

Министерство образования и науки Российской Федерации
Национальный исследовательский Томский политехнический университет
Физико-технический институт
Кафедра технической физики

УТВЕРЖДАЮ
Директор ФТИ
О.Ю. Долматов
« ____ » _____ 2016г.

ПЛАЗМОХИМИЧЕСКАЯ ДЕНИТРАЦИЯ ВОДНОСОЛЕВЫХ СОЕДИНЕНИЙ ТУГОПЛАВКИХ МЕТАЛЛОВ

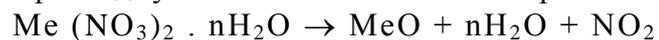
Методические указания к лабораторному практикуму по курсу
Плазменные технологии переработки веществ
для студентов направления 14.03.02 «Ядерная физика и технологии»
Физико-технического института

1. Цель работы

1. Ознакомление с устройством, принципом действия и режимами работы плазмохимической установки (ПЗХУ) для переработки водносолевых соединений тугоплавких металлов.
2. Расчет плазмохимического процесса переработки водносолевых соединений тугоплавких металлов (денитрации цирконилнитрата $ZrO(NO_3)_2 \cdot 2H_2O$ в условиях плазмы ВЧ-факельного разряда).
3. Экспериментальное изучение режимов плазмохимического процесса денитрации цирконилнитрата $ZrO(NO_3)_2 \cdot 2H_2O$ в условиях плазмы ВЧ-факельного разряда.
4. Обработка и анализ полученных результатов, выбор оптимальных режимов плазмохимического процесса денитрации цирконилнитрата $ZrO(NO_3)_2 \cdot 2H_2O$ в условиях плазмы ВЧ-факельного разряда.

2. Промышленная переработка водносолевых растворов.

Переработка растворов. Большие количества технологических растворов солей металлов образуются в цветной и черной металлургии, в производстве редких и рассеянных элементов, в многочисленных процессах химической промышленности. Такие растворы образуются в результате обработки кислотами различных минералов и металлов и часто являются нежелательными побочными продуктами. В то же время они могут служить сырьевой базой для получения оксидов металлов путем термического разложения. Например, процесс термолиза раствора нитрата двухвалентного металла протекает по схеме



т.е. в результате термического разложения получают конденсированный оксид и газовую фазу, состоящую из водяного пара, кислорода и оксидов азота. При переработке смеси растворов нескольких элементов могут быть получены смешанные оксиды и их химические соединения, например, шпинели.

Несмотря на простоту рассматриваемого процесса его редко реализуют в промышленности. Это связано с тем, что удельная энтальпия наиболее удобных газообразных теплоносителей (например, продуктов сгорания) в большинстве случаев недостаточна для осуществления энергоемких процессов испарения растворителя и термического разложения солей в приемлемых пространственно-временных границах. Значительное разбавление системы теплоносителем и быстрое снижение скорости процессов при понижении температуры приводят к значительному увеличению габаритов оборудования.

Применение в качестве теплоносителя плазмы, обладающей высокой удельной энтальпией, позволяет сделать процесс непрерывным, высокоинтенсивным, совместить отдельные технологические стадии. Характерная продолжительность переработки раствора в конечный продукт не превышает при этом 1 с.

Схема переработки растворов в плазмохимическом реакторе. Процесс переработки раствора протекает в три стадии:

- 1) нагрев капель раствора высокоэнтальпийным газом (плазмой) до температуры равновесного испарения;
- 2) испарение растворителя при температуре равновесного испарения;
- 3) нагрев, термическое разложение растворенных веществ и образование целевого продукта.

Такое деление на стадии условно, поскольку часть процессов протекает параллельно (рис. 69). Так, распыленный форсункой раствор подается в зону смешения 1 реактора, где перемешивается с плазменными струями. В результате межкомпонентного теплообмена в зоне 2 капли раствора нагреваются плазмой до температуры кипения и происходит удаление растворителя из раствора. Далее в зоне 3 происходит нагревание обезвоженных солей до температуры начала термического разложения, затем идут два параллельно-последовательных

процесса: термическое разложение солей до оксидов и кристаллизация оксидов. Температура образующихся частиц близка к температуре газовой фазы. В этих условиях могут протекать твердофазные реакции синтеза сложных соединений из простых оксидов. Двухфазный поток, содержащий целевые продукты в виде твердых частиц, распределенных в газовой фазе, выводится из реактора и, при необходимости, подвергается закалке в зоне 4. Далее система подается на разделение и очистку.

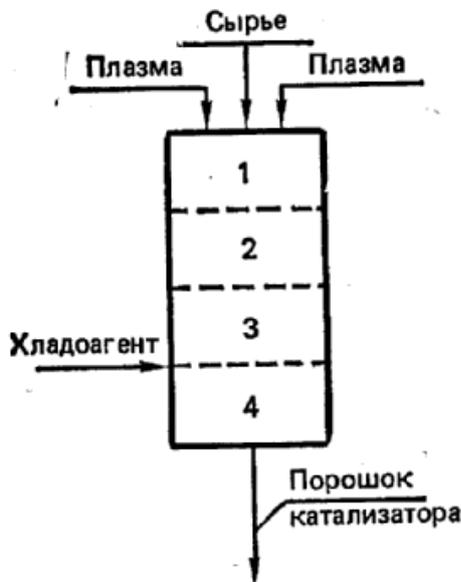


Рис. 69. Схема переработки растворов в плазмохимическом реакторе.

Большое влияние на скорость процессов теплообмена и химических реакций оказывает начальный размер капель раствора.

Известно, что скорость этих процессов пропорциональна площади поверхности раздела фаз, а последняя пропорциональна квадрату диаметра капли.

Таким образом, целевые продукты из мелких капель получают значительно быстрее, чем из крупных, т. е. процесс можно представить как многоканальный, идущий в разных пространственно-временных координатах для каждой группы капель. Образовавшиеся ранее более мелкие частицы могут претерпевать нежелательные превращения, например, оплавление, фазовые переходы, спекание и другие, в то время как процессы образования целевых продуктов из крупных частиц еще не будут завершены. Это серьезное препятствие для получения продуктов с однородными свойствами.

Для повышения качества целевых продуктов следует принять меры к увеличению времени пребывания в реакторе крупных капель и к уменьшению мелких. Такой эффект возможен, во-первых, при встречной подаче капель раствора и плазменных струй и, во-вторых, при интенсификации процессов тепло- и массообмена крупных капель с газом за счет наложения на поток колебаний соответствующей частоты.

Размер капель можно регулировать изменением геометрических и рабочих параметров распыляющих устройств (форсунок), а также изменением вязкости и поверхностного натяжения раствора.

Если следовать представлениям, что капля раствора с начальным диаметром d_0 превращается в твердую частицу с диаметром d , то последний может быть найден из соотношения

$$d = d_0 \left(\frac{x\rho_0}{100\rho} \right)^{\frac{1}{3}}$$

где x — концентрация раствора в пересчете на оксиды; ρ_0 — плотность раствора; ρ — плотность частицы, кг/м³.

Опыт показывает, что во многих случаях размер полученных частиц меньше рассчитанного по последнему уравнению. Это свидетельствует о том, что в процессе переработки раствора происходит либо вторичное дробление капель, либо образовавшиеся частицы разрушаются выделяющимися газообразными продуктами реакции или внутренними напряжениями.

Отметим, что качество получаемых продуктов зависит не только от технологических параметров плазмохимического процесса, но и от свойств исходного раствора. Например, предварительное формирование в растворе координационных соединений с необходимым соотношением компонентов и изменение его концентрации и кислотности позволяют регулировать глубину синтеза сложных оксидных соединений, пористость и удельную поверхность получаемых материалов.

В качестве примера на рис. 70 приведены типичные результаты расчета основных параметров процесса разложения нитрида марганца в воздушно-плазменном теплоносителе при диаметре реактора 0,25 м, мощности, вносимой теплоносителем, 150 кВт, начальной температуре теплоносителя 4000 К, диаметре капель раствора 100 мкм, массовом расходе раствора 0,023 кг/с и концентрации раствора по марганцу 0,3 кг/кг.

Из рис. 70 видно, что полное разложение раствора на оксиды марганца ($\varphi = 1$), водяной пар и оксиды азота происходит за 0,13 с.

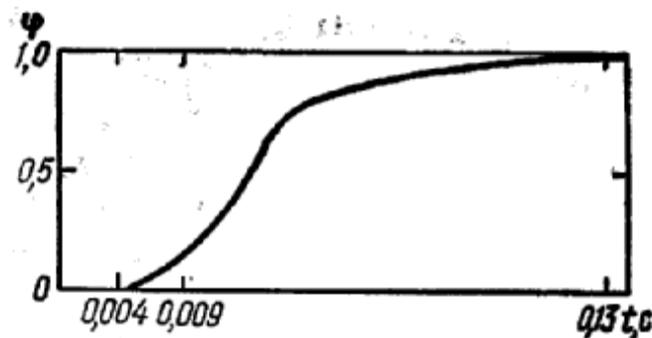


Рис. 70. Временная зависимость степени превращения нитрида марганца в плазме воздуха

3. Описание плазмохимической установки.

Установка для плазмохимической денитрации цирконилнитрата $ZrO(NO_3)_2 \cdot 2H_2O$ в условиях плазмы ВЧ-факельного разряда. (см. рис. 8) состоит из высокочастотного генератора ВЧГ8-60/13 (источника питания) **1** и технологического блока **2**.

Высокочастотный генератор ВЧГ8-60/13 размещён в экранированном металлическом шкафу, обеспечивающем надёжную защиту от электромагнитного излучения. Основные технические характеристики генератора ВЧГ8-60/13 приведены в таблице 3.

Таб. 3. Технические характеристики ВЧГ 8-60/13

ВЕЛИЧИНА	Ед. изм.	Значение
Напряжение питающей сети	В	380
Частота питающей сети	Гц	50
Потребляемая мощность	кВт	90
Колебательная мощность	кВт	60±6
Рабочая частота	МГц	13,56±0,13
Коэффициент полезного действия	%	не менее 75
Напряжение анодное	кВ	10,4÷10,5
Ток анодный	А	7,6÷7,7
Ток сеточный	А	1,8
Расход охлаждающей воды	м ³ /ч	не менее 1,4

Технологический блок 2, также как и генератор, выполнен в виде экранированного металлического шкафа, обеспечивающего надёжную защиту от электромагнитного излучения, включает следующие основные узлы: высокочастотный плазмотрон факельного типа 3, плазмохимический реактор 4, узлы «сухой» 5 и «мокрой» 6 очистки отходящих газов.

Высокочастотный плазмотрон 3 факельного типа предназначен для генерирования потоков воздушной плазмы с температурой до 4000К.

В плазмотроне 3 в условиях воздушной плазмы происходит процесс связывания атмосферного азота с образованием NO. Узел «сухой» очистки 5 отходящих газов от высокодисперсных механических примесей (пыль) включает прямоточные циклоны и обеспечивает очистку отходящих газов от этих примесей до 96 ÷ 98 %.

Узел «мокрой» очистки 6, включающий центробежно-барботажный аппарат, погружной водяной насос и вытяжной вентилятор, обеспечивает доочистку отходящих газов от высокодисперсных механических примесей (пыль) и вредных газообразных веществ.

Компрессор 7 предназначен для дозированной подачи плазмообразующего газа в высокочастотный факельный плазмотрон 3.

Технологический процесс плазмохимической фиксации атмосферного азота осуществляется следующим образом. В высокочастотном факельном плазмотроне 3 в условиях воздушной плазмы происходит связывание атмосферного азота с образованием NO. Образующиеся газообразные продукты проходят через реактор 4, узлы «сухой» и «мокрой» очистки отходящих газов. Замеры NO производятся газоанализатором КАСКАД-512.2 на выходе из реактора 4. Очищенные отходящие газы выбрасываются в атмосферу.

4. ИНСТРУКЦИЯ

по охране труда при работе на плазмохимической установке на базе высокочастотного генератора ВЧГ8-60/13

1. ОБЩИЕ ТРЕБОВАНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ.

1.1. К работе на плазмохимической установке (далее установка) допускаются лица, не моложе 18-ти лет, прошедшие медосмотр, инструктаж на рабочем месте, имеющие

профессиональную подготовку, соответствующую характеру работ, прошедшие проверку знаний по вопросам охраны труда.

Периодичность повторного инструктажа один раз в квартал.

1.2. Работники, осуществляющие пуско-наладочные, ремонтные работы, периодические плановые осмотры, а также отработку плазмохимической технологии в электроустановках выше 1000 В, должны иметь IV группу по электробезопасности, остальные работники – группу III.

1.3. Все виды работ на установке производятся группой не менее 2-х человек, один из которых имеет IV квалификационную группу по электробезопасности (напряжение выше 1000 В).

1.3.1. ЗАПРЕЩАЕТСЯ работать на установке одному человеку и оставлять включенную установку без присмотра.

1.3.2. Лабораторные работы со студентами проводятся только в присутствии и под руководством преподавателя

1.4. Работы по наладке, настройке и регулированию технологических режимов работы установки производятся работниками в соответствии с настоящей инструкцией.

1.5. Все работы по наладке и настройке генератора производятся по письменному распоряжению и в соответствии с «Программой пуско-наладочных работ для генератора ВЧГ8-60/13».

1.6. Установка для плазмокаталитической утилизации нефтяных шламов состоит из высокочастотного генератора (источника питания) и технологического блока, которые размещены в металлических корпусах.

Таб. 1. Технические характеристики ВЧГ 8-60/13

Величина	Ед. изм.	Значение
Напряжение питающей сети	В	380
Частота питающей сети	Гц	50
Потребляемая мощность	кВт	90
Колебательная мощность	кВт	60±6
Рабочая частота	МГц	13,56±0,13
Напряжение анодное	кВ	10,4÷10,5
Ток анодный	А	7,6÷7,7
Ток сеточный	А	1,8
Расход охлаждающей воды	м ³ /ч	не менее 1,4

Технологический блок включает следующие основные узлы: высокочастотный плазмотрон факельного типа, реактор, узлы «сухой» и «мокрой» очистки отходящих газов.

Работа установки автоматизирована, управление работой всего технологического оборудования производится с пульта управления и контроля за технологическим процессом, питание которого производится от сети переменного тока напряжением 380В.

1.7. Все работники должны соблюдать правила внутреннего трудового распорядка.

1.8. На рабочем месте возле установки должна быть вывешена краткая инструкция по охране труда, в которой для работников указываются основные требования по безопасным приёмам работы, а также требования к защитным, предохранительным и блокировочным устройствам.

1.9. Работа на установке характеризуется следующими вредными и опасными факторами, воздействие которых на работников может привести к несчастному случаю:

- а) высокое напряжение;
- б) электромагнитное излучение;
- в) ультрафиолетовое излучение;
- г) световое излучение;
- д) воздействие вредных веществ (например, окислов азота, серы, углерода и т. п.)

Во избежание несчастных случаев каждый работник должен строго соблюдать требования правил, норм и инструкций.

Для создания безопасных условий труда предусмотрены следующие меры защиты:

1.9.1. Токоведущие части установки изолированы, в результате чего находятся в недоступных для работающих местах. «Поджиг» высокочастотного электрического разряда в плазмотроне, требующий прикосновения проводником к электроду, автоматизирован, что исключает случайное прикосновение персонала к электроду.

Металлические части установки, которые могут вследствие повреждения изоляции оказаться под напряжением, заземлены. Замер сопротивления контура заземления производится ежегодно.

1.9.2. Установка размещена в металлических корпусах, экранирующих электромагнитное и ультрафиолетовое излучение. ЗАПРЕЩЕНО во время работы установки, открывать двери генератора и технологического блока. При соблюдении указанных мер излучение не превышает допустимого.

1.9.3. Смотровое окно на дверях технологического блока установки должно быть оснащено экранирующей металлической сеткой.

1.9.4. Установка оснащена вытяжной системой вентиляции, системой очистки отходящих газов, защищающих работников от вредных газообразных и конденсированных веществ, образующихся в процессе работы.

1.10. Защитные ограждения (открывающиеся и съёмные) должны иметь электромеханические блокировки, автоматически отключающие подачу напряжения на установку при их открывании.

ЗАПРЕЩАЕТСЯ работать на установке при неисправных дверных блокировках, открытых дверях генератора и технологического блока установки.

1.11. Крепление блокировочных устройств должно быть надёжным, исключающим случаи самооткрывания.

1.12. В случае прекращения подачи электроэнергии, во время перерыва в работе или в аварийной ситуации установка должна быть отключена от питающей сети.

1.13. Периодические осмотры и планово-предупредительные ремонты генератора, производятся по графикам, утверждённым руководителем работ.

1.14. Осмотр и ремонтные работы на установке производить при её полном отключении от источников питания. При этом необходимы:

а) видимый разрыв в виде отключения разъединителя входного рубильника с последующим снятием предохранителей;

б) на приводах (рукоятках приводов) коммутационных аппаратов во избежании подачи напряжения на рабочее место должны быть вывешены плакаты «НЕ ВКЛЮЧАТЬ, РАБОТАЮТ ЛЮДИ»;

г) проверка отсутствия напряжения на отходящих кабельных линиях питающих установку;

д) заземление конденсаторных установок.

1.15. Установка должна быть обеспечена следующими защитными средствами:

а) штанга оперативная на напряжение до 35 кВ – 1 шт.;

б) указатель напряжения УВН-110 на напряжение до 20 кВ – 1 шт.;

в) клещи токоизмерительные К4570/1Ц – 1 шт.;

г) диэлектрические перчатки – 2 пары;

д) диэлектрические боты – 1 пара;

е) диэлектрические коврики 2 шт.;

ж) переносное заземление ЗПП-15 – 1 шт.;

з) защитные очки – 2 пары;

и) щипцы (пассатижи) – 1 шт.;

к) халаты – 2 шт.

1.16. Все работники обеспечиваются спецодеждой, спецобувью и средствами индивидуальной защиты.

1.17. В случае травмирования работников необходимо оказать доврачебную помощь, если необходимо, вызвать скорую помощь по тел. 03, сообщить руководителю работ.

1.18. Запрещено принимать пищу на рабочем месте.

1.19. Лица, виновные в нарушении требований инструкций по охране труда, несут ответственность в соответствии с законодательством РФ.

2. ТРЕБОВАНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ ПЕРЕД НАЧАЛОМ РАБОТЫ.

2.1. Привести в порядок рабочую одежду, застегнуть рукава, провести внешний осмотр установки, проверить наличие и надёжность заземления и защитных средств.

2.2. Проверить наличие и исправность:

- а) предохранительных устройств;
- б) блокирующих устройств;
- в) наличие напора воды в водопроводе;
- г) работу компрессоров;
- д) системы мокрой очистки отходящих газов;

2.3. Результаты осмотра и принятые меры по ликвидации выявленных нарушений техники безопасности заносятся в рабочий журнал установки.

При осмотре обращать внимание:

а) на безотказность работы всех блокирующих устройств, обеспечивающих безопасные условия работы персонала, необходимую чёткость и очередность включения всех элементов генератора и установки в целом;

б) на надёжность экранирования и заземления корпуса генератора и технологического блока и компрессора;

в) на чистоту контактов пускорегулирующей аппаратуры;

г) на отсутствие пыли на токоведущих частях и изоляторах.

При обнаружении неисправностей блокировочных устройств до их устранения установку включать категорически ЗАПРЕЩАЕТСЯ.

2.4. Запрещается работать на установке при обнаружении каких-либо неисправностей работы оборудования, отсутствии защитных средств или истечении сроков их годности.

2.5. Необходимо внимательно ознакомиться с плановым заданием на проведение работ на установке, наличием и состоянием исходных материалов (сырья) и безопасным обращением с ними.

2.6. Персоналу до полного ознакомления с плановым заданием работ на установке категорически ЗАПРЕЩАЕТСЯ включать и выключать рубильники, выключатели, открывать и закрывать вентили, краны, открывать крышки приборов, крутить рукоятки и т.п.

3. ТРЕБОВАНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ ВО ВРЕМЯ РАБОТЫ.

3.1. Для исключения аварийных ситуаций, для безопасного выполнения работ необходимо строго соблюдать указанную последовательность запуска установки:

3.1.1. Включить в генераторе автоматические выключатели **F1, F2**.

3.1.2. Поставить в генераторе переключатель мощности в положение 50 или 100 % (в соответствии с плановым заданием).

3.1.3. Закрыть все двери генератора и технологического блока.

3.1.4. Включить рубильник **Q1** на генераторном блоке.

3.1.5. Включить рубильник на питающем щите, при этом включается вентилятор воздушного охлаждения генераторной лампы.

3.1.6. Подать охлаждающую воду общим краном на водяном коллекторе, при этом на генераторе загорится сигнальная лампа **«ОХЛАЖДЕНИЕ»**.

3.1.7. Включить на генераторе первую ступень накала кнопкой **S2**. Через 40 сек кнопкой **S1** включить вторую ступень накала. Загорается белая сигнальная лампа **«БЛОКИРОВКА АНОДНОГО НАПРЯЖЕНИЯ»**.

3.1.8. Поставить на генераторе тумблер **S10** на генераторном блоке в положение **«РУЧНАЯ РАБОТА»**.

3.1.9. Включить систему «мокрой» очистки отходящих из реактора газов **6**.

3.1.10. Включить компрессор **7** и подать в плазмотрон **3** плазмообразующий газ.

3.1.11. Нажатием кнопки **S3** на генераторе включить **«НАГРЕВ»** и подать высокое напряжение на электрод плазмотрона, одновременно «поджечь» разряд в плазмотроне **7** с помощью автоматического устройства.

3.2. Во время работы установки запрещается открывать, снимать ограждения, отключать предохранительные и блокирующие устройства. Все работы производить при закрытых дверях генератора и технологического блока.

3.3. Во время работы установки следить за индикаторными лампами **«ОХЛАЖДЕНИЕ»**, **«НАКАЛ»**, **«НАГРЕВ»** на генераторе и датчиками расхода плазмообразующего газа, охлаждающей воды на пульте управления технологического блока.

3.4. Периодически снимать режимные параметры работы установки и заносить их в рабочий журнал. При необходимости производить корректировку этих параметров в соответствии с плановым заданием.

3.5. Во время работы установки следить за сигнальной лампой режима **«РАБОТА»**, расположенной на пульте управления и контроля за технологическим процессом, при сбое технологического режима, автоматически выключается режим **«НАГРЕВ»** генератора и электроприводы подачи шлама, что сопровождается сигналом звонка.

3.6. В случае возникновения аварийной ситуации: локальный прогар стенок реактора при «закорачивании» высокотемпературного канала высокочастотного факельного разряда на металлическую поверхность внутренних стенок реактора, – термомпара показывает всплеск температуры, необходимо выполнить требования п.4.

4. ТРЕБОВАНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ В АВАРИЙНЫХ СИТУАЦИЯХ.

4.1 В случае возникновения аварийной ситуации необходимо незамедлительно кнопкой **S5** отключить подачу высокого напряжения на установку.

4.2 Кнопкой **S4** отключить накал генераторной лампы.

4.3. Не менее, чем через 10 минут после отключения накала, перекрыть кран на водяном коллекторе, подающим охлаждающую воду.

4.4. Не менее, чем через 10 минут после отключения накала, отключить вентилятор обдува генераторной лампы рубильником **Q1**.

4.5. Отключить компрессор **7** и прекратить подачу плазмообразующего газа в плазмотрон **3**.

4.6. Не менее, чем через 10 минут после отключения накала, отключить систему мокрой очистки отходящих из реактора газов **6**.

4.7. Отключить трёхфазный рубильник на питающем щите.

4.9. Принять меры по ликвидации аварии, немедленно сообщить руководителю работ.

4.10. В случае травмирования работников, немедленно после вызова скорой помощи по тел. 03, приступить к оказанию доврачебной помощи, сообщить руководителю работ.

4.11. Устранить воздействие на организм пострадавшего повреждающих факторов, угрожающих его здоровью и жизни (освободить от действия электрического тока, погасить горящую одежду); вывести пострадавшего на свежий воздух, обеспечить полный покой, усадить в удобное кресло или уложить, предохраняя от охлаждения.

4.12. *При поражении электрическим током* необходимо как можно скорее освободить пострадавшего от действия электрического тока, так как от продолжительности этого действия зависит тяжесть электротравмы, поэтому необходимо немедленно отключить ту часть установки, которой касается пострадавший.

Если невозможно произвести быстрое отключение установки, то необходимо отделить пострадавшего от токоведущих частей (палкой, доской, оттянуть за полы пиджака, руками, обмотанными шарфом и т. п.)

4.13. После освобождения пострадавшего от действия повреждающих факторов необходимо оценить его состояние:

а) сознание: ясное, отсутствует;

б) дыхание: нормальное, отсутствует;

в) пульс на сонных артериях: хорошо определяется, плохо определяется.

4.14. Если пострадавший находится в сознании, но до этого был в обмороке с сохранившимся устойчивым дыханием и пульсом, следует выполнить следующие действия:

а) уложить пострадавшего на подстилку, например из одежды;

б) расстегнуть одежду, стесняющую дыхание;

в) обеспечить приток свежего воздуха;

г) освободить помещение от посторонних людей и создать полный покой, наблюдая за пульсом и дыханием.

4.15. Если пострадавший дышит очень редко и судорожно, но у него прощупывается пульс, необходимо сразу же начать делать искусственное дыхание. Для этого, прежде всего, необходимо обеспечить проходимость верхних дыхательных путей (пальцем, обвёрнутым бинтом или тканью удалить из полости рта инородное содержание). Затем оказывающий помощь располагается сбоку от головы пострадавшего, одну руку подсовывает под пострадавшего, а ладонью другой руки надавливает на его лоб, запрокидывая голову. Оказывающий помощь делает глубокий вдох открытым ртом, плотно охватывает губами открытый рот пострадавшего и делает энергичный выдох, с некоторым усилием вдувая воздух в его рот; одновременно он закрывает нос пострадавшего щекой. Как только грудная клетка поднялась, нагнетание воздуха приостанавливают.

4.16. Если у пострадавшего отсутствует сознание, дыхание, пульс, кожный покров синюшный, необходимо немедленно кроме искусственного дыхания делать наружный массаж сердца.

Оказывающий помощь располагается сбоку от пострадавшего, и, наклонившись, делает два быстрых вдувания, затем поднимается, оставаясь на этой же стороне от пострадавшего, ладонь одной руки кладёт на нижнюю половину грудины (отступив на два пальца выше от её нижнего края), а пальцы приподнимает. Ладонь второй руки он кладёт поверх первой, поперёк или вдоль и надавливает, помогая наклоном своего корпуса.

Надавливание следует производить быстрыми толчками, так чтобы смещать грудину на 4 - 5 см, продолжительность надавливания не более 0,5 с. За 1 минуту необходимо сделать не менее 60 надавливаний и 12 вдуваний.

4.17. *Первая помощь при ожогах:* на обожжённый участок кожи наложить стерильную повязку. Нельзя обожжённый участок кожи смазывать мазями, присыпать питьевой содой, вскрывать пузыри, удалять прилипшие вещества. Обожжённое лицо необходимо закрывать стерильной марлей.

При ожогах глаз ультрафиолетовым излучением разряда следует делать холодные примочки из раствора борной кислоты ($\frac{1}{2}$ чайной ложки на 1 стакан воды).

При обширных ожогах кожи пострадавшего необходимо завернуть в чистую простынь, не раздевая, напоить тёплым чаем и создать покой до прибытия врача.

5. ТРЕБОВАНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ ПО ОКОНЧАНИИ РАБОТ.

5.1. Через 5 – 10 минут кнопкой **S5** отключить подачу высокого напряжения на установку.

5.2. Кнопкой **S4** отключить накал генераторной лампы.

5.3. Не менее, чем через 10 минут после выключения накала, перекрыть кран на водяном коллекторе, подающим охлаждающую воду.

5.4. Не менее, чем через 10 минут после выключения накала, выключить вентилятор обдува генераторной лампы рубильником **Q1**.

5.5. Отключить компрессор **7** и прекратить подачу плазмообразующего газа в плазмотрон **3**.

5.6. Не менее, чем через 10 минут после выключения накала, отключить работу системы «мокрой» очистки отходящих из реактора газов **6**.

5.7. Поставить в исходное положение все переключатели.

5.8. Выключить трёхфазный рубильник на питающем щите.

5.9. Привести в порядок рабочее место.

5.10. О замеченных неисправностях сообщить руководителю работ и занести в рабочий журнал.

5. Требования к содержанию отчета

Отчет по лабораторной работе должен содержать:

1. Цель проведения работы.
2. Краткое описание промышленных способов переработки водносолевых соединений тугоплавких металлов.
3. Структурную схему лабораторной плазмохимической установки для изучения процесса плазмохимической денитрации цирконилнитрата $ZrO(NO_3)_2 \cdot 2H_2O$ в условиях плазмы ВЧ-факельного разряда.
4. Графические результаты расчетов равновесных составов продуктов плазмохимической денитрации цирконилнитрата $ZrO(NO_3)_2 \cdot 2H_2O$ в условиях плазмы ВЧ-факельного разряда.
5. Табличные и графические результаты расчетов удельных энергозатрат на процесс плазмохимической денитрации цирконилнитрата $ZrO(NO_3)_2 \cdot 2H_2O$ в условиях плазмы ВЧ-факельного разряда.
6. Табличные и графические результаты экспериментального изучения режимов плазмохимической денитрации цирконилнитрата $ZrO(NO_3)_2 \cdot 2H_2O$ в условиях плазмы ВЧ-факельного разряда. Обработка и анализ полученных результатов. Выбор оптимальных режимов.
7. Выводы.

8. Порядок выполнения работы.

Теоретическая часть.

1. При помощи программного комплекса «Астра-3» определить равновесные составы продуктов плазмохимического процесса плазмохимической денитрации цирконилнитрата

ZrO(NO₃)₂·2H₂O в условиях плазмы ВЧ-факельного разряда при следующих исходных значениях:

Плазмообразующий газ: воздух; воздух – водяной пар; воздух – СЗН8.

Интервал рабочих температур: 300 – 4000 К

Давление: 0.1, 0.5, 1 МПа

2. Определить общие $\mathcal{E}_{\text{общ}}$ и удельные $\mathcal{E}_{\text{уд}}$ теоретические энергозатраты на исследуемый процесс.:

$$\mathcal{E}_{\text{общ}} = H_{\Gamma} - H_{300}$$

$$\mathcal{E}_{\text{уд}} = \frac{\mathcal{E}_{\text{общ}}}{C_{\text{NO}}}$$

3. Полученные данные ($\mathcal{E}_{\text{общ}} = f(T)$) и ($\mathcal{E}_{\text{уд}} = f(T)$) представить в виде таблиц и графиков.

4. Определить оптимальные условия получения NO/

Практическая часть

1. Определить при $I_a = (3 \dots 5)$ А мощность, потребляемая генератором от сети

$$P_0 = I_a \cdot U_a,$$

где I_a – анодный ток, U_a – напряжение на аноде.

2. Определить калориметрированием потери мощности на водоохлаждаемых элементах генератора:

2.1. Потери мощности на аноде генераторной лампы

$$P_a = Q_a \cdot \Delta t_a \cdot 4.186,$$

где Q_a - массовый расход воды для охлаждения анода (г/с), $\Delta t_a = t_{\text{ак}} - t_{\text{ан}}$ - разность температур охлаждаемой воды на аноде (°C)

2.2. Потери мощности на сеточной индуктивности и анодном трансформаторе

$$P_{Lc} = Q_{Lc} \cdot \Delta t_{Lc} \cdot 4.186,$$

где Q_{Lc} - массовый расход воды для охлаждения сеточной индуктивности и анодного трансформатора (г/с), $\Delta t_{Lc} = t_{Lcк} - t_{Lcн}$ - разность температур охлаждаемой воды на сеточной индуктивности и анодном трансформаторе (°C).

2.3. Потери мощности на электроде

$$P_{эл} = Q_{эл} \cdot \Delta t_{эл} \cdot 4.186,$$

где Q_a - массовый расход воды для охлаждения электрода (г/с), $\Delta t_{эл} = t_{элк} - t_{элн}$ - разность температур охлаждаемой воды на электроде (°C)

После этого определяется мощность плазменной струи, генерируемая ВЧ факельным плазмотроном

$$P_{п} = P_0 - (P_a + P_{Lc} + P_{эл}),$$

а затем энтальпия этой плазменной струи

$$H_{п} = P_{п} / Q_{г},$$

где $Q_{г}$ - массовый расход плазмообразующего газа (г/с).

Полученные результаты свести в таблицу

№	U _a	I _a	I _c	f	Q _г	Анод		L _c		Электрод		P ₀	P _a	P _{Lc}	P _{эл}	P _п	H _п	$\bar{T}_{п}$	C _{NO}
						Q _a	Δt _a	Q _{Lc}	Δt _{Lc}	Q _{эл}	Δt _{эл}								
	кВ	А	А	МГц	г/с	г/с	°C	г/с	°C	г/с	°C	кВт	кВт	кВт	кВт	кВт	КДж/кг	°К	Мг/м ²

Среднемассовая температура плазменной струи $\bar{T}_{п}$ определяется из графической зависимости на рисунке 9.

По полученным результатам построить экспериментальную зависимость концентрации NO от среднемассовой температуры $\bar{T}_{п}$. Определить оптимальные условия проведения процесса фиксации атмосферного азота. Сделать выводы.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Пархоменко В.Д., Цыбулев П.Н., Краснокутский Ю.И. Технология плазмохимических производств. – Киев: Выща школа, 1991. – 253с. (НТБ – 2 экз., кафедра ТФ – 1 экз.).
2. Туманов Ю.Н. Низкотемпературная плазма и ВЧ электромагнитные поля в процессах получения материалов для ядерной энергетики – М.: Атомиздат, 1989. – 276с. (НТБ – 2 экз., кафедра ТФ – 1 экз.).
3. Давыдов В.И., Гамрекели М.Н., Добрыгин Л.Г. Термические процессы и аппараты для получения окислов редких и радиоактивных металлов. – М.: Атомиздат, 1977. – 270с. (НТБ – 2 экз., кафедра ТФ – 1 экз.).
4. Крапивина С.А. Плазмохимические технологические процессы – Л.: Химия, 1981. – 248с. (НТБ – 2 экз., кафедра ТФ – 1 экз.).
5. Каренгин А.Г. Диссертация на спецтему. – Томск: ТПИ, 1980. – 184с. (кафедра ТФ – 1 экз. инв.№3592).
6. Артамонов А.Г., Володин В.М., Авдеев В.Г. Математическое моделирование и оптимизация плазмохимических процессов.– М.: Химия, 1989. – 224с. (НТБ – 2 экз., кафедра ТФ – 1 экз.).
7. Сабуров В.П., Черепанов А.И., Жуков М.Ф. Плазмохимический синтез ультрадисперсных порошков и их применение. – Новосибирск: Наука, 1995. т.12–339с. (НТБ – 2 экз., кафедра ТФ – 1 экз.).
8. Физикохимия ультрадисперсных систем. // Сборник научных трудов IV Всероссийской конференции. – М.: МИФИ, 1999. – 336с. (НТБ – 2 экз., кафедра ТФ – 1 экз.).
9. Туманов Ю.Н. Электротермические реакции в современной химической технологии – М.: Наука, 1981. – 230с. (НТБ – 2 экз., кафедра ТФ – 1 экз.).