019.200 ПЗ ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		45

Значения $v_{B0}=0,15$ м/с, $q_{B0}=1,3 \cdot 10^6$ Вт/м², $B=0,013$ К⁻¹ определены для $p=5 \cdot 10^5$ Н/м² [12].

Определим число Рейнольдса:

$$Re_{ж} = \frac{v_B \cdot d_r}{\nu} = \frac{2,65 \cdot 2 \cdot 10^{-3}}{0,96 \cdot 10^{-6}} = 5,522 \cdot 10^3, \quad (5.12)$$

где $\nu=0,96 \cdot 10^{-6}$ м²/с (для $t=22^\circ\text{C}$); $d_r=2 \cdot \delta_B=2 \cdot 1 \cdot 10^{-3}=2 \cdot 10^{-3}$ м.

Величина зазора δ_B определяется из уравнения

$$\delta_B = \frac{G_B}{2\pi r_{тр} \rho v_B} = \frac{0,042}{2 \cdot 3,14 \cdot 0,8 \cdot 10^{-2} \cdot 10^3 \cdot 2,65} = 3,152 \cdot 10^{-4} \text{ м.} \quad (5.13)$$

Величина $r_{тр}$ (радиус водопроводящей трубки) выбрана из конструктивных соображений.

Принимаем $\delta_B=1 \cdot 10^{-3}$ м.

Течение воды в рубашке охлаждения соответствует развитому турбулентному течению. Следовательно, расчет теплоотдачи будем производить по следующей формуле:

$$\begin{aligned} Nu_{ж} &= \frac{a_B \cdot d_r}{\lambda_a} = 0,023 Re_{ж}^{0,8} \cdot Pr_{ж}^{0,4} \cdot \left(\frac{Pr_{ж}}{Pr_w} \right)^{0,25} \cdot \varepsilon_l \\ &= 0,023 \cdot (5,522 \cdot 10^3)^{0,8} \cdot 6,9^{0,4} \cdot \left(\frac{6,9}{1,18} \right)^{0,25} \cdot 1,18 = 90,063 \end{aligned} \quad (5.14)$$

Для охлаждающей воды при температурах $t_f=21^\circ\text{C}$ и $t_w=149^\circ\text{C}$ числа $Pr_{ж}$ и Pr_w имеют значения 6,9 и 1,18 соответственно.

Зная число Нуссельта, находим коэффициент теплоотдачи

$$a_B = \frac{Nu_{ж} \cdot \lambda_{ж}}{d_r} = \frac{90,063 \cdot 0,6}{2 \cdot 10^{-3}} = 2,702 \cdot 10^4 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{К)}, \quad (5.15)$$

Здесь $\lambda_{ж}=0,6$ Вт/(м·К) для $t_f=21^\circ\text{C}$.

										Лист
										46
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	13.03.02.2019.200 ПЗ ВКР					

$$Nu_{ж} = 0,023 \cdot (5,522 \cdot 10^3)^{0,8} \cdot 6,9^{0,4} \left(\frac{6,9}{2,491} \right)^{0,25} \cdot 1,18 = 74,72$$

а коэффициент теплоотдачи

$$a_B = \frac{Nu_{ж} \cdot \lambda_{ж}}{d_r} = \frac{74,72 \cdot 0,6}{2 \cdot 10^{-3}} = 2,242 \cdot 10^4 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{К)}, \quad (5.21)$$

Полученные данные позволяют рассчитать плотность теплового потока, соответствующего началу кипения

$$q_{нк} = 2,242 \cdot 10^4 \cdot 149 \cdot 21 = 7,039 \cdot 10^7 \text{ Вт/м}^2, \quad (5.22)$$

т.е. $q_{нк} > q_w$ и температура охлаждаемой стенки определяется как:

$$t_w = 21 + \frac{1,117 \cdot 10^6}{2,242 \cdot 10^4} = 70,84 \text{ }^\circ\text{C}, \quad (5.23)$$

что уже близко к принятому во третьем приближении значению.

5.4 Расчет охлаждения анода

Полный тепловой поток в выходной электрод определяется по формуле:

$$Q = (1 - \eta) \cdot N_D = (1 - 0,76) \cdot 12,75 \cdot 10^4 = 30,51 \cdot 10^3 \text{ Вт}, \quad (5.24)$$

а плотность теплового потока в стенку электрода будет равна :

$$q = \frac{(1 - \eta) \cdot N_D}{\pi \cdot l \cdot d} = \frac{(1 - 0,76) \cdot 3,051 \cdot 10^4}{3,14 \cdot 0,313 \cdot 0,016} = 1,986 \cdot 10^6 \text{ Вт/м}^2 \quad (5.25)$$

Принимаем температуру стенки электрода равной температуре насыщения воды $t_{вн}$ при давлении $5 \cdot 10^5 \text{ Н/м}^2$, т.е. $t_w = 149^\circ\text{C}$, и определяем максимально допустимый температурный перепад на стенке медного электрода

$$\Delta t_{\max} = 1083 - 149 = 934 \text{ }^\circ\text{C}. \quad (5.26)$$

Далее рассчитаем допустимую толщину стенки электрода:

$$\delta = \frac{d}{2} \cdot \left(\exp \left(\frac{2\lambda_a \cdot \Delta t}{q \cdot d} \right) \right) = \frac{0,009}{2} \cdot \left(\exp \left(\frac{2 \cdot 400 \cdot 934}{1,986 \cdot 10^6 \cdot 0,016} \right) \right) = 2,171 \cdot 10^5 \text{ м}, \quad (5.27)$$

										Лист
										48
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	13.03.02.2019.200 ПЗ ВКР					

Примем $\delta=10 \cdot 10^{-3}$ м, что вполне обеспечивает и прочность стенки даже при значительно больших давлениях, и высокий ресурс непрерывной работы.

Определим действительный температурный перепад на стенке электрода

$$\Delta t = \left(\frac{q \cdot d}{2\lambda_a} \right) \ln \left(\frac{d + 2\delta}{d} \right) = \left(\frac{1,986 \cdot 10^6 \cdot 0,016}{2 \cdot 400} \right) \ln \left(\frac{0,016 \cdot 2 \cdot 10^{-2}}{0,016} \right) = 31,97 \text{ } ^\circ\text{C}, \quad (5.28)$$

Приняв начальную температуру охлаждения воды $t_{\text{вх}}=20^\circ\text{C}$, перепад температур в рубашке охлаждения выходного электрода $\Delta t_{\text{в}}=20^\circ\text{C}$, определяем секундный расход воды, необходимый для охлаждения электрода

$$G_{\text{в}} = \frac{Q}{c_{\text{в}} \cdot \Delta t_{\text{в}}} = \frac{30,51 \cdot 10^3}{4,18 \cdot 10^3 \cdot 20} = 0,365 \text{ кг/с}, \quad (5.29)$$

После этого рассчитывается средняя температура охлаждающей воды

$$t_f = 20 + \frac{20}{2} = 30 \text{ } ^\circ\text{C}$$

и температура насыщения для давления $p=5 \cdot 10^5 \text{ Н/м}^2$

$$t_{\text{вн}} = 100 \cdot \sqrt[4]{5 \cdot 10^5 \cdot 10^{-5}} = 149 \text{ } ^\circ\text{C}$$

величина недогрева воды до температуры кипения

$$\Delta t_{\text{н}} = 149 - 30 = 119 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

Далее определяем плотность теплового потока на охлаждаемой водой поверхности электрода

$$q_w = q \cdot \frac{d}{d + d_r} = 1,986 \cdot 10^6 \cdot \frac{0,016}{0,016 + 2 \cdot 10^{-3}} = 1,76 \cdot 10^6 \text{ Вт/м}^2. \quad (5.30)$$

Приняв коэффициент надежности охлаждения $K_{\text{охл}}=7$, рассчитаем соответствующее значение критической плотности теплового потока:

$$q_{\text{кр}} = 7 \cdot 1,76 \cdot 10^6 = 1,23 \cdot 10^7 \text{ Вт/м}^2. \quad (5.31)$$

После этого находим скорость потока охлаждающей воды :

$$v_{\text{в}} = 0,15 \cdot \left[\frac{1,23 \cdot 10^7}{1,3 \cdot 10^6 \cdot (1 + 0,013 \cdot 119)} \right]^2 = 2,07 \text{ м/с}. \quad (5.32)$$

										Лист
										49
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	13.03.02.2019.200 ПЗ ВКР					

Значения $v_{в0}=0,15$ м/с, $q_{в0}=1,3 \cdot 10^6$ Вт/м², $B=0,013$ К⁻¹ определены для $p=5 \cdot 10^5$ Н/м² [12].

Примем значение зазора в рубашке охлаждения равным $\delta_{в}=1,5 \cdot 10^{-3}$ м.

Для уточнения величины температуры охлаждаемой поверхности стенки и проверки режима ее охлаждения найдем значения определяющих критериев $Re_{ж}$, $Nu_{ж}$, $Pr_{ж}$. Число Рейнольдса равно

$$Re_{ж} = \frac{v_{в} \cdot d_{г}}{\nu} = \frac{2,07 \cdot 2 \cdot 1,5 \cdot 10^{-3}}{0,8 \cdot 10^{-6}} = 7,75 \cdot 10^3, \quad (5.33)$$

При расчете принято $d_{г}=2 \cdot \delta_{в}=2 \cdot 1,5 \cdot 10^{-3}=3 \cdot 10^{-3}$ м, а кинематическая вязкость воды $\nu=0,8 \cdot 10^{-6}$ м²/с (для $t=30^{\circ}\text{C}$) найдена по справочнику [13].

Число $Nu_{ж}$ находим из уравнения (5.14)

$$Nu_{ж} = 0,023 \cdot (7,75 \cdot 10^3)^{0,8} \cdot 5,45^{0,4} \left(\frac{5,45}{1,18} \right)^{0,25} = 85,88. \quad (5.34)$$

Здесь $Pr_{ж}=5,45$ (для температуры $t=30^{\circ}\text{C}$ [13]), $Pr_{в}=1,18$ (для температуры $t=149^{\circ}\text{C}$ [13])

Зная число Нуссельта, находим коэффициент теплоотдачи

$$a_{в} = \frac{Nu_{ж} \cdot \lambda_{а}}{d_{г}} = \frac{85,88 \cdot 0,62}{3 \cdot 10^{-3}} = 1,77 \cdot 10^4 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К}), \quad (5.35)$$

где $\lambda_{а}=0,62$ Вт/(м·К) (для температуры $t=30^{\circ}\text{C}$ [13]).

Вычислим плотность теплового потока, соответствующую началу кипения:

$$q_{нк} = 1,775 \cdot 10^4 \cdot (149 - 30) = 2,12 \cdot 10^6 \text{ Вт}/\text{м}^2. \quad (5.36)$$

Поскольку $q_{нк} > q_w$, то охлаждение стенки происходит за счет конвективной теплоотдачи и для определения температуры охлаждаемой поверхности следует воспользоваться следующей формулой:

$$t_w = t_f + \frac{q_w}{a_{в}} = 30 + \frac{1,76 \cdot 10^6}{1,77 \cdot 10^4} = 129,19^{\circ}\text{C}. \quad (5.37)$$

Зная t_w , найдем температуру внутренней (рабочей) поверхности электрода

$$t_{э} = t_w + \Delta t = 129,19 + 31,97 = 161,17^{\circ}\text{C}. \quad (5.38)$$

									Лист
									50
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	13.03.02.2019.200 ПЗ ВКР				

5.5 Расчет ресурса работы катода

Примем диаметр циркониевой вставки $d_k=5 \cdot 10^{-3}$ м, а глубину выработки вставки $\Delta l_k=3 \cdot 10^{-3}$ м. В этом случае при величине удельной эрозии циркония $\bar{G}_{удZr}=1,2 \cdot 10^{-11}$ кг/Кл время работы катода составит

$$\tau_k = \frac{\rho_k \cdot \pi \cdot d_k^2 \cdot \Delta l_k}{4 \cdot \bar{G}_{Zr} \cdot I \cdot 3600} = \frac{6,5 \cdot 10^3 \cdot 3,14 \cdot 25 \cdot 10^{-6} \cdot 3 \cdot 10^{-3}}{4 \cdot 1,2 \cdot 10^{-11} \cdot 300 \cdot 3600} = 29,54 \text{ ч}, \quad (5.39)$$

5.6 Расчет ресурса работы анода

При работе на водяном пару в диапазоне токов от 100 до 500А и расходов газа $(0,5-1) \cdot 10^{-3}$ кг/с длина эрозированной зоны равна 3-5d. Примем длину эрозированной зоны $\Delta l_{эп}=4d$, а глубину допустимой выработки равной $h_{эп}=7 \cdot 10^{-3}$. В этом случае объем эрозированного материала равен:

$$V_{эп} = 2\pi \cdot h_{эп} \cdot d \left(d + \frac{2}{3} \cdot h_{эп} \right) = 2 \cdot 3,14 \cdot 7 \cdot 10^{-3} \cdot 0,016 \cdot \left(0,016 + \frac{2}{3} \cdot 7 \cdot 10^{-3} \right) = 1,396 \cdot 10^{-5} \text{ м}^3 \quad (5.40)$$

Для медного электрода ($\rho_a=8,9 \cdot 10^3$ кг/м³), масса уносимого материала равна

$$m_a = \rho_a \cdot V_{эп} = 8,9 \cdot 10^3 \cdot 1,39 \cdot 10^{-5} = 0,124 \text{ кг}, \quad (5.41)$$

При удельной эрозии медного электрода, равной:

$$\bar{G}_{уд} = \frac{m}{I \cdot \tau_a} = 5 \cdot 10^{-10} \text{ кг/Кл}$$

время работы электрода составит:

$$\tau_a = \frac{0,124}{300 \cdot 5 \cdot 10^{-10} \cdot 3600} = 230,15 \text{ ч}, \quad (5.42)$$

Следовательно, время непрерывной работы плазмотрона определяется ресурсом катода и равно ≈ 30 часов.

5.7 Построим характеристики пароводяного плазмотрона

Чтобы отразить зависимость параметров тока и напряжения, при неизменных габаритных размеров построим Вольт-амперную характеристику для пароводяного плазмотрона ЭПОС-Инжиниринг.

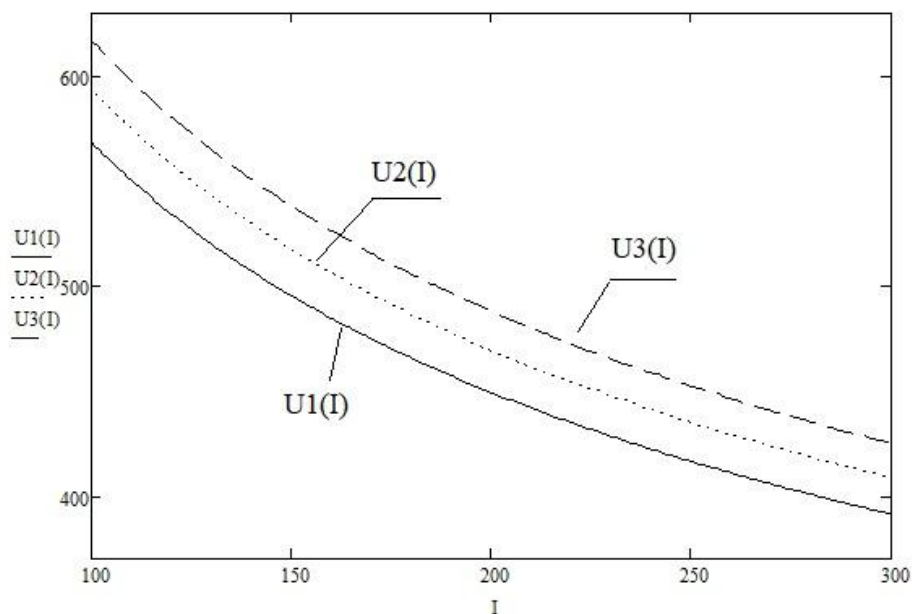
									Лист
									51
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	13.03.02.2019.200 ПЗ ВКР				

Для пароводяных плазмотронов ВАХ имеет падающий вид, и описывается следующим уравнением:

$$U(I) = 2280 \cdot \left(\frac{I^2}{G \cdot d} \right)^{-0.17} \cdot \left(\frac{G}{d} \right)^{0.2} \cdot (p \cdot d)^{0.25}, \quad (5.43)$$

Построим зависимости напряжения от тока при различных значениях расхода водяного пара:

1. при $G=8 \cdot 10^{-3}$ кг/с
2. при $G=9 \cdot 10^{-3}$ кг/с
3. при $G=10 \cdot 10^{-3}$ кг/с



$U1(I); U2(I); U3(I)$

Рис. 5.2 – ВАХ плазмотрона ЭПОС-Инжиниринг

Кривая, показывающая зависимость теплового КПД от силы тока при остальных неизменных параметрах описывается следующим уравнением

$$\eta(I) := \frac{G \cdot (i_2 - i_1)}{U \cdot I} \quad (5.44)$$

Построим зависимости теплового КПД от тока при различных значениях расхода водяного пара:

1. при $G=8 \cdot 10^{-3}$ кг/с
2. при $G=9 \cdot 10^{-3}$ кг/с
3. при $G=10 \cdot 10^{-3}$ кг/с

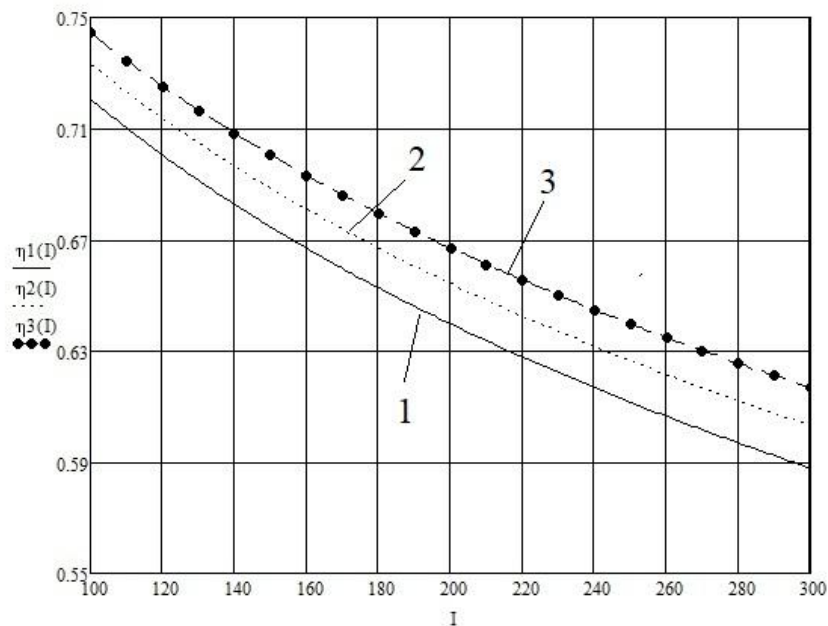


Рис. 5.3 – Зависимость теплового КПД от тока плазматрона ЭПОС-Инжиниринг
5.8 Источник питания плазматрона

Источник питания также является важнейшей частью системы, благодаря ей подается необходимое напряжение для формирования пробоя на дуге плазматрона. Также источник питания должен обеспечивать устойчивую и постоянную работу потребителя. Это значит, что напряжение холостого хода U_{xx} источника питания должно быть больше, чем рабочее напряжение пароводяного плазматрона.

Для расчета источника питания примем коэффициент запаса по напряжению равным 1,3.

$$U_{xx} = 1,3 \cdot U = 1,3 \cdot 425 = 552,5 \text{ В.} \quad (5.45)$$

Одним из вариантов источника питания, может послужить стабилизированный источник питания постоянного тока серии US-600. Он обеспечит: номинальное напряжение – 600В, номинальная сила тока – 300А, номинальная мощность – 180 кВт [14].

5.9 Научно-исследовательская работа

В научно-исследовательской работе необходимо исследовать энергетические характеристики пароводяного плазмотрона ЭПОС-Инжиниринг и воздушного "Торнадо", для этого сравним тепловой КПД разных плазмотронов.

Воспользуемся уже известными техническими характеристиками плазмотрона, используемого на "Плутоне" и данными, которые были получены расчетным путем для пароводяного плазмотрона.

Таблица 2-Характеристики плазмотронов

Плазмотрон	Торнадо	Пароводяной ЭПОС-Инжиниринг
Расход воздуха и пара, кг/с	20	10
Диаметр катода, м	0,012	0,016
Длина разрядного канала, м	0,233	0,313
Давление, Па	$5 \cdot 10^5$	10^5
Диапазон тока, А	100..300	
Напряжение, В	600	600

Для определения теплового КПД плазмотронов воспользуемся следующим уравнением:

$$\eta = \frac{1}{1 + \left[5,85 \cdot 10^{-5} \cdot \left(\frac{I^2}{G \cdot d} \right)^{0,27} \cdot \left(\frac{G}{d} \right)^{-0,27} \cdot (p \cdot d)^{0,3} \cdot \left(\frac{l}{d} \right)^{0,5} \right]} \quad (5.46)$$

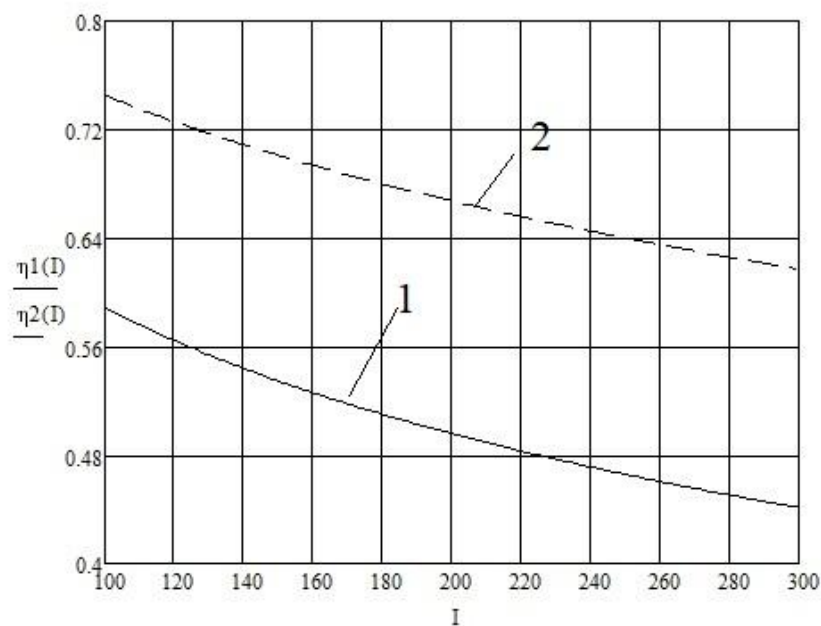


Рис. 5.4 – Зависимость теплового КПД от тока для плазмотронов: 1– Торнадо; 2– ЭПОС-Инжиниринг .

При максимальных режимах работы плазмотрон «Торнадо» обеспечит мощность равную:

$$P_{\text{струи1}} = U_1 \cdot I_1 = 600 \cdot 180 = 108 \text{ кВт} \quad (5.47)$$

Полезная мощность будет равняться,

$$P_{\text{пол1}} = \eta(180) \cdot P_{\text{струи1}} = 0,51 \cdot 108 \text{ кВт} = 55,06 \text{ кВт}, \quad (5.48)$$

Так как используется 2 плазмотрона , то итоговая мощность будет равна,

$$P_{\text{итог Торнадо}} = 2 \cdot P_{\text{пол1}} = 2 \cdot 55,06 = 110,1 \text{ кВт}, \quad (5.49)$$

При максимальных режимах работы плазмотрон " ЭПОС-Инжиниринг " обеспечит мощность равную:

$$P_{\text{струи2}} = U_2 \cdot I_2 = 600 \cdot 300 = 180 \text{ кВт}, \quad (5.50)$$

Полезная мощность будет равняться,

$$P_{\text{пол1}} = \eta(300) \cdot P_{\text{струи2}} = 0,76 \cdot 180 \text{ кВт} = 136,8 \text{ кВт}, \quad (5.51)$$

5.10 Вывод:

Выполнив расчет пароводяного плазмотрона фирмы "ЭПОС-Инжиниринг" получаем параметры работы: напряжение– 425 В, ток дуги - 300 А, тепловой КПД

составляет 76%, мощность плазмотрона составляет около 130 кВт. Ресурс работы плазмотрона – 30 часов. Построили ВАХ и тепловые характеристики.

В расчете характеристик плазмотрона были предложены советы по выбору источника питания, который должен предоставить достаточное напряжение для пробоя, необходимое для запуска плазмотрона и оптимальной работы.

Рассмотрены возможные варианты технологического использования плазмотрона: сжигание радиоактивных и медицинских отходов, поверхностная плазменная обработка металлов и строительных материалов.

В научно-исследовательской работе было выполнено сравнение плазмотронов по тепловому КПД. Исследование показало, что тепловой КПД выше при использовании пароводяных плазмотронов, а воздушные имеют показания значительно ниже. При работе на пароводяном плазмотроне, мы получаем больше подводимой мощности, чем при использовании двух плазмотронов "Торнадо". А также повышается срок использования расходных материалов для применения при сжигании отходов.

					13.03.02.2019.200 ПЗ ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		56

6. СПЕЦИАЛЬНАЯ ЧАСТЬ ДИПЛОМНОГО ПРОЕКТА.

6.1 Расчетная Часть. Противоточный теплообмен (ПТТО) в печи шахтного типа установка «Плутон»

Метод расчета ведется на условиях:

1. частицы (брикеты) в слое рассматриваются как изолированные друг от друга термически тонкие тела;
2. теплообмен в слое осуществляется по закону Ньютона (конвекция);
3. тепловые потери в окружающую среду пренебрежимо малы;
4. внутренние источники и стоки тепла в нагреваемом материале отсутствуют.

Задача сводится к следующему:

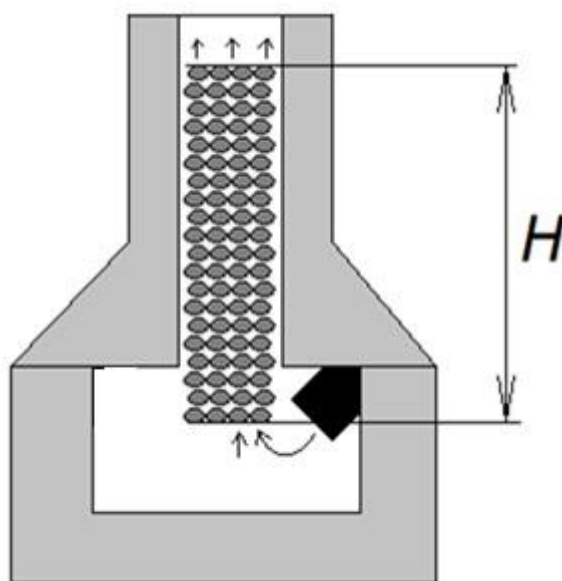


Рис. 6.1 – Схема ПТТО в установке «Плутон»

Слой высотой H (рисунок 6.1), состоящий из кусков (брикетов) одинаковых размеров и формы, опускается в шахте постоянного сечения S (принимаем $S = 0,02 \text{ м}^2$ из производительности печи) с неизменной скоростью w (принимаем $w = 0,3 \text{ м/ч}$). Загружаемые сверху куски (брикеты) материала с одинаковой по объёму

									Лист
									57
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	13.03.02.2019.200 ПЗ ВКР				

ность температур между газом и шихтой по мере её опускания будет увеличиваться и эта разность, а следовательно и недогрев материала будут тем больше, чем больше отношение их водяных чисел $n > 1$.

Высота слоя, на которой завершённость теплообменных процессов достигает 95%, может быть найдена с помощью формулы:

$$H = \frac{3 \cdot w_M \cdot c_M}{k_v \cdot \left(\frac{W_M}{W_G} - 1 \right)}, \quad (6.1)$$

где w_M - скорость движения шихты, м/ч; c_M - теплоёмкость насыпного 1 м³ шихты, кДж/(м³·К); k_v - суммарный объёмный коэффициент теплопередачи, Вт/(м³·К); W_G, W_M - водяные эквиваленты потоков газа и материала (шихты).

Суммарный коэффициент теплопередачи k_v , учитывающий как внешнее, так и внутреннее тепловые сопротивления определяют по формуле, Вт/(м³·К):

$$k_v = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_v} + \frac{d_M^2}{A \cdot (1-f) \cdot \lambda_M}}, \quad (6.2)$$

где α_v - объёмный коэффициент теплоотдачи, Вт/(м³·К); A - числовой коэффициент равный 60 для частиц сферической формы и 75 для кусков произвольной формы; f - порозность (для нашего случая 0,41); λ_M - теплопроводность вещества частиц (для нашего случая 0,25 Вт/(м·К)); d_M - диаметр частиц, м.

Расчёт объёмного коэффициента теплоотдачи целесообразно производить по формуле Б. И. Китаева, полученной в результате обработки экспериментальных данных С. С. Фурнаса по нагреву и охлаждению неподвижного слоя крупных кусков (4 – 70 мм) в широком диапазоне температур (до 1100 °С) при изменении скоростей газа в пределах 0,6 – 1,8 м/с:

$$\alpha_v = 186 \cdot \frac{w_{Г0}^{0.9} \cdot \bar{T}_Г^{0.3}}{d_M^{0.75}} \cdot M', \quad (6.3)$$

где $w_{Г0}$ - скорость газа на свободное сечение при нормальных условиях; $\bar{T}_Г$ - средняя температура газов, К; M' зависит от равномерности распределения газов по поперечному сечению слоя и содержания мелочи (в нашем случае $M'=0.3$).

Решение: Определим отношение водяных чисел для нашего случая.

										Лист
										59
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	13.03.02.2019.200 ПЗ ВКР					

Водяное число материала (шихты):

$$W_M = G_M \cdot c_M = 10 \frac{\text{кг}}{\text{ч}} \cdot 1200 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{град}} = 12000 \frac{\text{Дж}}{\text{ч} \cdot \text{град}}; \quad (6.4)$$

Определим расход водяного пара, при котором параметр $n=1$:

$$G_{\Gamma} = \frac{W_M}{c_{\Gamma}} = \frac{12000 \frac{\text{Дж}}{\text{ч} \cdot \text{град}}}{1200 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{град}}} = 10 \frac{\text{кг}}{\text{ч}}, \quad (6.5)$$

Таким образом, для реализации распределения температур по высоте слоя по схеме, б) (рисунок 6.3) не допускается превышать расход водяного пара более чем 10 кг/ч (для нашего случая G_{Γ} примем 5 кг/ч, тогда $n = 2$), тогда водяное число газа:

$$W_{\Gamma} = G_{\Gamma} \cdot c_{\Gamma} = 5 \frac{\text{кг}}{\text{ч}} \cdot 1200 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{град}} = 6000 \frac{\text{Дж}}{\text{ч} \cdot \text{град}}, \quad (6.6)$$

Определим скорость газа на свободное сечение, при нормальных условиях:

$$w_{\Gamma 0} = \frac{3,75 \text{ м}^3}{0,02 \text{ м}^2 \cdot 6000} = 0,031 \frac{\text{м}}{\text{с}}, \quad (6.7)$$

Определим объёмный коэффициент теплоотдачи:

$$\alpha_V = 186 \cdot \frac{0,031^{0,9} \cdot 1200^{0,3}}{0,03^{0,75}} \cdot 0,3 = 438 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^3 \cdot \text{К}}, \quad (6.8)$$

Определим суммарный коэффициент теплопередачи:

$$k_v = \frac{1}{\frac{1}{438} + \frac{0,03^2}{75 \cdot (1 - 0,41) \cdot 0,25}} = 423 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^3 \cdot \text{К}}, \quad (6.9)$$

Определим высоту слоя шахты:

$$H = \frac{3 \cdot 0,3 \cdot 1200}{3600 \cdot 423 \cdot \left(\frac{12000}{6000} - 1 \right)} = 0,89 \text{ м}, \quad (6.10)$$

Температура газа на любом слое шахты определяется:

$$T_{\Gamma}(y) = T'_{\Gamma} - (T'_{\Gamma} - T'_M) \cdot \left\{ 1 - \exp \left[\frac{\alpha_V \cdot S \cdot \left(1 - \frac{W_{\Gamma}}{W_M} \right) \cdot y}{W_{\Gamma}} \right] \right\}, \quad (6.11)$$

Температура материала (шихты) на любом слое шахты определяется:

									Лист
									60
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата					

13.03.02.2019.200 ПЗ ВКР

$$T_M(y) = T_{Г_ср} - (T'_Г - T_Г(y)) \cdot \frac{W_Г}{W_M}, \quad (6.12)$$

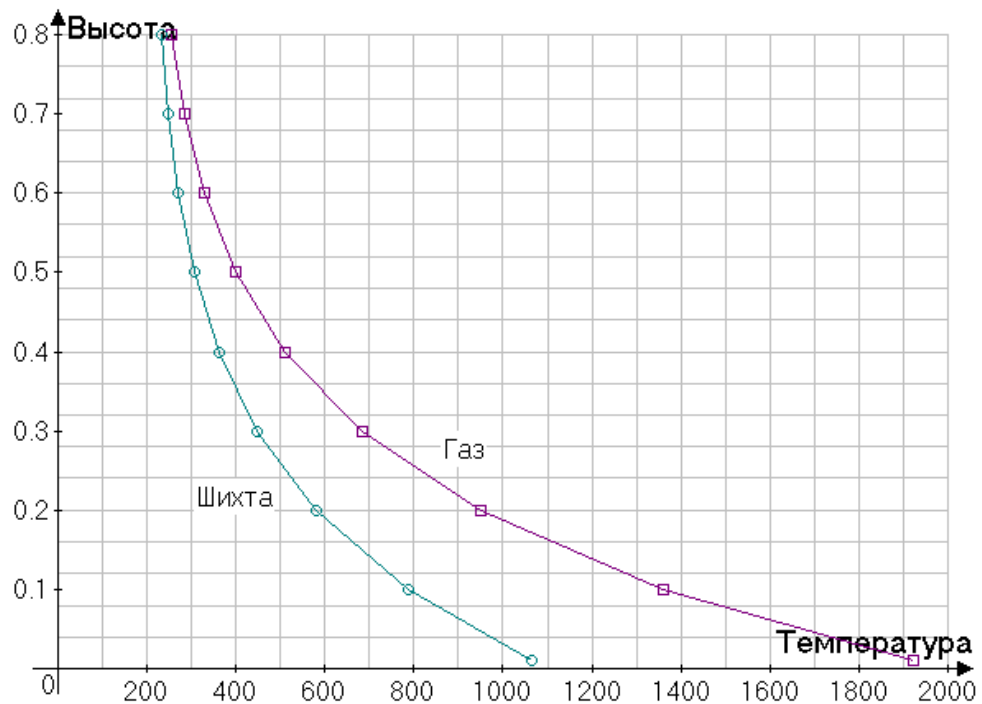


Рис. 6.3 – Изменение температуры в шахте ШПП (1е приближение)

6.2 Моделирование печи в программной среде Ansys Mechanical.

Ход решения при построении модели:

Этап 1. Выбор модели для решения задачи приведен выше в пункте 6.1. Также мы подобрали и выбрали уравнения для данного процесса.

В ANSYS осуществили выбора расчетного модуля (рисунок 6.4). Далее в расчете нужно будет выбрать материалы модели. Например, его начальные и конечные деформации.



Рис. 6.4 – Выбор модуля решения

Этап 2. Импорт объемной геометрической модели в ПК SolidWorks.

На данном этапе мы определились с расчетной частью, с размерностью и способом импорта в расчетный модуль. Бывают задачи обладают симметрией, это заметно упростит постановку задачи и потребует значительно меньше времени на расчет. Также для того, чтобы упростить задачу, мы убираем некоторые детали не влияющие на моделирование системы. На рисунках 6.5 и 6.6 приведем нашу геометрическую модель, построенную в системе SolidWorks.

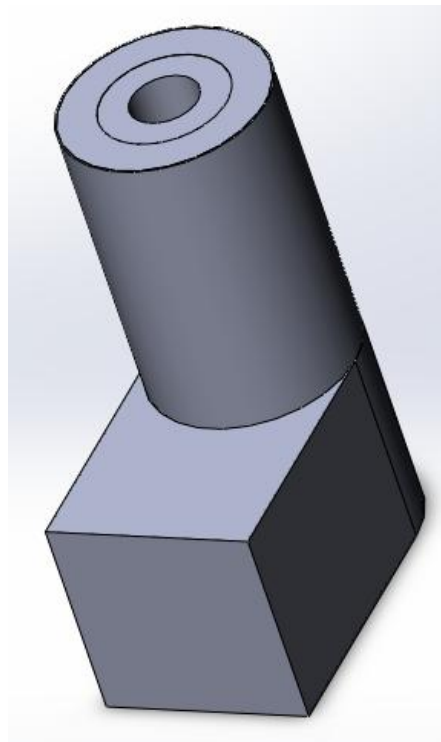


Рис. 6.5 – Модель печи "Плутон"

										Лист
										62
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	13.03.02.2019.200 ПЗ ВКР					

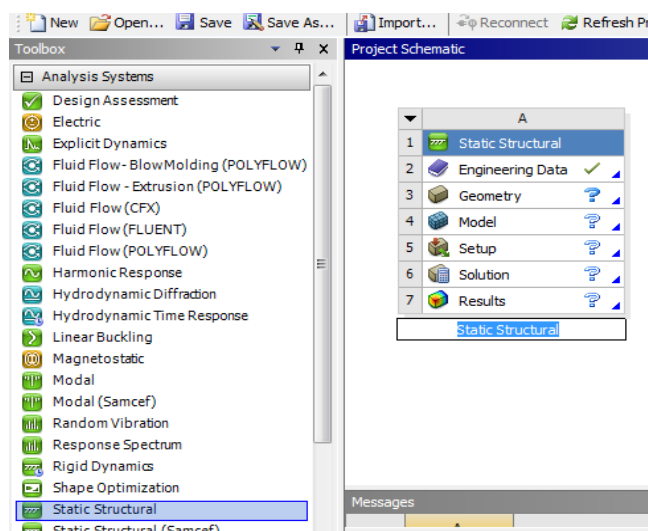


Рис. 6.8 – Workbench

Этап 3. Задание свойств и моделей материалов. На данном этапе необходимо определить модели материалов, участвующих в расчете объектов. Задание свойств материалов осуществляется в соответствии с выбранной моделью материала. Модель материала выберем из библиотеки материалов (Engineering Data).

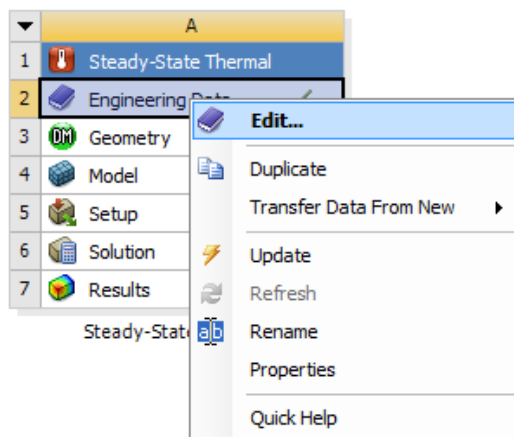


Рис. 6.9 – Материалы

Задаем физические свойства материалов. Принимаем, как показано на рис 6.10:

1. Внутренний слой печи - Кирпич магнетитовый периклазовый П-91;
2. Следующий слой - Кирпич ШБ - 1;
3. Наружный слой металлический кожух, охлаждаемый снаружи.

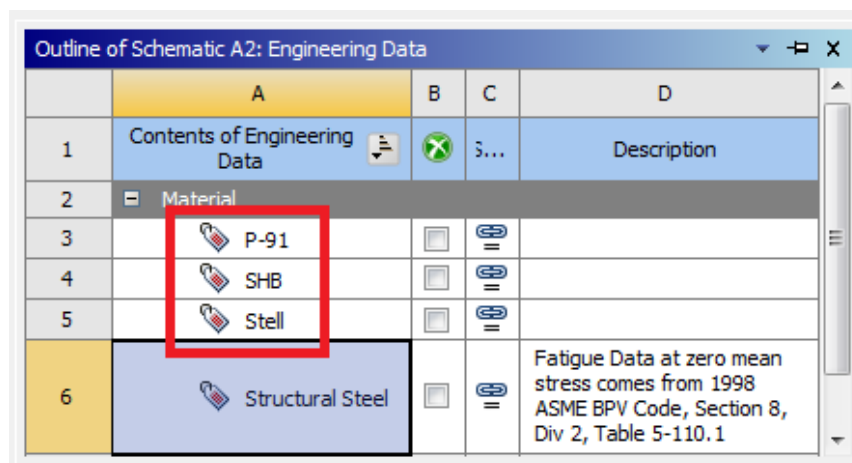


Рис. 6.10 – Материалы

Этап 4. Создание вычислительной сетки. Сетка обязательно применяется ко всей рабочей модели. Сетка может быть тетраэдрической или гексаэдрической.

От качества построения сетки зависит результат расчета, поэтому она должна быть построена максимально точно и качественно. Вычислительная сетка для повышения точного результата, может выполняться еще меньше общей сетки в отдельных частях модели.

Накладываем конечно-элементную сетку

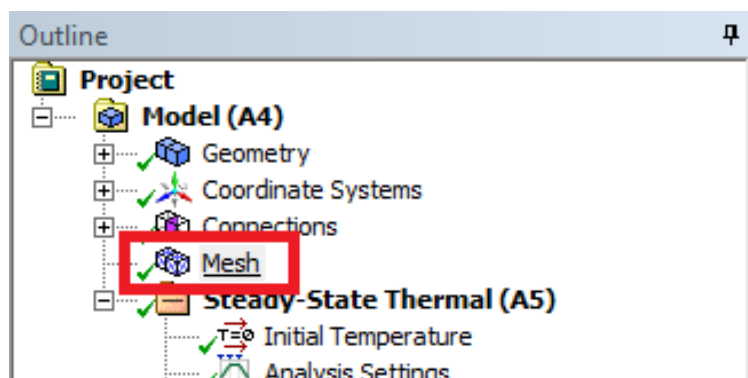


Рис. 6.11 – выбор сетки

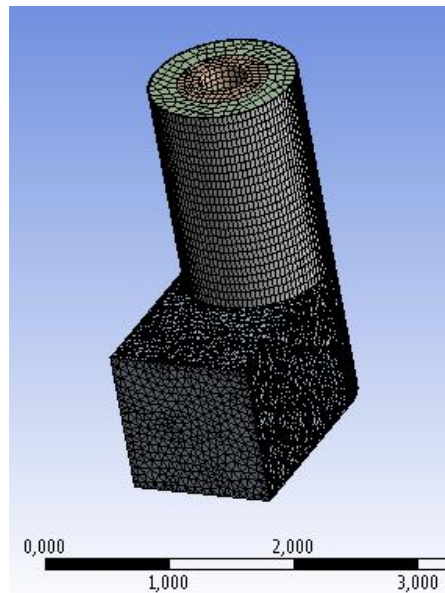


Рис. 6.12 – модель с сеткой

Этап 5. Задание граничных условий. Краевые условия включают в себя граничные и начальные условия. В качестве граничных условий мы принимаем скорость теплового потока на выходе из печи.

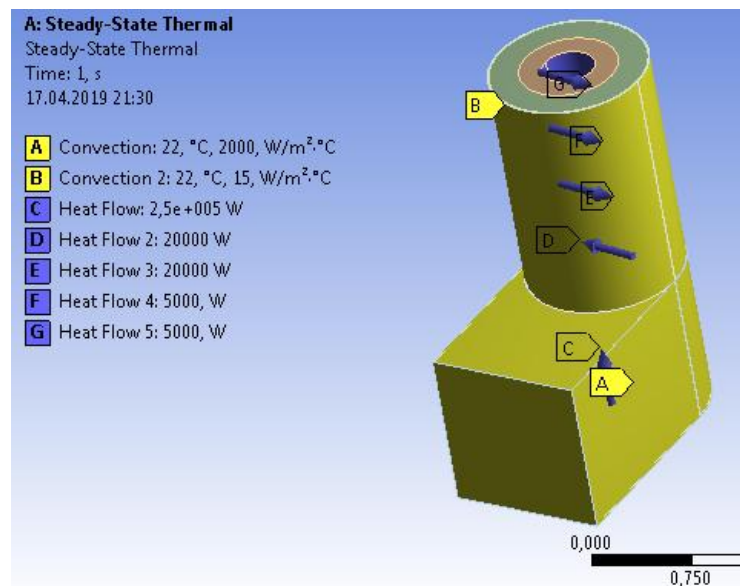


Рис. 6.13 – Граничные условия

Этап 6. Анализ результатов. На заключающем этапе производим решение модели и анализ получившихся результатов.

Решение построенной модели и отображение результатов.

					13.03.02.2019.200 ПЗ ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		66

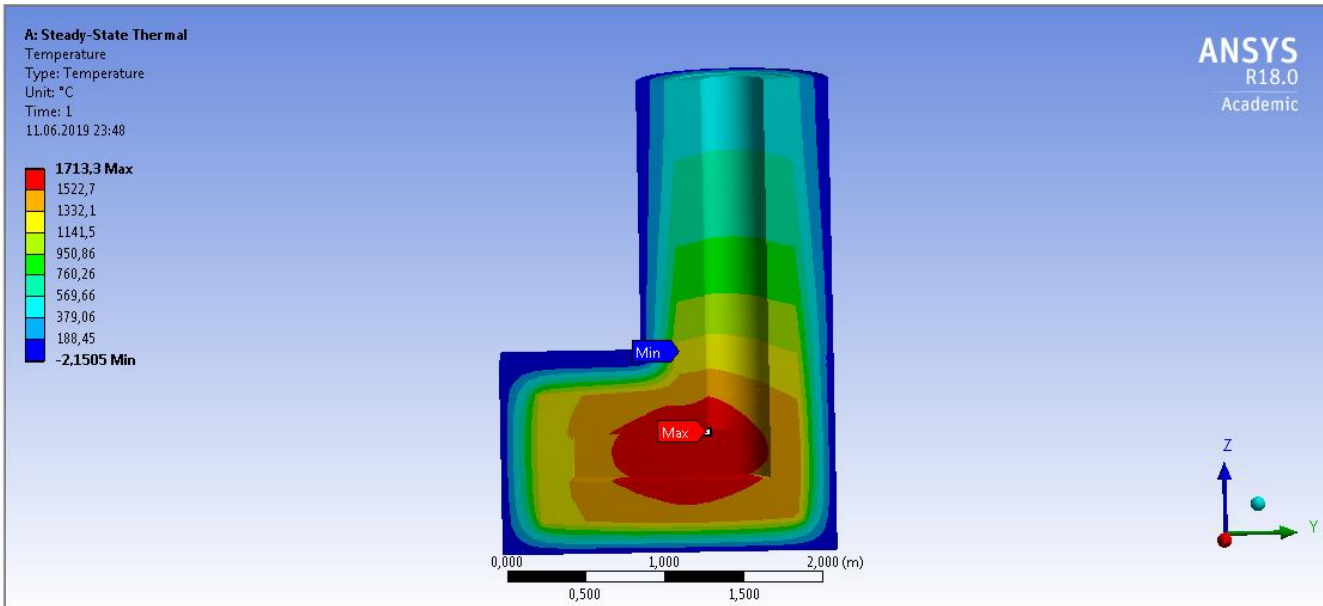


Рис. 6.14 – Результат расчета

					13.03.02.2019.200 ПЗ ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		67

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате выполнения дипломного проекта были рассмотрены варианты повышения энергоэффективности установки "Плутон". Был предложен вариант замены на пароводяной плазмотрон, что приведет к отсутствию вредных окислов азота при работе плазмотрона на водяном паре, также снизит износ электродов, а следовательно снизит стоимость оборудования расходных материалов, а также повысит энергоэффективность за счет повышения КПД плазмотрона при переходе на пароводяную систему и замене двух струйных плазмотронов на один пароводяной большей мощности.

Повышение эффективности с введением нового варианта плазмотрона проиллюстрировано количественно подробным расчётом нового теплового режима печи. Получены характеристики, свидетельствующие об улучшении всего технологического процесса переработки отходов, включая и РАО.

Задачи выпускной квалификационной работы решены. Поставленные в «Техническом задании» проекта цели достигнуты.

					13.03.02.2019.200 ПЗ ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		68

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Финкельнбург В., Меккер Г. Электрические дуги и термическая плазма. М.: Изд-во иностранной литературы, 1961. 370 с.
2. Даутов Г.Ю., Жуков М.Ф. Некоторые результаты исследований свойств дуги, стабилизированной водой // ПМТФ. 1962. № 2. С. 32–36.
3. Рудяк Э.М., Болотов А.В., Кудасов Б.М. Энергетические характеристики водяного плазмотрона // Тезисы докл. VI Всесоюз. конф. по генераторам низкотемп. плазмы. Фрунзе: ИФМ АН Кирг. ССР, 1974. С. 177–180.
4. Алымов Б.Д., Полуянский С.А., Галяс А.А. и др. Исследование тепловых параметров плазменных горелок, работающих на воздухе, воздушно-водяной смеси, паре // Тр. IV Всесоюз. конф. «Физика, техника и применение низкотемпературной плазмы», Алма-Ата, 1–3 декабря 1970. Алма-Ата: КазПТИ, 1970. С. 551–553. 5
5. Основы расчета плазмотронов линейной схемы / Под общ. ред. М.Ф. Жукова. Новосибирск: ИТФ СО АН СССР, 1979. 148 с.
6. Аньшаков А.С., Радько С.И., Урбах Э.К., Урбах А.Э., Фалеев В.А. Электродуговой плазмотрон для нагрева водяного пара // Теплофизика и аэромеханика. 2012. Т. 19, № 6. С. 761–763.
7. Жуков М.Ф., Засыпкин И.М., Тимошевский А.Н., Михайлов Б.И., Десятков Г.А. Электродуговые генераторы термической плазмы // Новосибирск: Наука, 1999. 712 с.
8. Михайлов Б.И. Генерирование электродуговой пароводяной плазмы // Генерация низкотемпературной плазмы и плазменные технологии. Проблемы и перспективы / Даутов Г.Ю., Тимошевский А.Н., Урюков Б.И. и др. – Новосибирск: Наука, 2004. – с. 105 – 145;
9. S.A. Dmitriev, V.A. Gorbunov, I.A. Knyazev, A.P. Kobelev, V.I. Kornev, F.A. Lifanov, M.A. Polkanov, V.N. Popkov, A.E. Savkin, I.A. Sobolev,

					13.03.02.2019.200 ПЗ ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		69

I.D. Tolstov, N.V. Vitik: High Temperature Treatment of Radioactive Waste at Moscow SIA RADON. – Proc. ENS Topseal'99 "RAWM: Commitment to the Future Environment". Antwerp, Belgium, 1999. V. 1, p. 193-200.

10. Дмитриев С.А., Лифанов Ф.А., Полканов М.А., Горбунов В.А., Спириин Н.А., Осколков Ю.А., Буров М.Ю., Швецов С.Ю. Совершенствование технологии термической переработки твердых РАО с использованием плазменных устройств нагрева. – Охрана окружающей среды и обращение с РАО научно-промышленных центров. Итоги научной деятельности МосНПО "Радон" за 2000 год. – Радон-Пресс, 2001 г., вып. 8, т.1, с. 5-11.
11. Дмитриев С.А., Лифанов Ф.А., Попков В.Н., Полканов М.А., Горбунов В.А., Спириин Н.А., Швецов С.Ю., Витик Н.В. Совершенствование технологии термической переработки твердых РАО с использованием плазменных устройств нагрева. – Охрана окружающей среды и обращение с РАО научно-промышленных центров. Итоги научной деятельности ГУП МосНПО "Радон" за 2001 год. – Радон-Пресс, 2002 г., вып. 9, т.1, с. 5-9. [4] S. Yasui, K. Adachi, T. Amakawa. Vaporisation behavior of Cs in plasma melting of simulated low level miscellaneous solid waste. Jpn. J. Appl. Phys, Vol. 36 (1997), pp. 5741-5746.
12. Основы расчета плазмотронов линейной схемы / Под ред. М.Ф. Жукова. – Новосибирск, 1979. – 146 с.
13. Варгафтик Н.Б. Справочник по теплофизическим свойствам газов и жидкостей. – 2-е изд., доп. и перераб. – М.: Наука, 1972. – 720 с.
14. US-600 - Стабилизированный источник питания постоянного тока [Электронный ресурс]. – URL: <https://niro-trade.kz/p54041047-600-stabilizirovannyj-istochnik.html>

					13.03.02.2019.200 ПЗ ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		70

- 15.Плазмотрон «Торнадо». Основные технические характеристики плазмотрона «Торнадо» [Электронный ресурс]. –URL: http://www.radon.ru/line_activity/rao/processing_rao/tornado/
- 16.Что такое газификация? [Электронный ресурс]. –URL: <http://www.premen.ru/ru/content/gasif/>
- 17.Плазмотрон для плазменной резки –устройство и виды [Электронный ресурс]. –URL: <https://wikimetall.ru/oborudovanie/plazmotron-dlya-plazmennoy-rezki.html>
- 18.Низкотемпературная плазма. ВЧ- и СВЧ-плазмтроны /под ред. Дресвина С.В., Русанова В.Д. - Новосибирск: Наука, 1992 г. - 320 с.
- 19.Райзер Ю.П. Физика газового разряда: учеб. руководство - М.: Наука, 1987 г. - 592 с.
- 20.Корохов О.А., Кузьмин Л.А. Мегаваттный ВЧ-плазмотрон с пористой разрядной камерой - Новосибирск: Наука, 1989 г. - 144 с.
- 21.Дресвин С.В., Донской А.В., Ратников Д.Г. Высококачественный индукционный разряд в камере с металлическими водоохлаждаемыми стенками - М.: Наука, 1965 г. - 152 с.
- 22.Григорович Р., Кристеску Д. - К теории ВЧФ-разряда - М.: Наука, 1985 г. - 108 с.
- 23.Васильев А.С. Ламповые генераторы для ВЧ-нагрева - Спб: Машиностроение, 1979 г. - 87 с.
- 24.Разработка и исследование электротехнологического оборудования для переработки техногенных отходов с использованием пароводяного плазмотрона : диссертация ... кандидата технических наук : 05.09.10 / Радько Сергей Иванович; [Место защиты: Новосиб. гос. техн. ун-т]. - Новосибирск, 2014. - 124 с.

					13.03.02.2019.200 ПЗ ВКР	Лист
						71
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

ЮЖНО-УРАЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

Институт Политехнический
Факультет Энергетический
Направление Электроэнергетика и электротехника

УТВЕРЖДАЮ:

Зав. кафедрой

_____ 20 г.
“ ” _____

ЗАДАНИЕ

*по выпускной квалификационной работе
студента*

Белова Романа Дмитриевича

(фамилия, имя, отчество)

1. Тема выпускного квалификационного проекта

Повышение энергоэффективности печи "Плутон" для сжигания отходов.

утверждена приказом по университету от “ ” 20 г. № _____

2. Срок сдачи студентом законченного ВКР _____

					13.03.02.2019.200 ПЗ ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		72

3. Содержание расчетно-пояснительной записки (перечень подлежащих разработке вопросов)

3.1 Аналитический обзор по теме: Установки для утилизации отходов.

3.2 Технология газификации отходов.

3.3 Сравнение переработки отходов в России с другими развитыми странами.

3.4 Устройство и вид печи "Плутон".

3.5 Разработка новой схемы работы печи. Выбор плазмотрона для повышения энергоэффективности установки Плутон.

3.6 Расчет плазмотрона и определение его характеристик.

3.7 Противоточный теплообмен (ПТТО) в печи шахтного типа установка «Плутон»

3.8 Расчет и исследование конструкции плазмотрона "ЭПОС Инжиниринг".

3.9 Моделирование в программной среде Ansys Mechanical.

4. Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей)

4.1. Структура пароводяного плазмотрона.

4.2. Технология газификации процесса.

4.3. Графическая модель печи и распределение её теплового поля внутри установки.

Зав.кафедрой _____ / _____ /

Руководитель проекта _____ / _____ /

Студент-дипломник _____ / _____ /

									Лист
									73
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата					

13.03.02.2019.200 ПЗ ВКР

КАЛЕНДАРНЫЙ ПЛАН

Наименование этапов выпускной квалификационной работы	Срок выполнения этапов работы	Отметка о выполнении руководителя
Суть газификации мусора	Ноябрь 2018	
Аналитический обзор установок для утилизации отходов.	19.01 – 26.01	
Устройство и вид печи «Плутон»	28.01 – 10.02	
Разработка новой схемы работы печи. Выбор плазмотрона для повышения энергоэффективности установки Плутон.	1.03 – 7.03	
Расчет плазмотрона и определение его характеристик	10.03 – 20.03	
Расчетная Часть. Противоточный теплообмен (ПТТО) в печи шахтного типа установка «Плутон»	25.03 – 5.04	
Моделирование печи в программной среде Ansys Mechanical.	15.04 – 25.04	

Заведующий кафедрой _____ /И.О. Ф. _____ /

Руководитель работы (проекта) _____ /И.О. Ф. _____ /

Студент _____ /И.О. Ф. _____ /

					13.03.02.2019.200 ПЗ ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		74