

Министерство образования и науки Российской Федерации
федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Инженерная школа неразрушающего контроля и безопасности
Направление подготовки 12.04.01 Приборостроение
Отделение контроля и диагностики

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Тема работы
Разработка СВЧ плазмотрона для конверсии природного газа УДК 621.387.143.665.632

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1БМ6Б	Аникин Алексей Викторович		

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОКД	Шиян Владимир Петрович	к. ф.-м. н.		

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН	Данков Артем Георгиевич	к. и. н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОКД	Анищенко Юлия Владимировна	к. т. н.		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Приборостроение	Вавилова Галина Васильевна	к. т. н.		

Томск – 2018 г.

ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО ООП

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)	Требование ФГОС ВПО, критериев и/или заинтересованных сторон
Р1	<p>Применять навыки эффективной индивидуальной и командной работы, включая руководство командой, работу по междисциплинарной тематике с учетом этики и корпоративных интересов, в том числе и на иностранном языке.</p>	<p>Требования ФГОС (ОК-3, ОПК- 1, ОПК-3, ПК-12, ПК-16, ПК-17, ПК-18, ПК-22),), СУОС ТПУ (УК-1, УК-3, УК-4, УК-5, УК-6), CDIO Syllabus (2.1, 2.3, 2.4, 2.5, 3.1, 3.2, 3.3, 4.1), Критерий 5 АИОР (п. 2.2, п. 2.3, п. 2.4, п. 2.5, п.2.6), согласованный с требованиями международных стандартов EURACE и FEANI, требования профессиональных стандартов (40.158. Специалист в области контрольно-измерительных приборов и автоматики, 40.108 Специалист по неразрушающему контролю, 19.026 Специалист по техническому контролю и диагностированию объектов и сооружений нефтегазового комплекса, 19.032 Специалист по диагностике газотранспортного оборудования, 40.008 Специалист по организации и управлению научно-исследовательскими и опытно-конструкторскими работами)</p>
Р2	<p>Применять навыки управления разработкой и производством продукции на всех этапах ее жизненного цикла с учетом инновационных рисков коммерциализации проектов, в том числе в нестандартных ситуациях.</p>	<p>Требования ФГОС (ОК-1, ОК-2, ОК-3, ОПК-1, ПК-6, ПК -8, ПК-16, ПК-18, ПК-19, ПК-20), СУОС ТПУ (УК-2, УК-6), CDIO Syllabus (2.1, 2.4, 2.5, 3.2, 4.1, 4.2, 4.3, 4.6, 4.7, 4.8), Критерий 5 АИОР (п. 2.1, п. 2.3, п. 2.5, п.2.6), согласованный с требованиями международных стандартов EURACE и FEANI, требования профессиональных стандартов (40.158 Специалист в области контрольно-измерительных приборов и автоматики, 40.108 Специалист по неразрушающему контролю, 06.005 Инженер-радиоэлектроник, 29.006 Специалист по проектированию систем в корпусе, 40.011 Специалист по научно-исследовательским и опытно-конструкторским разработкам)</p>
Р3	<p>Собирать, хранить, обрабатывать, использовать, представлять и защищать информацию при соблюдении требования информационной безопасности и корпоративной культуры.</p>	<p>Требования ФГОС (ОК-1, ПК-4, ПК-17, ПК-19), СУОС ТПУ (УК-5, УК-6), CDIO Syllabus (1.1, 2.2), Критерий 5 АИОР (п. 1.1, п. 1.6), согласованный с требованиями международных стандартов EURACE и FEANI , требования профессиональных стандартов (40.158 Специалист в области контрольно-измерительных приборов и автоматики, 40.108 Специалист по неразрушающему контролю,</p>

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)	Требование ФГОС ВПО, критериев и/или заинтересованных сторон
		19.026 Специалист по техническому контролю и диагностированию объектов и сооружений нефтегазового комплекса)
Р4	Применять навыки планирования, подготовки, проведения теоретических и экспериментальных исследований, а также представления и интерпретации полученных результатов.	Требования ФГОС (ОПК-1, ОПК-2 , ПК-1, ПК-2 , ПК-15, ПК-17), СУОС ТПУ (УК-1), Критерий 5 АИОР (п 1.1, п.1.2, п.1.4), CDIO Syllabus (2.1, 2.2, 4.3), согласованный с требованиями международных стандартов EURACE и FEANI, требования профессиональных стандартов (40.158 Специалист в области контрольно-измерительных приборов и автоматики, 40.108 Специалист по неразрушающему контролю, 40.008 Специалист по организации и управлению научно-исследовательскими и опытно-конструкторскими работами)
Р5	Разрабатывать нормативную, техническую и методическую документацию в области неразрушающего контроля и измерительной техники.	Требования ФГОС (ПК-3, ПК-9 , ПК- 11, ПК-17), CDIO Syllabus (1.2, 4.4), Критерий 5 АИОР (п.1.3, п. 1.5), согласованный с требованиями международных стандартов EURACE и FEANI, требования профессиональных стандартов (40.158 Специалист в области контрольно-измерительных приборов и автоматики, 40.108 Специалист по неразрушающему контролю, 06.005 Инженер-радиоэлектроник)
Р6	Быть готовым к комплексной профессиональной деятельности при разработке инновационных и эффективных методов и средств измерения и контроля.	Требования ФГОС (ПК-5, ПК-6, ПК-8, ПК- 10, ПК-11, ПК-13, ПК-14, ПК-18, ПК-20, ПК-21, ПК-22), СУОС ТПУ (УК-1), CDIO Syllabus (1.2, 1.3, 2.3, 4.1, 4.4, 4.5), Критерий 5 АИОР (п. 1.2, п. 1.3, п. 1.4, п.1.5, п. 1.6), согласованный с требованиями международных стандартов EURACE и FEANI, требования профессиональных стандартов (40.158 Специалист в области контрольно-измерительных приборов и автоматики, 40.108 Специалист по неразрушающему контролю, 06.005 Инженер-радиоэлектроник, 40.010 Специалист по техническому контролю качества продукции, 40.011 Специалист по научно-исследовательским и опытно-конструкторским разработкам)

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)	Требование ФГОС ВПО, критериев и/или заинтересованных сторон
Р7	Разрабатывать и внедрять энерго- и ресурсоэффективные технологические процессы производства приборных систем с использованием высокотехнологичных средств измерения и контроля.	Требования ФГОС (ПК-7, ПК-8, ПК-10, ПК- 11, ПК-12, ПК-14, ПК-21), CDIO Syllabus (1.3, 4.1, 4.2, 4.5. 4.6), Критерий 5 АИОР (п. 1.2, п. 1.5), согласованный с требованиями международных стандартов EURACE и FEANI, требования профессиональных стандартов (19.026 Специалист по техническому контролю и диагностированию объектов и сооружений нефтегазового комплекса, 19.032 Специалист по диагностике газотранспортного оборудования)

Министерство образования и науки Российской Федерации
 федеральное государственное автономное образовательное учреждение
 высшего образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
 ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Инженерная школа неразрушающего контроля и безопасности
 Направление подготовки 12.04.01 Приборостроение
 Отделение контроля и диагностики

УТВЕРЖДАЮ:
 Руководитель ООП

 (Подпись) _____ (Дата) Вавилова Г.В.
 (Ф.И.О.)

ЗАДАНИЕ
на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

Магистерской диссертации

Студенту:

Группа 1БМ6Б	ФИО Аникину Алексею Викторовичу
-----------------	------------------------------------

Тема работы:

Разработка СВЧ плазматрона для конверсии природного газа	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	30.11.2016, №10267/с
Срок сдачи студентом выполненной работы:	01.06.2018

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе	Объект исследования – глубокая переработка углеводородного газа с использованием плазмы. Предмет исследования – волноводный СВЧ плазматрон.
Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов	Цель работы: исследование потенциальных возможностей СВЧ плазматронов для конверсии природного газа.
Перечень графического материала	Презентация в Microsoft Office PowerPoint 2010
Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы	
Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Данков Артем Георгиевич, доцент ОСГН
Социальная ответственность	Анищенко Юлия Владимировна, доцент ОКД

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	01.10.2017
---	------------

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОКД	Шиян Владимир Петрович	к. ф.-м. н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1БМ6Б	Аникин Алексей Викторович		

Министерство образования и науки Российской Федерации
 федеральное государственное автономное образовательное учреждение
 высшего образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
 ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Инженерная школа неразрушающего контроля и безопасности
 Направление подготовки 12.04.01 Приборостроение
 Отделение контроля и диагностики
 Уровень образования Магистратура
 Период выполнения _____ (осенний / весенний семестр 2017/2018 учебного года)
 Форма представления работы:

Магистерская диссертация (бакалаврская работа, дипломный проект/работа, магистерская диссертация)
--

**КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН
 выполнения выпускной квалификационной работы**

Срок сдачи студентом выполненной работы:	01.06.2018
--	------------

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
09.02.2017	<i>Составление обзора литературы</i>	10
20.02.2017	<i>Изучение методов конверсии природного газа</i>	9
10.03.2017	<i>Анализ типов плазмотронов</i>	10
25.10.2017	<i>Разработка СВЧ плазмотрона</i>	11
10.11.2017	<i>Выбор материала волновода</i>	10
25.03.2018	<i>Разработка имитационной модели в National Instruments LabVIEW</i>	20
27.04.2018	<i>Написание раздела «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»</i>	5
30.04.2018	<i>Написание раздела «Социальная ответственность»</i>	5
12.05.2018	<i>Оформление результатов исследований</i>	5
20.05.2018	<i>Написание раздела «Заключение»</i>	5
25.05.2018	<i>Защита преддипломной практики</i>	10

Составил руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОКД	Шиян Владимир Петрович	к. ф.-м. н.		

СОГЛАСОВАНО:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Приборостроение	Вавилова Галина Васильевна	к.т.н.		

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа 122 с., 28 рис., 15 табл., 34 источников, 2 прил.

Ключевые слова: переработка углеводородных газов СВЧ, плазмотрон, природный газ, конверсия, углерод, водород.

Объектом исследования являются глубокая переработка углеводородного газа; метод СВЧ – разряда.

Цель работы – исследование потенциальных возможностей СВЧ плазмотронов для конверсии природного газа.

В результате исследования разработан СВЧ плазмотрон выполнены расчеты параметров для выбора материала изготовления плазмотрона.

Смоделирована имитационная модель программы, выполненная на базе National Instruments LabVIEW, для наглядного представления контроля различных параметров при работе установки.

Была осуществлена конверсия природного газа в углеродный наноматериал и водород с эффективностью до 70% .

Область применения: газодобывающая отрасль. Метод может применяться как в лабораторных, так и в полевых условиях.

Экономическая эффективность / значимость работы предложенный метод отличается от других методов невысокой стоимостью установки, простой реализацией, следовательно, метод обладает высокой экономической эффективностью.

Выпускная квалификационная работа выполнена в текстовом редакторе Word 2010.

Перечень стандартов, используемых при оформлении пояснительных записок и чертежей

1. ГОСТ 18238-72. Линии передачи сверхвысоких частот
2. ГОСТ 23221-78. Модули СВЧ, блоки СВЧ, Термины, определения и буквенные обозначения.
3. ОСТ 54 30013-83 Электромагнитные излучения СВЧ. Предельно допустимые уровни облучения. Требования безопасности
4. ГОСТ 12.4.154-85 “ССБТ. Устройства экранирующие для защиты от электрических полей промышленной частоты”
5. ГОСТ 12.1.006–84 ССБТ. Электромагнитные поля радиочастот. Общие требования безопасности.
6. СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278–03. Гигиенические требования к естественному, искусственному и совмещённому освещению жилых и общественных зданий. – М.: Минздрав России, 2003.
7. СанПиН 2.2.4.548–96. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений. – М.: Минздрав России, 1997.
8. ГОСТ 12.1.005-88 «Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны».
9. ГОСТ 12.1.019 (с изм. №1) ССБТ. Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты.
- 10.ГОСТ 12.0.003-2015 Опасные и вредные производственные факторы. Классификация.
- 11.СН 2.2.4/2.1.8.562-96 Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки.
- 12.ГОСТ 12.1.029-80 Средства и методы защиты от шума.

Определения

Конверсия природного газа – переработка углеводородного газа с целью изменения состава исходной газовой смеси.

Нanomатериалы - вид продукции наноиндустрии, вещества и композиции веществ, представляющие собой искусственно или естественно упорядоченную систему базовых элементов с нанометрическими характеристическими размерами и особым проявлением физического и (или) химического взаимодействий.

Плазмотрон: техническое устройство, в котором создается плазма.

СВЧ реактор – устройство для конверсии природного газа при воздействии на газ плазмы СВЧ-разряда.

Сверхвысокочастотный разряд: это один из видов электрического разряда в газе, возбуждаемый быстропеременным электрическим полем в диапазоне частот $f = 10^9 \div 10^{11}$ Гц.

Волновод: направляющий канал, в котором может распространяться электромагнитная волна.

Плазма: частично или полностью ионизированный газ.

Обозначение и сокращение

ВЧ – Высокие частоты

ВЧИ – Высокочастотный индукционный плазмотрон

ВЧЕ – Высокочастотный емкостной плазмотрон

СВЧ – Сверхвысокие частоты

КСВН – Коэффициент стоячий волны

МВС – Метановодородная смесь

НТИ – Научно-техническое исследование

ГПА – Газоперекачивающий агрегат

ВКП – Волноводно-коаксиальный переход

УНТ – Углеродные нанотрубки

Оглавление

Введение.....	12
1. Обзор литературы.....	14
2. Конверсия метана.....	15
2.1 Методы конверсии природного газа	15
2.2 Плазмотрон.	18
2.3 Типы плазмотронов.....	20
2.3.1 Высокочастотные плазмотроны	23
2.3.1.1 Высокочастотный факельный плазмотрон.....	24
2.3.1.2 Высокочастотные индукционные (ВЧИ) плазмотрон.....	27
2.3.1.3 Высокочастотные ёмкостные (ВЧЕ) плазмотроны.	29
2.4 Сверхвысокочастотный плазмотрон.	31
2.5 Волноводный СВЧ плазмотрон для конверсии природного газа в водород и углерод	33
2.5.1 Плазмотрон с пассивным инициированием СВЧ-разряда.....	33
2.5.2. Плазмотрон с активным инициированием СВЧ-разряда.....	35
2.5.3 Плазмотрон с радиальным инициированием СВЧ-разряда.....	37
3. Расчет параметров волноводного СВЧ плазмотрона	42
4. Разработка имитационной модели в National Instruments LabVIEW	48
4.1 Порядок работы установки по получению метана водородного топлива.	49
4.2 Контроль технологических параметров процесса конверсии природного газа.	53
4.2.1 ПРОГРАММНЫЙ КОД.....	55
4.3. Продукты конверсии метана и сферы их применения.....	61
4.3.1 Углеродный наноматериал.....	61
4.3.2 Водород	64
5. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение... ..	69
5.1 Потенциальные потребители результатов исследования	69
5.2 Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения.....	69
5.3 Технология QuaD	70

5.4 SWOT – анализ	72
5.5 Определение возможных альтернатив проведения научных исследований	73
5.6 Планирование научно-исследовательских работ.....	75
5.6.1 Структура работ в рамках научного исследования	75
5.6.2 Определение трудоёмкости выполнения работ	76
5.6.3 Бюджет научного исследования	79
5.7. Расчет материальных затрат	80
Расчет материальных затрат осуществляется по следующей формуле:	80
5.7.1 Расчет затрат на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ	81
5.7.2 Основная заработная плата исполнителей темы	82
5.7.3 Дополнительная заработная плата исполнителей темы.....	83
5.7.4 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)	84
5.7.5 Накладные расходы	85
5.8 Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования	86
Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки:	86
6. Социальная ответственность	89
6.1. Анализ выявленных вредных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения.	89
6.2. Анализ выявленных опасных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения.	93
6.3 Экологическая безопасность.....	95
6.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях.....	95
6.5 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности.	96
Заключение	99
Список публикаций.....	101
Список используемых источников.....	102

Введение

В настоящее время доля использования газа, добываемого вместе с нефтью на месторождениях не достигает показателей, определенных на законодательном уровне. По официальным данным полезно используется не более 80% добываемого попутно газа (нормативное значение – 95%). Сжигание попутных нефтяных газов сопровождается расходом кислорода и выделением избыточного тепла. Это губительно сказывается на экологии Земли, способствует усилению парникового эффекта. Перспективным способом переработки природного газа является его конверсия в такие ценные продукты как водород и углерод на основе использования плазмохимических процессов.

В связи с вступившим в действие постановление правительства РФ, от 01.01.2012 устанавливающее требование об утилизации 95% добываемого попутного нефтяного газа, ограничивающее объем его сжигания в факелах на месторождениях и повышающее платежи за сверхлимитное сжигание газа.

Природный газ это самое чистое по составу продуктов сгорания ископаемое топливо, намного чище угля, и может использоваться в ряде технологий генерации энергии, таких как паровые турбины, поршневые двигатели и установки смешанного цикла. Целый ряд характеристик делает газ идеальным дополнением для возобновляемых источников энергии. Последнее время цены на газ меняются очень непредсказуемо и в достаточно большом диапазоне, но недавние усовершенствования технологий бурения открыли доступ к ранее недоступным месторождениям, благодаря чему многие поверили в начало эпохи надёжного и недорогого природного газа.

В представленной работе для глубокой переработки углеводородного газа на углерод и водород был выбран плазмохимический метод на основе СВЧ – разряда. Данный метод определялся тем, что плазма имеет высокую степень чистоты, простота получения плазмы с малыми удельными энергозатратами и т.д.

Преимущества предлагаемой технологии открывает новые возможности для переработки различного углеводородного сырья в ценные продукты с высоким экономическим эффектом.

Целью данной выпускной квалифицированной работы является исследование потенциальных возможностей СВЧ плазмотронов для конверсии природного газа.

Объектом исследования выпускной работы – глубокая переработка углеводородного газа с использованием плазмы.

Предмет исследования – волноводный СВЧ плазмотрон.

1. Обзор литературы

На настоящий момент развитие инновационных производств является одним из перспективных направлений развития промышленности и экономики страны в целом. Человечество ищет новые материалы с принципиально новыми свойствами, разрабатывает альтернативные источники энергии. Таким образом, установка, при помощи которой можно получить углеродный наноматериал и водород, заслуживает пристального внимания ученых. Последние 20 лет ведущие страны мира ведут исследования в этом направлении.

В результате проведения патентных исследований и анализа рынка продукции можно сделать вывод, что рынок установок подобного типа является быстро развивающимся и практически не освоенным.

Если говорить о реализации конверсии природного газа с целью получения наноуглерода и водорода в промышленности, то можно отметить зарубежную компанию Eden Energy Ltd [1]. Компания коммерциализировала получение наноуглерода в Колорадо, США. Из российских компаний, работающих в этой сфере, можно отметить ООО «Нанотехнологии» [2]. В настоящее время планируется создание полупромышленной установки.

Получение наноуглеродных структур из природного газа в плазме СВЧ-разряда является темой обширных научных исследований. В 2008 году томскими учеными был получен патент на способ получения углерода и водорода из углеводородного газа и устройство для его осуществления [3]. В качестве прототипа был взят известный способ и устройство получения углерода и водорода из углеводородного газа (метана), в которых используется плазменный катализ процесса диссоциации в импульсно-периодическом СВЧ (микроволновом) разряде [4].

К 2010 году устройство было усовершенствовано, и был получен патент [5]. В отличие от первого варианта реактора в данной установке реактор был выполнен с разделением подачи СВЧ-разряда.

2. Конверсия метана

Конверсией газов называется переработка газов с целью изменения состава исходной газовой смеси. Конверсию проводят с применением в качестве окислителей различных реагентов (кислорода, водяного пара, двуокиси углерода и их смесей). Возможно также использование для этой цели окислов металлов. Наиболее экономичным сырьём для конверсии является метан (природный газ). В результате конверсии метана можно получить разные продукты реакции, в том числе водород и углерод.

2.1 Методы конверсии природного газа

Многочисленные синтезы на основе метана представляют огромный практический и теоретический интерес, так как позволяют получать ценнейшие органические соединения из природного газа практически без какой-либо предварительной переработки. Уже в настоящее время освоено промышленное производство большого количества важных продуктов из метана, в частности из него получают хлорсодержащие растворители, сероуглерод, синильную кислоту. Каталитическая конверсия метана водяным паром является основным методом производства водорода и синтез-газа смесь CO и H₂ в различных соотношениях. Новые нетрадиционные методы получения синтез-газа из метана, такие, как электрохимическое окисление или конверсия с углекислым газом в термодиффузионном реакторе, находятся в стадии исследовательской проработки.

Несмотря на многообразие имеющихся теоретических возможностей превращения метана, наибольший интерес исследователей и производителей в последнее время привлекают следующие процессы:

- получение синтез-газа;
- прямое каталитическое превращение метана в этилен - окислительная конденсация метана;

- прямое каталитическое окисление метана в кислородсодержащие продукты - спирты и формальдегид.

В промышленной практике получили распространение следующие методы конверсии метана: каталитическая конверсия и высокотемпературная (некаталитическая) конверсия. По первому методу конверсию можно проводить в одну и две ступени (соответственно одноступенчатая и двухступенчатая каталитическая конверсия). [6]

Разработка процесса прямого каталитического окисления метана в кислородсодержащие продукты началась еще в начале XX столетия. Несмотря на то что этот процесс термодинамически возможен при атмосферном давлении и комнатной температуре, до сих пор не удалось подобрать эффективные катализаторы. Поэтому в настоящее время этот процесс проводят без катализатора при высоких давлениях, однако выходы полезных продуктов невелики. Следовательно, данный процесс не является в настоящее время перспективным для промышленной реализации. [7]

На современном этапе развития науки и техники для производства собственно водорода (технического) считается более перспективным и прогрессивным процесс паровой конверсии под давлением, осуществляемый при высоких температурах (1200-1300 °С) и высоких давлениях 40-100 МПа в реакторах, заполненных никелевым катализатором. В нефтехимии и азотной промышленности наибольшее распространение получил двухступенчатый авто термический каталитический процесс конверсии природного газа смесью водяного пара и кислорода или обогащенного кислородом воздуха при давлении порядка 40-60 МПа, осуществляемый в первой стадии в трубчатых печах и до конверсий в реакторах шахтного типа. Одним из лучших катализаторов считается никелевый с различными примесями

Высокотемпературную конверсию осуществляют при отсутствии катализатора при температурах 1350...1450 °С и давлениях до 30–35 кгс/см² или 3–3,5 МН./м², при этом происходит почти полное окисление метана и других углеводородов кислородом до СО и Н₂. Преимущество этого метода –

отсутствие катализатора и несложное аппаратное оформление, недостаток – повышенный расход кислорода.[8]

Электролиз воды один из наиболее известных и хорошо исследованных методов получения водорода. Он обеспечивает получение чистого продукта (99,6-99,9% H₂) в одну технологическую ступень.

Этот метод является наиболее универсальным в отношении использования первичных источников энергии. В связи с развитием атомной энергетики возможен новый расцвет электролиза воды на базе дешевой энергии атомных электростанций.

Электрохимический метод получения водорода из воды обладает следующими положительными качествами:

высокая чистота получаемого водорода - до 99.9%;

простота технологического процесса, его непрерывность, возможность наиболее полной автоматизации, отсутствие движущихся частей в электролитической ячейке;

возможность получения ценнейших побочных продуктов - тяжелой воды и кислорода;

общедоступное сырье - вода;

гибкость процесса и возможность получения водорода непосредственно под давлением;

физическое разделение водорода и кислорода в самом процессе электролиза.

Основной недостаток данного метода экономика процесса в зависит от стоимости электроэнергии. В производственных затратах на получение водорода стоимость электрической энергии составляет примерно 85%.

Наряду с этими способами переработки углеводородных газов перспективным является их конверсия в водород и углерод в плазме СВЧ – разряда, которая создается плазмотроном.

2.2 Плазмотрон.

Генерация плазмы в плазмотронах по сравнению с другими видами нагрева газа, например с помощью химических или ядерных реакций, имеет ряд неоспоримых преимуществ. Используемая для нагрева электрическая энергия – наиболее универсальный, доступный, а в большинстве случаев и наиболее дешевый вид энергии. В плазмотронах для получения плазмы могут быть использованы практически любые вещества. Плазмотроны обладают широкими возможностями нагрева плазмы в диапазоне температур до . Установки с плазмотронами относительно просты в обслуживании, их производство базируется на хорошо развитых отраслях электромашиностроения, что облегчает внедрение плазменных устройств в современную технику. Особенно интенсивно плазменная техника развивалась в последние 40...50 лет в связи с научно-технической революцией.

Разнообразие областей применения и требований к плазменной струе и генератору плазмы привело к большому разнообразию, как в организации рабочего процесса, так и в конструктивном оформлении плазмотронов. В результате этого классификация плазмотронов обычно проводится по ряду разных существенных признаков.

Ионизация газа и образование плазмы требуют значительных затрат энергии. Источником этой энергии может служить тепловая энергия, например высокотемпературных химических реакций (горение), электрическая энергия, реализуемая в различных формах электрических разрядов, энергия электромагнитных излучений, кинетическая энергия ускоренных потоков частиц (электронов, ионов и т.п.).

Наибольшее распространение в качестве источников плазмы получили электрические разряды, в которых нагрев плазмы осуществляется взаимодействием заряженных частиц плазмы с электромагнитным полем.

В зависимости от форм электрического разряда, реализуемого в генераторе для получения плазмы, различают электродуговые,

высокочастотные и сверхвысокочастотные плазмотроны, а также генераторы на электромагнитных колебаниях оптического диапазона частот – оптических разрядах и потоках частиц высоких энергий – пучковый разряд.

В зависимости от назначения и области применения различают следующие характерные виды плазмотронов:

Плазменный инструмент – устройства (горелки) для сварки, резки, напыления тугоплавких материалов, бурения и поверхностной обработки твердых пород и т.п. Это устройства относительно небольшой и средней мощности, находящие все более широкое применение в различных видах производства. Уровень мощности от единиц до сотен киловатт [9].

Плазмохимические реакторы – для осуществления химических реакций в плазменной среде (например, пиролиз метана, получение окиси титана, восстановление чистых веществ из их окислов или хлоридов – урана, титана, германия, тантала и т.д.). Эти устройства обычно большой мощности и промышленного применения уровня от десятков до тысяч киловатт [10].

Металлургические плазмотроны – для переплава тугоплавких и особо чистых материалов, восстановления чистых материалов, рафинирования, получения монокристаллов и дисперсных материалов. Обычно это также промышленные установки средней и большой мощности [10].

Плазменные нагреватели в различных процессах – сжигания и переплава разных отходов, розжиг топок котлов и т.п., уровня мощности от десятков до сотен киловатт.

В особую группу можно выделить генераторы плазмы научно-исследовательского назначения – для самого широкого круга исследований при высоких температурах и скоростях потоков, в частности, для изучения аэродинамических, теплофизических и других процессов. Плазмотроны этой группы имеют мощности от единиц киловатт до десятков мегаватт [11] [12] и область применения плазмотронов и технологий на их основе расширяется.

Стой широкая область применения плазмотронов определяет и большое, разнообразие требований к плазме и к генераторам плазмы – плазмотронам. Это, в свою очередь, определяет разнообразие схем и типов плазмотронов, различающихся по видам источников плазмы (электрического разряда), способам стабилизации разряда, конструктивными и другими признаками. При всём разнообразии назначений и форм электродуговых плазмотронов они содержат ряд общих функциональных элементов, определяющих их свойства, и соответствующие им технические решения, способы проектирования и применяемые материалы.

Плазмотроны – это техническое устройство, в котором создается плотная плазма, с помощью электрических разрядов в газах и дающая плазменный поток, используемый для глубокой переработки природных газов.

Нашли самое широкое применение в разных областях человеческой деятельности, особенно в промышленности, благодаря своим уникальным свойствам и возможностям. В плазмотронах получают потоки плазмообразующего вещества с высокой температурой и энтальпией, которые не достигаются другими средствами, получают плазму практически любого вещества.

Принцип работы плазмотрона: поток холодного газа постоянно подается в газоразрядную камеру, где зажигается разряд; газ нагревается, ионизируется в плазму. Мощность плазмотрона различна: от десятков ватт до десятков мегаватт, и давления газа - от единиц мм рт. ст. до сотен атмосфер.

2.3 Типы плазмотронов

Многообразие существующих электродуговых плазмотронов образует и многообразие признаков классификации, каждый из которых характеризует особенности и соответствующие им свойства плазмотрона. В качестве основных признаков классификации рассматриваются следующие:

по видам разряда, используемого для нагрева плазмы, различают электродуговые плазмотроны (ЭДП), высокочастотные (ВЧ), сверхвысокочастотные (СВЧ) плазмотроны.

2.3.1 Дуговой плазмотрон.

Дуговой плазмотрон [13] – используется для анализа растворов. Ведутся работы по применению его к анализу порошков. Электроды дуговых плазмотронов - единственная их расходующая часть. Электроды могут быть выполнены из меди и медных сплавов, вольфрама, циркония, графита и других материалов в зависимости от конструкции плазмотрона, его назначения и пр.

Получение плазменной дуги или плазменной струи в дуговых плазмотронах достигается сжатием и стабилизацией электрической дуги, которая между катодом и анодом. Анодом может выступать поверхность обрабатываемой детали. Электрическая дуга ионизирует газ плазмообразующее вещество, которое по исходному агрегатному состоянию может быть твердым, жидким и газообразным. В процессе работы плазмотрона жидкие и твердые плазмообразующие вещества переходят в газообразное состояние или разрушаются до газов. Преимущественно используют плазмообразующие газы N_2 , Ar , H_2 , NH_4 , O_2 , H_2O . В качестве жидких и твердых плазмообразующих веществ используют углеводороды, металлы, полимеры и т.д. Мощность дуговых плазмотронов составляет $10^2 - 10^7$ Вт; температура плазменной струи 3000 - 5000 К; скорость истечения струи до 1 м/час; коэффициент полезного действия 50—90%.

Дуговой плазмотрон постоянного тока состоит из следующих основных узлов: одного (катода) или двух (катода и анода) электродов, разрядной камеры и узла подачи плазмообразующего вещества. Разрядная камера может быть совмещена с электродами в так называемых плазмотронах с полым катодом. Реже используются дуговые плазмотроны, работающие на переменном напряжении. При частоте этого напряжения $\approx 10^5$ Гц.

Существуют дуговые плазмотроны с осевым и коаксиальным расположением электродов, с тороидальными электродами, с двусторонним истечением плазмы, с расходуемыми электродами и т.д. Отверстие разрядной камеры, через которое истекает плазма, называется соплом плазмотрона. Различают две группы дуговых плазмотронов – для создания внешней плазменной дуги и плазменной струи. В плазмотронах 1-й группы дуговой разряд горит между катодом плазмотрона и обрабатываемым телом, служащим анодом. Эти плазмотроны могут иметь как один катод, так и второй электрод вспомогательный анод, маломощный разряд на который с катода (кратковременный или постоянно горящий) «поджигает» основную дугу. В плазмотронах 2-й группы плазма, создаваемая в разряде между катодом и анодом, истекает из разрядной камеры в виде узкой длинной струи.

Основные схемы дуговых плазмотронов приведены на рисунке 1.

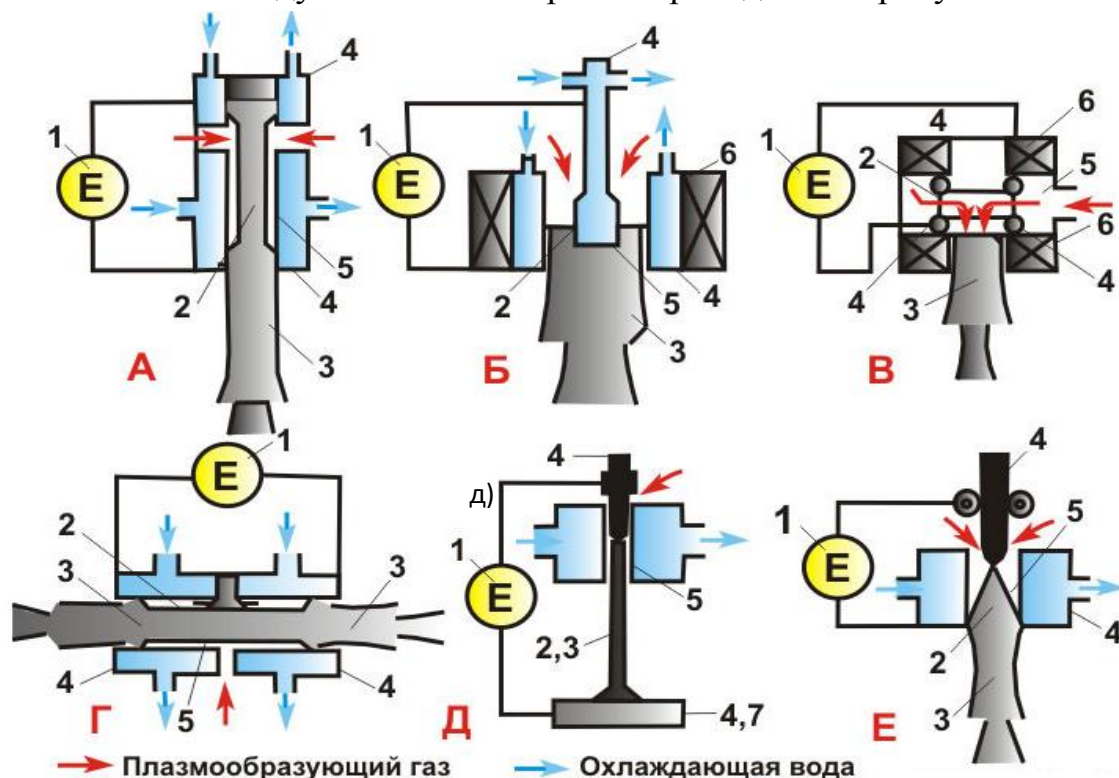


Рисунок 1 - Основные схемы дуговых плазмотронов

А - осевой; Б - коаксиальный; В - с тороидальными электродами; Г - двустороннего истечения; Д - с внешней плазменной дугой; Е - с расходуемыми электродами (эрозионный); 1 - источник электропитания;

2 - разряд; 3 - плазменная струя; 4 - электрод; 5 - разрядная камера; 6 - соленоид; 7 - обрабатываемое тело.

Выходной электрод такого плазмотрона (анод при прямой полярности) имеет трубчатую форму и изготавливается из меди, имеющей высокую теплопроводность. Если оба электрода имеют трубчатую форму, то они обычно выполнены из меди. Легирование меди серебром приводит к уменьшению потерь металла за счет окисления; это особенно эффективно при работе в кислороде или кислородсодержащих средах. Легирование меди цирконием или хромом увеличивает ее твердость и устойчивость к окислению. Для некоторых приложений применяют деионизованную воду. Расход охлаждающей воды - 40 - г 1000 л / мин в зависимости от параметров плазмотрона.

Особенности работы электродуговых плазмотронов состоит в том, что плазменная струя на выходе из плазмотрона в большей или меньшей мере загрязнена продуктами эрозии электродов: массовое содержание этих продуктов колеблется от 0.1 до 0.001% но для некоторых спектроскопических исследований такая плазменная струя не пригодна.

Недостатки дуговых плазмотронов невозможность получения чистой плазмы, свободной от примесей. В процессе горения дугового разряда возникает эрозия анода. Постоянное разрушение электродов дугового плазмотрона и загрязнение продуктами их эрозии плазмы не позволяет использовать эти аппараты в тех плазмохимических процессах, к которым предъявляют высокие требования по чистоте получаемых продуктов.

2.3.1 Высокочастотные плазмотроны.

Высокочастотные плазмотроны отличаются конструкцией от дуговых плазмотронов. В отличие от дуговых, ВЧ плазмотрон является без электродным и имеет ёмкостную и индуктивную связь с источником мощности[14].

Особенность работы безэлектродных плазмотронов низкотемпературной плазмы заключается в том, что плазмообразующий газ во время работы плазмотрона не соприкасается с электродами, а поэтому природный газ не имеет существенного загрязнения. Что позволяет получить спектрально чистую плазму. Данный тип плазмотрона может работать с любыми газами – инертными, агрессивными, и их смесями в любых соотношениях.

В настоящее время получили распространение плазмотроны:

- высокочастотные индукционные (ВЧИ), в которых используется высокочастотный безэлектродный разряд Н-типа;
- высокочастотные емкостные (ВЧЕ), в которых возбуждается высокочастотный разряд Е-типа с внешними электродами;
- высокочастотные факельные (ВЧФ), использующие высокочастотный моноэлектродный разряд;

Образование и разогрев плазмы в высокочастотном плазмотроне основано на законах электромагнитной индукции, то есть нагрева электропроводной среды высокочастотным электромагнитным полем. Электропроводной средой в данном случае является плазма. Мощность высокочастотных плазмотронов достигает 1 МВт, температура плазменной струи на начальном участке истечения $\sim 10^4$ К, скорость истечения плазмы до 1000 м/сек, коэффициент полезного действия 50 - 80%, ресурс работы до 3000 ч

Такие плазмотроны работают при высоких частотах (9МГц) и низких давлениях. Они используются в плазмохимических лабораториях, для обработки дисперсных материалов. [15]

2.3.1.1 Высокочастотный факельный плазмотрон

Для горения высокочастотного факельного разряда достаточно одного электрода для подвода высокочастотной энергии от источника питания. С использованием высокочастотного факельного разряда разработан целый ряд высокочастотных факельных плазмотронов различного назначения. [16]

Высокочастотный факельный плазмотрон, содержащий цилиндрический экранирующий кожух с коаксиально расположенным в нем электродом, реактор, пристыкованный к кожуху со стороны рабочего торца электрода, расположенный в кожухе на нерабочем торце электрода завихритель с патрубком ввода газового потока и узел поджига разряда, отличающийся тем, что, с целью расширения технологических возможностей плазмотрона, электрод выполнен из двух коаксиальных труб длиной не менее одного калибра, соединенных между собой со стороны рабочего торца диффузором с углом $30-60^{\circ}$, а с другой стороны - упомянутым завихрителем, внутренний диаметр которого равен внутреннему диаметру внутренней трубы электрода, причем поджигающий узел расположен между трубами электрода. В высокочастотном факельном плазмотроне при давлении, близком к атмосферному, факельный разряд имеет форму пламени свечи. Наиболее легко факельный разряд возникает на электродах с большой кривизной поверхности (на остриях и т. д.) при частотах электрического поля порядка 10 МГц и выше.

Факельный высокочастотный плазмотрон рисунок 2.

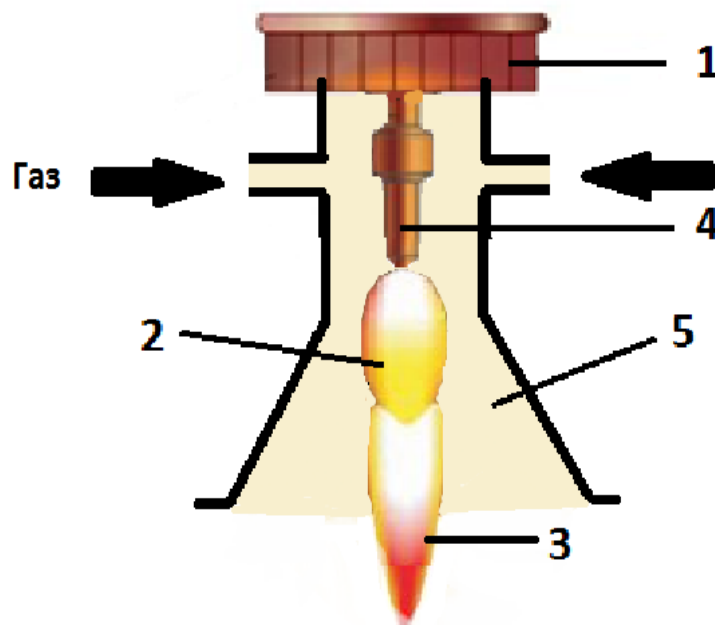


Рисунок 2 - Факельный высокочастотный плазмотрон

- 1 – источник электропитания; 2 – разряд; 3 – плазменная струя;
4 – электроды; 5 – разрядная камера;

Недостатком этой конструкции ВЧ факельного плаэмотрона является наличие зоны застоя при подаче в него плаэмообразующего газа, накопление в ней порошкового материала и его спекание с последующим зарастанием. Это приводит часто к пробое изолятора, к выходу из строя ВЧ плаэмотрона, к неполной термической проработке дисперсного материала. Кроме того, при подаче дисперсного материала из заземленного питания через центральное отверстие в высоковольтном электроде через изолирующие шланги практически всегда по мере осаждения на шлангах проводящих дисперсных частиц происходит пробой и выход из строя системы питания плаэмотрона порошком.

2.3.1.2 Высокочастотные индукционные (ВЧИ) плазмотрон.

Высокочастотные индукционные (ВЧИ) плазмотроны являются наиболее распространенными из без электродных плазмотронов.

Данный тип плазмотрона имеет большую популярность за счет простоты получения объемного потока плазмы. Возможность использования любого газа в качестве плазмообразующей среды. [18]

Принцип действия их основан на возбуждении разряда специальным индуктором в виде многовитковой катушки, выполненной из медной водоохлаждаемой трубки. Внутри индуктора вставлена разрядная камера выполненный из металлической камеры, размещенной в кварцевой трубе, в которой возбуждается разряд нагреваемы вихревыми токами.

Наиболее критическими при выборе материала разрядной камеры для высокочастотного индукционного плазмотрона являются четыре параметра, точнее их совокупность: коэффициент термического расширения, максимальная рабочая температура, удельное электросопротивление и электрическая прочность. Материал разрядной камеры должен быть прозрачным для ВЧ-электромагнитного поля, обычно это кварц. Кварц является уникальным материалом с точки зрения коэффициента термического расширения, хотя все его остальные параметры заметно уступают нитридной керамике. По этому параметру к кварцу ближе всего керамические материалы из AlN и Si₃N₄, хотя другие их электрофизические и термические свойства гораздо выше.

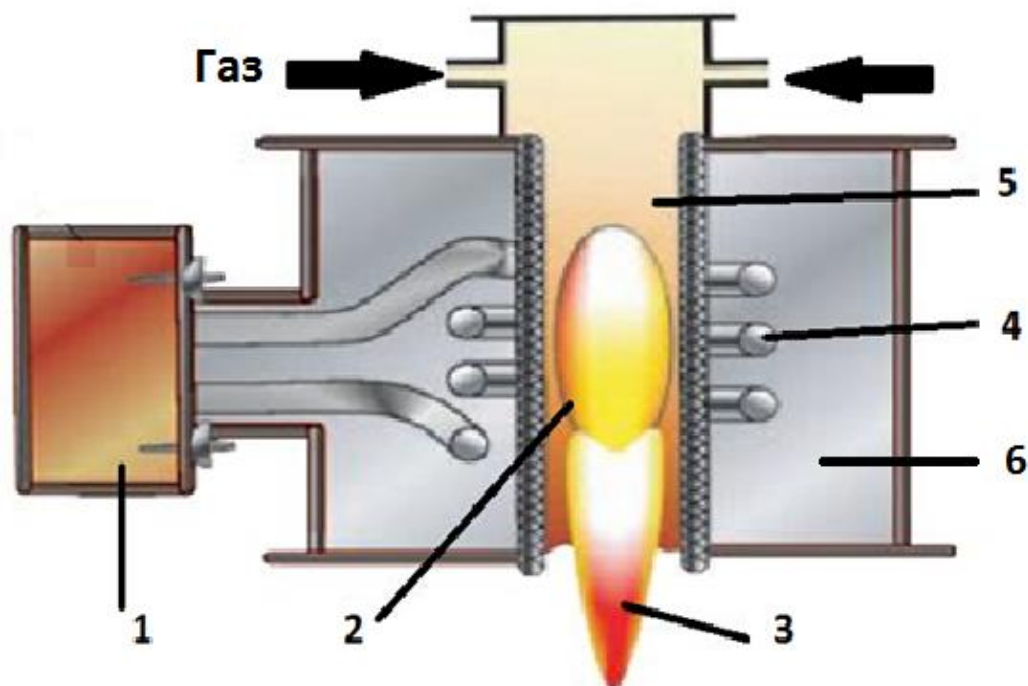


Рисунок 3 - Высокочастотный индукционный плазмотрон.

1 – источник электропитания; 2 – разряд; 3 – плазменная струя;
4 – индуктор; 5 – разрядная камера; 6 – волновод;

К недостаткам данного ВЧИ-плазмотрона следует отнести эрозию металлических секций разрядной камеры в зоне индуктора. Из-за возникающих в основном в момент пуска плазмотрона электрических разрядов в зазоре между внутренней поверхностью диэлектрического кожуха и продольными металлическими трубками, снижающую долговечность ВЧИ-плазмотрона. Незначительный ресурс кварцевого стекла из-за его металлизации

Зазор создают ввиду недопустимости непосредственного контакта металлических секций с диэлектрическим кожухом, в качестве материала которого используют керамику или кварц. При контакте из-за разного коэффициента температурных расширений тугоплавкий диэлектрик отслаивается с поверхности металлических трубок и разрушается.

2.3.1.3 Высокочастотные ёмкостные (ВЧЕ) плазмотроны.

Данный вид плазмотрона не получил своего широкого распространения как ВЧИ, однако представляют интерес так, как отсутствует расход электродов. Это связано с тем, что возможна работа с агрессивными газами и создания разряда при высоких напряжениях и небольшом токе. Возможность получение термически неравновесной плазмы при высоких частотах.[18]

Для поддержания емкостного разряда требуется небольшая минимальная мощность (порядка нескольких ватт), при этом в зоне разряда создается высокая напряженность электрического поля. Условия передачи энергии в разряд улучшаются при повышении частоты и увеличении площади электродов. Мощность ВЧЕ-плазмотрона можно наращивать за счет увеличения диаметра разрядной камеры, расстояния между электродами и напряжения на электродах.

В ВЧЕ-плазмотронах для создания плазмы используют емкостной разряд, возникающий в результате воздействия высокочастотного электрического поля. Электрическое поле создается между электродами, подсоединенными к источник электропитания 1 (Рисунок 4). Электроды 4, находящийся под высоким напряжением, располагается в разрядной камере 5. Плазмообразующий газ подается в разрядную камеру 5. Внутри разрядной камеры образуется разряд 2.

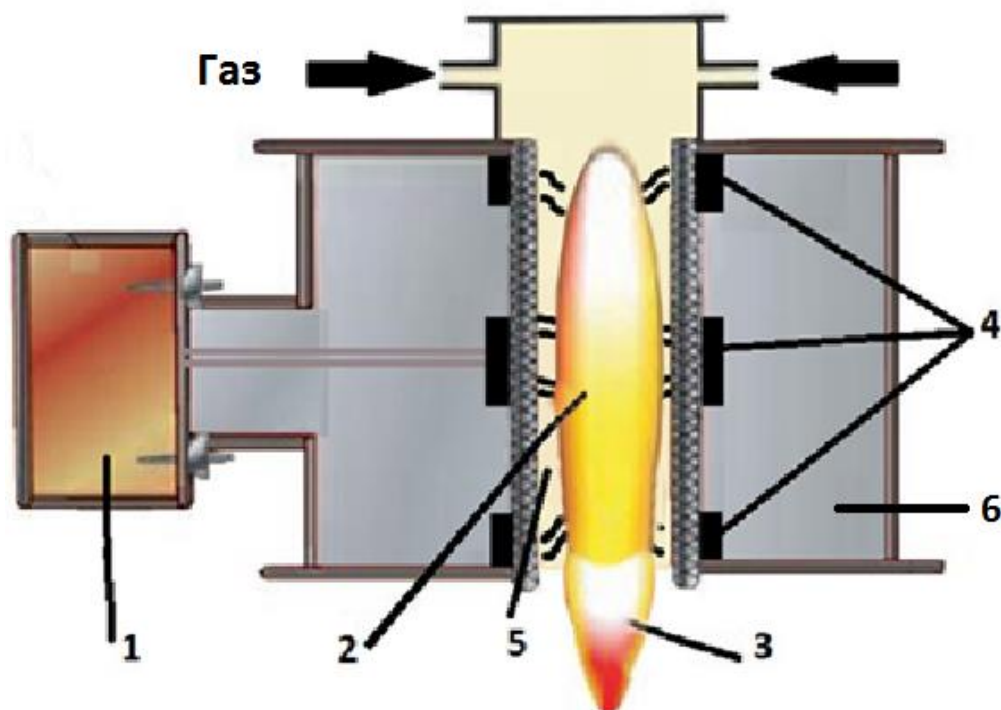


Рисунок 4 - Высокочастотный емкостной плазмотрон

1 – источник электропитания; 2 – разряд; 3 – плазменная струя;
4 – электроды; 5 – разрядная камера; 6 – волновод

К недостаткам высокочастотных плазмотронов относятся: при проведении химических реакций требуется высокая температура и особо чистое реакционное пространство. Также при работе ВЧ плазмотронов происходит сгорание большого количества кислорода.

В целом ВЧ-плазмотроны отличаются от электродуговых меньшей мощностью и более низким к.п.д. (30-60%). В связи с этим они пока не нашли применения в крупнотоннажном производстве. Достоинствами их является высокая стабильность параметров разряда, чистота плазмы, большой ресурс работы, возможность использования плазмообразующего газа любой природы.

Очень близкими ВЧ-плазмотронам по принципу получения плазмы и устройству являются сверхвысокочастотные (СВЧ) плазмотроны. Преимущество сверхвысоких частот перед высокими в основном связано с более высоким коэффициентом поглощения их в плазме. В этой связи эффективная передача энергии электромагнитного поля в плазму происходит уже при температуре около 4000 К. Кроме того, использование СВЧ-

плазмотронов позволяет получать сильно неравновесную плазму при давлениях, близких к атмосферному. Конструктивное исполнение СВЧ-плазмотронов определяется способом подведения энергии электромагнитного поля к области разряда. Так, в волноводном СВЧ-плазмотроне энергия от источника питания передается к разрядной камере посредством волноводной системы, которая также выполняет роль индуктора. В качестве питающих их генераторов применяются магнетроны.

2.4 Сверхвысокочастотный плазмотрон.

СВЧ плазмотрон (рисунок 5) используется для получения высокотемпературной плотной плазмы, которую нельзя получить с помощью вышеперечисленных плазмотронов.

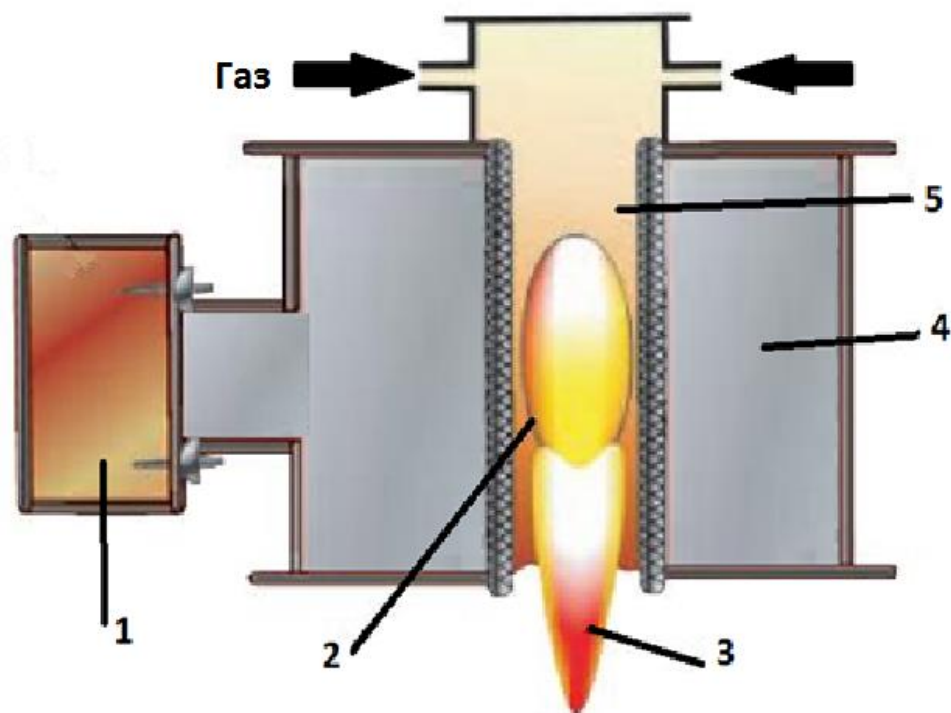


Рисунок 5 - СВЧ плазмотрон

1 – источник СВЧ энергии ; 2 – разряд; 3 – плазменная струя;
4 – волновод; 5 – разрядная камера.

Плазма СВЧ-разряда может использоваться в таких процессах, как получение водорода, оксидов и нитридов высокочастотных материалов, глубокая переработка природных газов и т.д. [19].

Особенность СВЧ-плазмы в том, что она имеет высокую чистоту, и позволяет создать ряд энергосберегающих технологий.

Источником плазмы в СВЧ плазмотроне является СВЧ – разряд.

Сверхвысокочастотный разряд – это один из видов электрического разряда в газе, возбуждаемый быстропеременным электрическим полем в диапазоне частот $f = 10^9 \div 10^{11}$ Гц. Такие разряды возбуждаются в волноводах с помощью стоячей или бегущей электромагнитной волны.

СВЧ-разрядами (микроволновыми разрядами) обычно называют разряды, создаваемые с помощью электромагнитных волн с частотой, превышающей 300 МГц. Разрешенными для промышленных, медицинских и научных применений являются частоты 460, 915, 2450, 5800, 22125 МГц. Наиболее часто используется частота 2450 МГц.

Основными достоинствами СВЧ-разрядов являются:

- возможность создания плазмы в малых и больших объемах, включая свободное пространство (атмосфера Земли),
- возможность обработки больших поверхностей сканированием области плазменного образования, имеющего малые размеры,
- простота получения плазмы с малыми удельными энерговкладами ($\ll 1$ Вт/см³),
- широкая область рабочих давлений (от 10⁻⁵ мм рт. ст до давлений, превышающих атмосферное давление),
- возможность создания как квазиравновесной, так и существенно неравновесной плазмы,
- простота управления внутренней структурой разряда путем изменения электродинамических характеристик устройства ввода СВЧ энергии в плазму,

- возможность совместного воздействия плазмы и электромагнитного поля на объекты в плазме для увеличения эффективности процесса,
- разработанные семейства разнообразных эффективных СВЧ генераторов плазмы позволяют выбрать конструкцию для любых применений.
- возможность создания плазмы в безэлектродных и электродных системах (в последнем случае отсутствует загрязнение объема и образцов продуктами эрозии электродов).

2.5 Волноводный СВЧ плазмотрон для конверсии природного газа в водород и углерод

При анализе рассмотренных выше типов плазмотронов показал, что наибольшими потенциальными возможностями для конверсии природного газа обладают СВЧ плазмтроны. Плазмохимическая конверсия метана с использованием плазмы СВЧ –разряда характеризуется минимальными (0,9-1эВ/молек) энергозатратами при степени конверсии до 90%[20]. Энергозатраты на разложение метана, например в скользящем дуговом разряде составляет 14,3эВ/молек.[21] Нами предлагаются для исследования два варианта СВЧ плазмтронов волноводного типа с пассивным и активным инициированием СВЧ – разряда.

2.5.1 Плазмотрон с пассивным инициированием СВЧ-разряда

Схема плазмтрона представлена на рисунке 6.

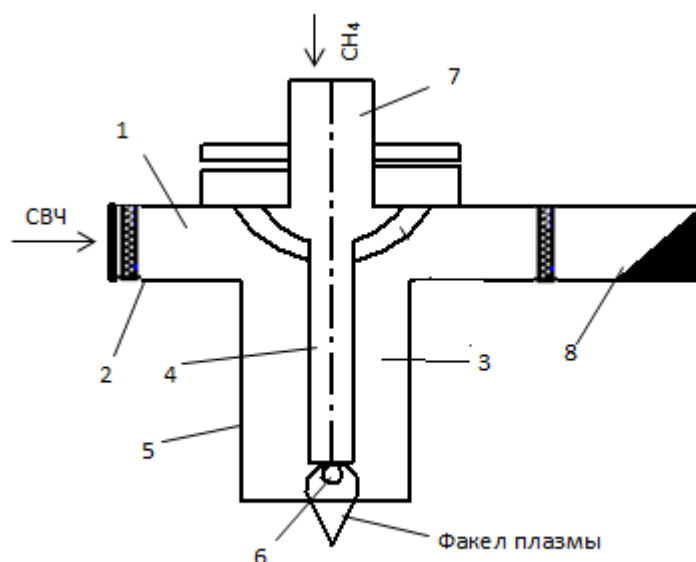


Рисунок 6 - Схема плазмотрона

Данный плазмотрон выполнен из волноводно-коаксиальный переход 1, состоящий из прямоугольного волновода 2 и коаксиальной линии 3 с полым внутренним проводником 4 и внешним проводником 5, образующим разрядную камеру. Данный переход волноводно-коаксиальный является переходом «пуговичного» типа. Выбор «пуговичного» типа обусловлен тем, что данная конструкция зонда обеспечивает максимальную широкополосность (около 20 %) и электропрочность [22]. Волновод 2 снабжен запредельным волноводом круглого сечения 7, который одновременно служит трубопроводом для подачи плазмообразующего газа и предотвращает выход СВЧ-излучения наружу. В качестве пассивного инициатора основного СВЧ – разряда применяются вольфрамовые спиральки 6, размещённые на торце внутреннего проводника 4 коаксиальной линии. На выходном конце волновода 1 установлена согласованная нагрузка 8 которая выполнена из композитного материала на основе порошков графита, карбонильного железа или карбида кремния и служит для поглощения прошедшей СВЧ мощности.

На начальном этапе исследования СВЧ плазмотрона были произведены измерения параметров согласования и ослабления его волноведущей системы. Данные полученные в результате исследования являются приемлемыми для

данного вида техники. [23] В ходе испытаний СВЧ плазмотрона обнаружилось, что при использовании природного газа как плазмообразующего, происходит науглероживание внутреннего проводника волноводно-коаксиального перехода. Данные наросты приводили к срыву СВЧ разряда

2.5.2. Плазмотрон с активным инициированием СВЧ-разряда

Поэтому для обеспечения стабильного СВЧ разряда, выбрана система инициирования разряда аксиального типа. СВЧ плазмотрон представляет собой волноводно-коаксиальный переход, состоящий из прямоугольного перехода 1 и коаксиальной линии 2 с полым внутренним проводником 3 и внешним проводником 4, образующим разрядную камеру. Для герметизации волноводного тракта используются кварцевые окна 5. Подстройка режима работы плазмотрона осуществляется короткозамыкателем 6. Инициирование и поддержание стабильного СВЧ разряда в плазмотроне осуществляется газовым разрядником, состоящим из полого электрода 7 и проводника 3. В разряднике рабочим газом является азот. Для разделения в плазмотроне газовых потоков (углеродного газа и азота) применена газонепроницаемая диэлектрическая перегородка 8. В проводнике 3 выше уровня диэлектрической перегородки 8 выполнена система радиальных отверстий 9 для выхода углеводородного газа, а в конце высоковольтного электрода 7 – система радиальных отверстий 10 для выхода азота. Питание плазмотрона осуществляется от магнетрона 11 с выходной регулируемой мощностью до 1,5 кВт в непрерывном режиме и рабочей частотой 2450 ± 50 МГц. Защита магнетрона от отраженной волны обеспечивается применением ферритового циркулятора 12. Для выделения углеродного материала из газового потока на выходе плазмотрона установлена система, состоящая из циклона, фильтра и сборника углерода 13. Схема плазмотрон представлена на рисунке 7.

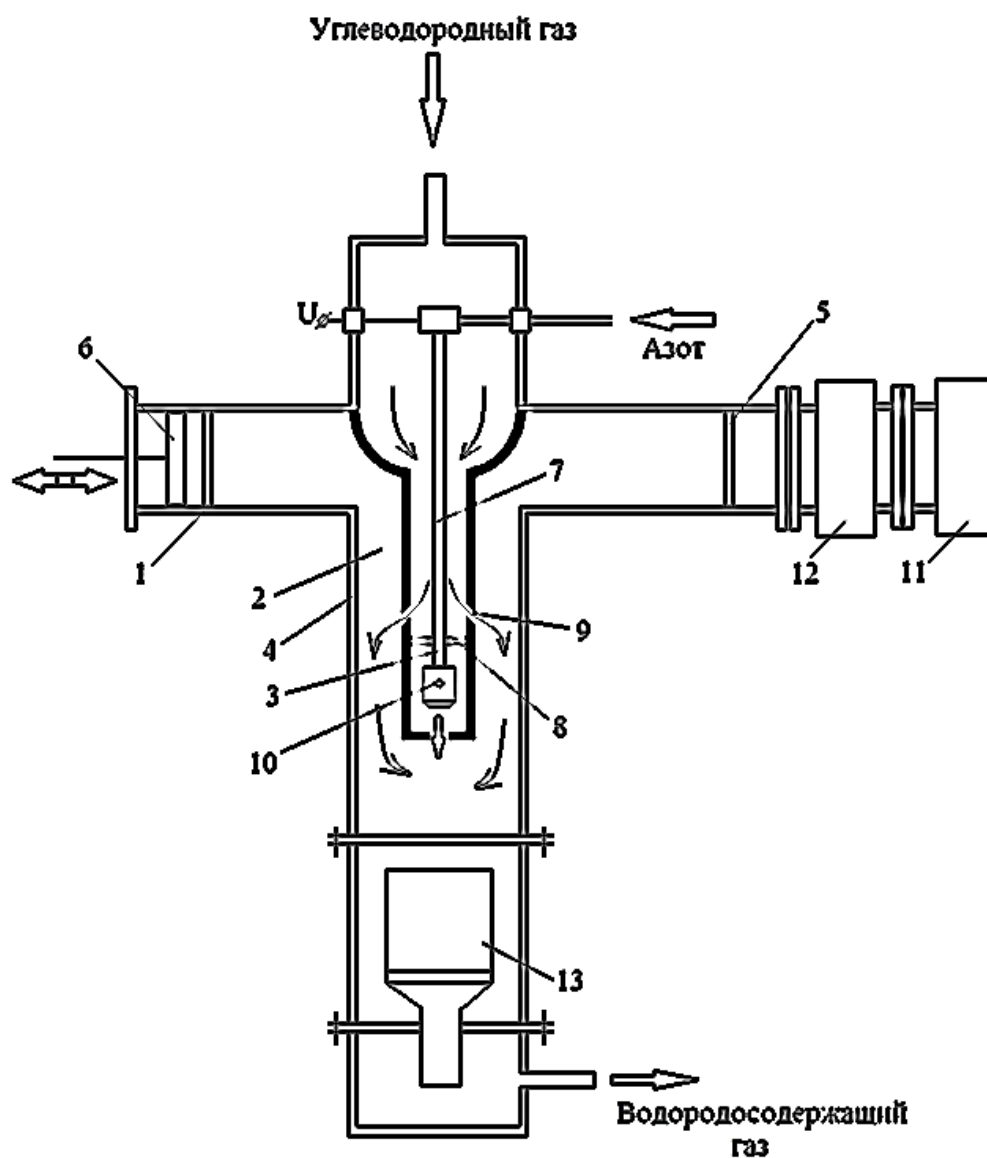


Рисунок .7 - плазмотрон с активным иницированием СВЧ-разряда

Разработанная система работает следующим образом. Сначала в зону разрядного промежутка через полый высоковольтный электрода 7 подается азот. Затем на высоковольтный электрод 7 газового разрядника подается импульс от источника высокого напряжения. Под действием импульсного напряжения в пространстве между торцом высоковольтного электрода 7 и внутренним проводником 3 загорается электрический разряд типа тлеющего. Поток азота плазма тлеющего разряда выносятся в область СВЧ разряда. На следующем этапе через систему отверстий 10 в разрядную камеру подается углеводородный газ, а в волновод 1 подается СВЧ энергия, под действием которой в разрядной камере зажигается СВЧ разряд. Процесс идет таким

образом, что вспомогательный разряд горит в атмосфере с преимущественным содержанием азота, а основной – СВЧ разряд в атмосфере углеводородного газа. При таком разделении газовых потоков осуществляется устойчивый СВЧ разряд атмосферного давления, в плазме которого углеводородный газ конвертируется в водород и углерод. Образовавшиеся под воздействием плазмы СВЧ разряда продукты конверсии углеводородного газа (водород и углерод) газовым потоком выносятся из разрядной камеры и собираются в сборниках углеродного материала и водородосодержащего газа.

2.5.3 Плазмотрон с радиальным иницированием СВЧ-разряда

Предварительные исследования по воздействию плазмы СВЧ разряда на углеводородные газы показали недостаточную стабильность работы известных типов плазмотронов.

Нестабильность работы связана с образованием углерода при разложении углеводородного газа (метана) в области СВЧ разряда.

Для решения данной проблемы был разработан новый вариант СВЧ плазмотрона, в котором применён инициатор разряда, выполненный в виде электрического газового разрядника с азотной плазмообразующей средой [6]. Данный разрядник создает начальную концентрацию плазмы, достаточную для иницирования основного СВЧ разряда. Применение данного инициатора позволило частично снять проблему зауглероживания межэлектродного промежутка разрядной камеры и, тем самым, увеличить время непрерывной работы СВЧ плазмотрона.

В качестве источника плазмы для переработки углеводородных газов рассматривается СВЧ плазмотрон с радиальной активной системой иницирования разряда, состоящей из четырех газовых разрядников, расположенных в диаметральной плоскости разрядной камеры. Эксперименты показали, что данная система обеспечивает стабильное иницирование и

«горение» СВЧ разряда при повышенных (более 1 м³/ч), представляющих практический интерес, расходах конвертируемого газа.

Схема СВЧ плазмотрона представлена на рисунке 8.

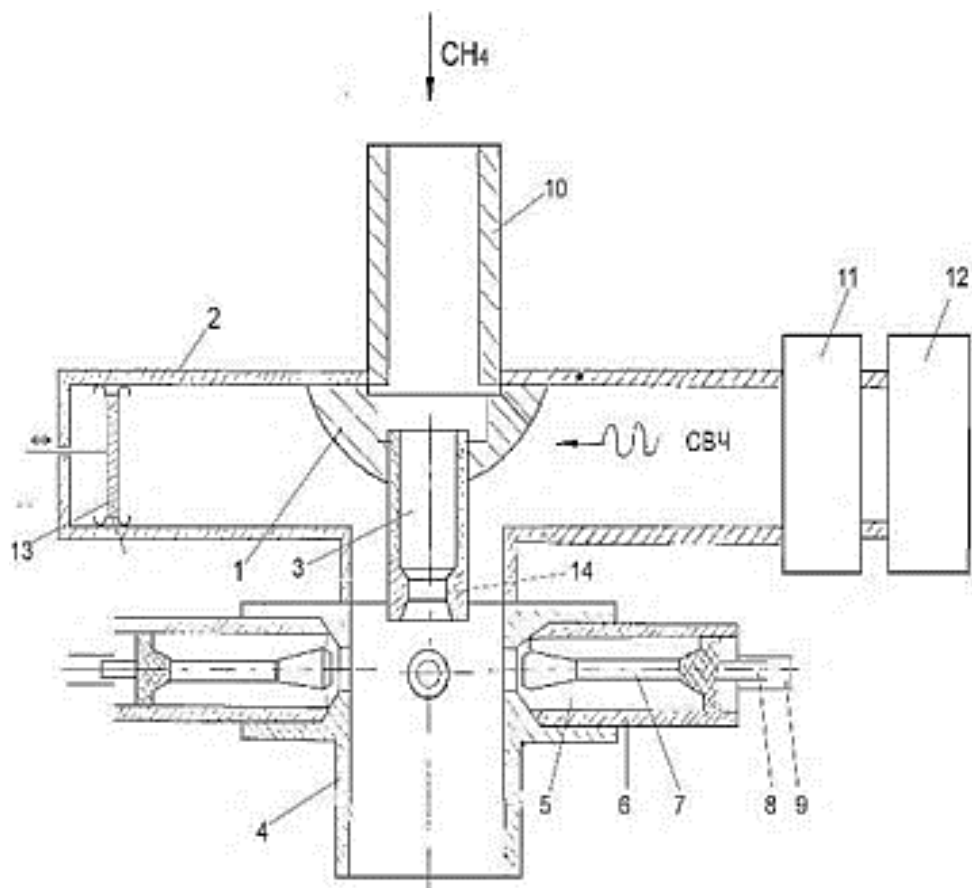


Рисунок -8 плазмотрон с радиальной системой иницирования разряда.

СВЧ плазмотрон представляет собой волноводно-коаксиальный переход (ВКП) 1, состоящий из прямоугольного волновода 2 и коаксиальной линии. Внутренний 3 и внешний 4 проводники коаксиальной линии образуют разрядную камеру. В разрядную камеру встроена активная система иницирования разряда, состоящая из четырех газовых разрядников 5, расположенных в диаметральной плоскости цилиндрической разрядной камеры с интервалом 90° по окружности. Каждый из разрядников 5 состоит из корпуса 6, центрального электрода 7, высоковольтного ввода 8 и снабжен индивидуальным газопроводом 9 для подачи в разрядный промежуток плазмообразующего газа (азота).

Волновод 2 оснащен трубопроводом 10 для подачи конвертируемого газа. К входу волновода 2 через ферритовый вентиль 11 подключен СВЧ генератор (магнетрон 12) мощностью до 5 кВт в непрерывном режиме и рабочей частотой (2450 ± 50) МГц. Защита магнетрона от отраженной волны обеспечивается применением ферритового вентиля. В качестве высоковольтных вводов газовых разрядников применены автомобильные свечи зажигания. Волновод 2 сечением 90x45 мм выполнен из нержавеющей стали. В выходном конце волновода установлен подвижный короткозамыкатель 13 для подстройки плазмотрона. Внутренний проводник 3 коаксиальной линии диаметром 16 мм и внешний проводник 4 внутренним диаметром 40 мм также выполнены из нержавеющей стали. Для формирования плазменного факела СВЧ разряда в полем внутреннем проводнике 3 коаксиала выполнено сопло 14. Внешний вид системы инициирования разряда представлен на рисунке 9

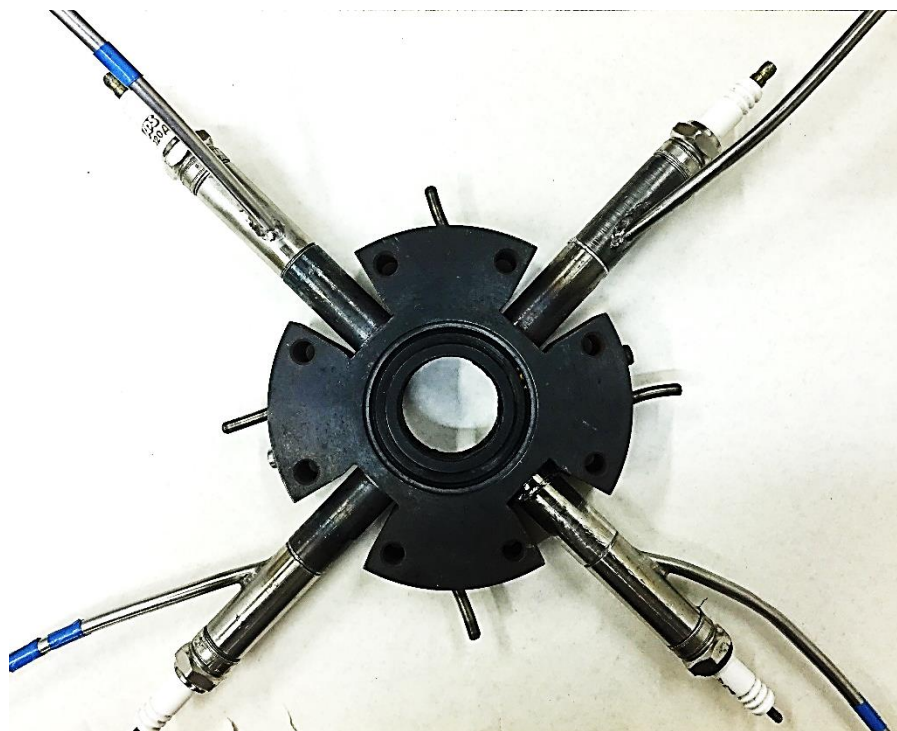


Рисунок – 9 Внешний вид системы инициирования разряда

СВЧ плазмотрон работает следующим образом. На первом этапе в зону разрядного промежутка каждого из разрядников 5 по индивидуальному газопроводу 9 подается азот, а на центральный электрод 7 через высоковольтный ввод 8 импульсы амплитудой до 15 кВ с частотой повторения

100 Гц. Импульсы формируются высоковольтным источником. Под действием этих импульсов зажигается электрический разряд, создавая плазму, концентрация которой достаточна для инициирования основного (СВЧ) разряда. Затем через полый внутренний проводник 3 коаксиала ВКП в разрядную камеру подается природный газ с содержанием метана (CH_4) порядка 95 об. % и по коаксиалу ВКП СВЧ мощность от генератора 12. Коаксиальная линия ВКП переходит в своем продолжении в круглый волновод, являющийся внешним проводником 4 коаксиала диаметром 40 мм. Волновод такого диаметра является запредельным для рабочей волны генератора $\lambda_0 = 12,45$ см. За счет этого в зоне торца проводника 3 увеличивается напряженность электрического поля и зажигается СВЧ разряд атмосферного давления. Наряду с этим, условия инициирования и дальнейшего поддержания стабильного горения СВЧ разряда обеспечиваются применением радиальной системы инициирования разряда. Процесс идет таким образом, что иницирующие (вспомогательные) разряды горят в зоне с преимущественной концентрацией азота, а основной (СВЧ) разряд в зоне, где преобладает концентрация метана. При таком разделении газовых потоков обеспечивается стабильное горение СВЧ разряда в широком интервале расхода конвертируемого газа и уровней СВЧ мощности, вкладываемой в разряд. За счет данного конструктивного исполнения системы инициирования разряда уменьшается вероятность образования углеродных «мостиков», перекрывающих разрядные промежутки, увеличивается реакционный объем, улучшается пространственная однородность плазменного образования, повышающая, в свою очередь, степень конверсии метана.

Образовавшиеся под воздействием плазмы СВЧ разряда продукты конверсии метана (водород и углерод) газовым потоком выносятся из разрядной камеры, проходят через систему фильтров и собираются в соответствующих сборниках.

На базе разработанного СВЧ плазмотрона была создана установка и проведен ряд экспериментов по конверсии природного газа с содержанием

метана 95-97% в водород и углерод. Наряду с СВЧ плазмотроном в состав установки входят: проточный радиопрозрачный реактор и система фильтров для очистки водорода и сбора углерода. Такая установка позволяет реализовать технологию конверсии метана. Воздействие на газ плазмы СВЧ разряда.

Для определения степени конверсии были проведены эксперименты при разных расходах углеводородного газа от 0,12 до 2 м³/час. При этом изменялся уровень СВЧ мощности с 0,8 до 1,6 кВт.

На рисунке 10 представлены экспериментальные зависимости степени конверсии от расхода углеводородного газа и уровня СВЧ мощности, вкладываемой в разряд.

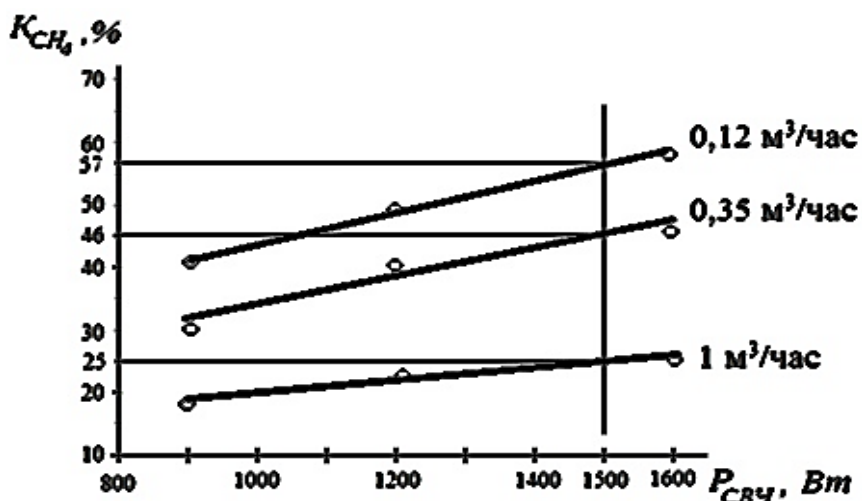


Рисунок - 10. Зависимость степени конверсии от расхода газа

Из графика следует, что при уровне мощности СВЧ равном 1,5 кВт наибольшая степень конверсии (57%) достигается при расходе природного газа 0,12 м³/час.

3. Расчет параметров волноводного СВЧ плазмотрона

Были проведены расчеты для данного типа СВЧ плазмотрона его основных параметров, выбран конструкционный материал, проведены холодные измерения параметров согласования волноведущей системы.

Выбор рабочей частоты плазмотрона.

В качестве рабочей частоты выбираем частоту, $f = 2450$ МГц .

Данной частоте соответствует рабочая длина волны λ :

$$\lambda = \frac{c}{f} = \frac{3 \cdot 10^8}{2,45 \cdot 10^9} = 12,24 \text{ см.} \quad (1)$$

Выбор типа волновода

В соответствии с рабочей частотой $f = 2450$ МГц и длиной волны $12,24$ см, в качестве рабочего типа волновода выбираем прямоугольный волновод с поперечным сечением $90 \times 45 \text{ мм}^2$. [18]

Выбор материала волновода.

В качестве конструкционного материала были рассмотрены 3 материала: медь, алюминий и нержавеющая сталь. Сталь марки 20Х23Н18 Сталь жаропрочная высоколегированная

Расчет затухания СВЧ энергии в волноводе из нержавеющей стали .

Расчет проводим по формуле, приведенной в работе[18]

$$N_{10} = \frac{\sqrt{\frac{\omega \cdot \mu_{ст} \cdot \varepsilon \cdot \varepsilon_0}{2 \cdot \delta_{ст} \cdot \mu}}}{b \cdot \sqrt{1 - \left(\frac{\lambda}{\lambda_{кр}}\right)^2}} * \left(1 + 2 \frac{b}{a} \left(\frac{\lambda}{\lambda_{кр}}\right)^2\right) \quad (2)$$

где ε_0 и μ_0 —диэлектрическая и магнитная проницаемость вакуума;

λ – рабочая длина волны, см;

$\lambda_{кр} = 2a$ – критическая длина волны, см.

$\mu_{ст}$ – магнитная проницаемость стенки волновода,

$\delta_{ст}$ – удельная проводимость стенки волновода, $1/\text{Ом} \cdot \text{м}$;

ε и μ - относительные диэлектрическая и магнитная проницаемости среды заполняющей волновод.

Отсюда получаем:

$$(\alpha)_{H_{10}} = \frac{\sqrt{\frac{15.386 * 10^6 * 5 * 10^{-3} * 8.84 * 10^3 * 0.154}{2 * 7.69 * 10^6 * 12.56 * 10^{-7}}}}{45 * \sqrt{1 - \left(\frac{12.24}{2 * 90}\right)^2}} * \left[1 + 2 \frac{45}{90} \left(\frac{12.24}{2 * 90}\right)^2\right] = 0.118 \left[\frac{\text{дБ}}{\text{м}}\right]$$

Затухание СВЧ энергии в волноводе из нержавеющей стали, работающем на основном типе волны H_{10} составило 0.118 дБ/м.

Рассчитанное по формуле (2) затухание СВЧ энергии в медном и алюминиевом волноводах составило соответственно 0,018 дБ/м. и 0.034 дБ/м

При выборе материала волновода важным параметром является температура плавления, для алюминия она составляет 660 °С, для меди 1085°С для нержавеющей стали 1800°С. Температура плазмы составляет 5000 К , следовательно волновод из алюминия не безопасно использовать, так как в результате работы плазмотрона он может выйти из строя из-за большей температуры.

Для изготовления СВЧ плазмотрона в качестве конструкционного материала была выбрана нержавеющая сталь, так как по стоимости, она дешевле, чем медь.

Внешний вид волноводного СВЧ плазмотрона представлен на рисунке 11.

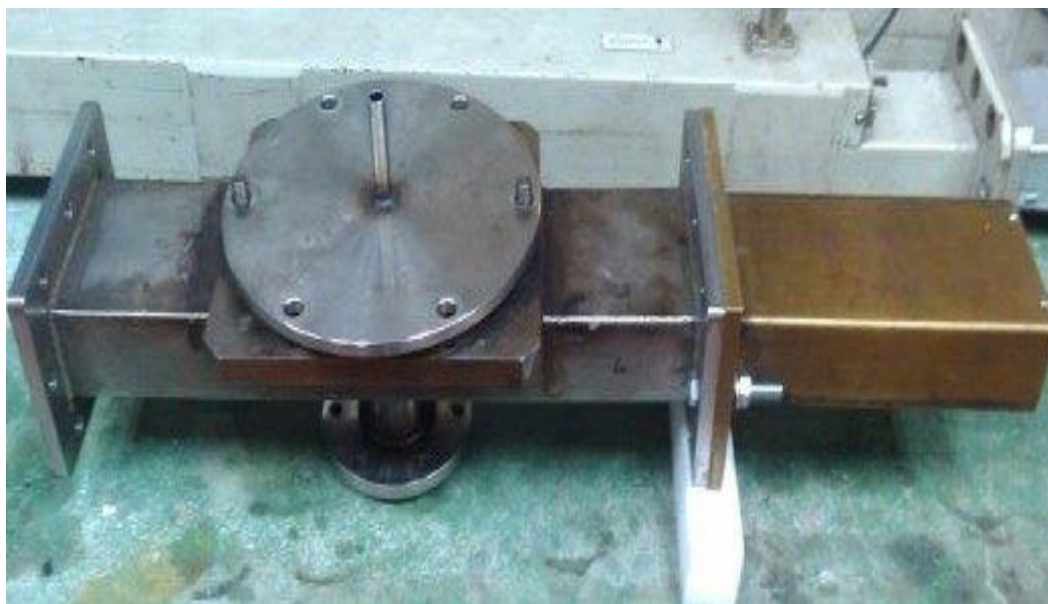


Рисунок 11 – Внешний вид волноводного СВЧ плазмотрона с короткозамыкающим поршнем

Измерение параметров согласования волноведущей системы плазмотрона.

Измерения параметров согласования (КСВН) производились с помощью прибора Р 2 – 56 («Панорамный измеритель КСВН»)

Стенд для измерения КСВН приведена на рисунке 12.

Он включает в себя СВЧ генератор переменной частоты и волноводный тракт.



Рисунок 12 – Схема измерения КСВН

С помощью стенда были произведены измерения КСВН волноведущей системы плазмотрона в диапазоне частот от 2200 до 4400 МГц. при согласованной нагрузке и коротком замыкании поршнем. Частотная зависимость КСВН для случая согласованной нагрузки представлена на рисунке 13. На рабочей частоте 2450МГц, $КСВН = 1.26$.

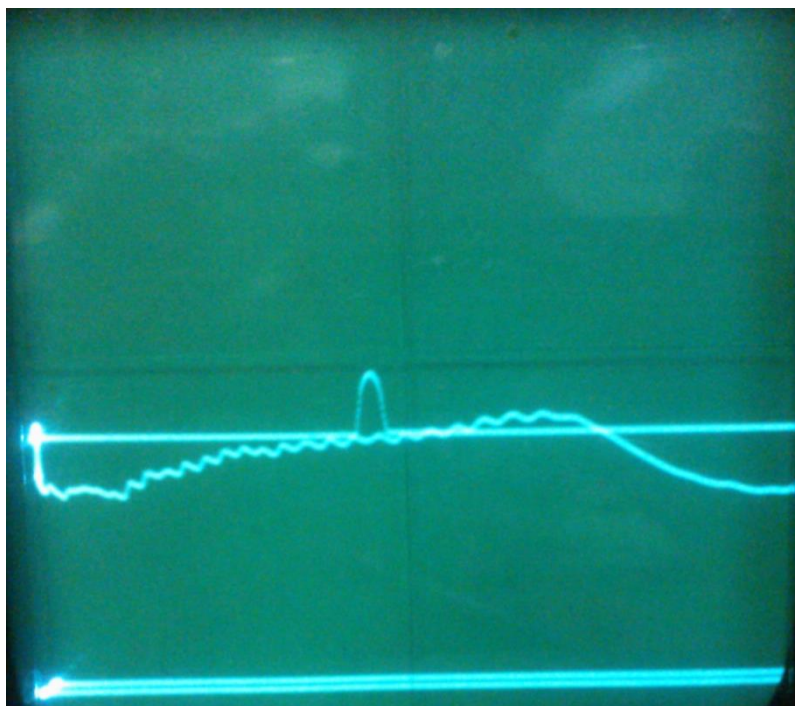


Рисунок 13 - Частотная зависимость КСВН волноведущей системы плазмотрона

Для данного КСВН рассчитываем коэффициент отражения и уровень отраженной мощности :

$$|\Gamma| = \frac{p-1}{p+1} = \frac{1.26-1}{1.26+1} = 0.1 \quad (3)$$

Где $|\Gamma|$ - коэффициент отражения

p - Коэффициент стоячей волны (КСВН)

Найдем значение уровня отраженной мощности:

$$P_{\text{отраж}} = \Gamma^2 * P_{\text{пад}} * 100\% = 0.1^2 * 1 * 100\% = 1\% \quad (4)$$

Так же были произведены измерения параметров согласования волноведущей системы плазмотрона при его нагрузке на короткозамыкающий поршень.

Для случая нагрузки плазмотрона на короткозамыкающий поршень на частоте 2450МГц, КСВН = 2.7 .

Для данного КСВН рассчитываем коэффициент отражения и уровень отраженной мощности :

$$|\Gamma| = \frac{p - 1}{p + 1} = \frac{2.7 - 1}{2.7 + 1} = 0.45 \quad (4)$$

Значение уровня отраженной мощности:

$$P_{\text{отраж}} = \Gamma^2 * P_{\text{пад}} * 100\% = 0,45^2 * 1 * 100\% = 21.1\% \quad (5)$$

В результате проведенного эксперимента при измерении согласования плазмотрона с согласованной нагрузкой и короткозамыкателем был выбран первый вариант (согласованная нагрузка) характеризующейся минимальным уровнем отраженной мощности. Полученное значение уровня отраженной мощности в 1% от падающей подтверждает хорошее согласование волноведущей системы плазмотрона. Данные «холодные» измерения проводились в отсутствии плазмы СВЧ – разряда. Плазма представляет собой нагрузку хорошо поглощающую энергию СВЧ, поэтому в рабочем режиме (при наличии плазмы СВЧ разряда) уровень отраженной мощности будет существенно ниже.

Рассмотренный плазмотрон в качестве основного элемента входит в состав экспериментальной установке для конверсии природного газа (метана) в водород и углерод. Внешний вид экспериментальной установки представлен на рисунке 14

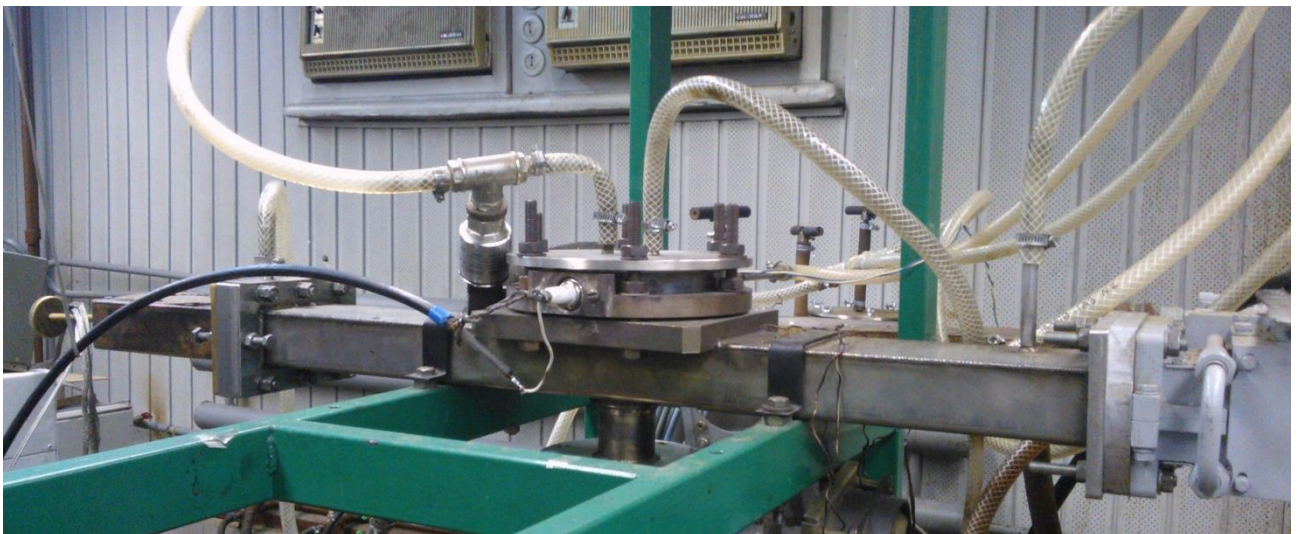


Рисунок 14 - Внешний вид экспериментальной установки

С помощью данного плазмотрона была осуществлена конверсия природного газа в углеродный наноматериал (рисунок 15) и водород с эффективностью до 70% . В состав углеродного наноматериала входят многослойные, однослойные луковичные нанотрубки и аморфный углерод с удельной поверхностью 200-400 м²/гр. В экспериментах мощность СВЧ генератора изменялась в пределах 0.8-2 кВт. Расход газа в пределах 0.05-1 м³/час. Эксперименты проводились при атмосферном давлении. В качестве СВЧ генератора применен магнетрон типа М-168 выходной мощностью до 5 кВт. Рабочая частота магнетрона 2450МГц ± 50 Гц



Рисунок 15 - Углеродный наноматериал

4. Разработка имитационной модели по контролю технологических параметров в процессе конверсии метана.

Использование данного плазмотрона для конверсии природного газа, требует разработки программного обеспечения для непосредственного контроля параметров работы всей системы и передачи полученных данных на пульт управления. Для разработки имитационной модели была выбрана продукция компании National Instruments LabVIEW — это среда разработки и платформа для выполнения программ, созданных на графическом языке программирования «G». LabVIEW используется в системах сбора и обработки данных, а также для управления техническими объектами и технологическими процессами. Идеологически LabVIEW очень близка к SCADA-системам, но в отличие от них в большей степени ориентирована на решение задач не столько в области АСУ ТП, сколько в области АСНИ. Графический язык программирования «G», используемый в LabVIEW, основан на архитектуре потоков данных. Последовательность выполнения операторов в таких языках определяется не порядком их следования (как в императивных языках программирования), а наличием данных на входах этих операторов. Операторы, не связанные по данным, выполняются параллельно в произвольном порядке. Данная среда была выбрана ввиду того, что у меня, как разработчика уже имелся опыт разработки приложений в ней.

4.1 Порядок работы установки по получению метана водородного топлива.

Включаем питание всей системы на пульте управления происходит индикация питания. Запускается работа насоса который создает в системе разряжение -0.3 кгс/см^2 , оно выравнивается, что можно будет увидеть соответствующее значение на датчиках давления P1,P2,P3. Одновременно запускается насос происходит движения охлаждающей жидкости для охлаждения магнетрона, циркулятора и разрядной камеры.

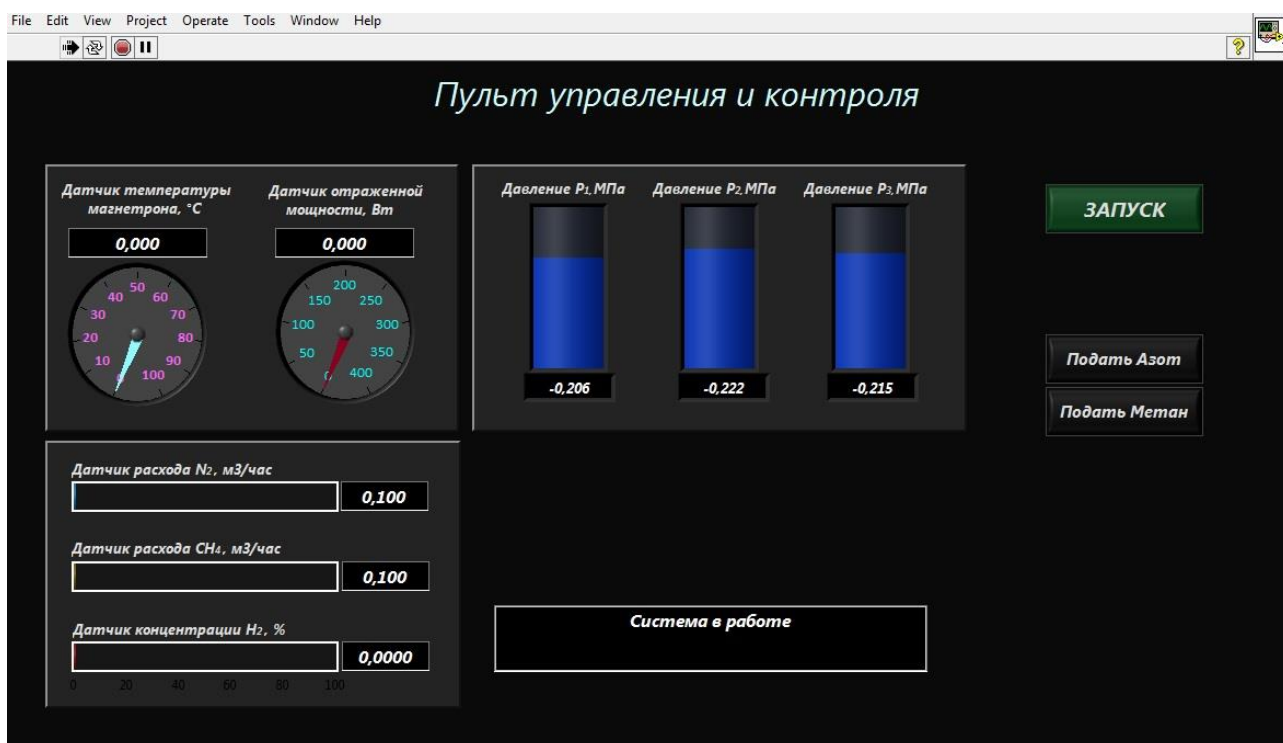


Рисунок 16 - Внешний пульт управления

На пульте управления включаем тумблер подачи азота в систему вспомогательного разряда. одновременно подается азот в волновод плазмотрона для защиты кварцевых окон от запыления углеродом. Затем на высоковольтный электрод вспомогательной системы разряда подается импульс от источника высокого напряжения. Под действием импульсного напряжения в пространстве между торцом высоковольтного электрода и внутренним проводником коаксиальной линии ВКП загорается электрический разряд.

Вспомогательный разряд горит в атмосфере с преимущественным содержанием азота.

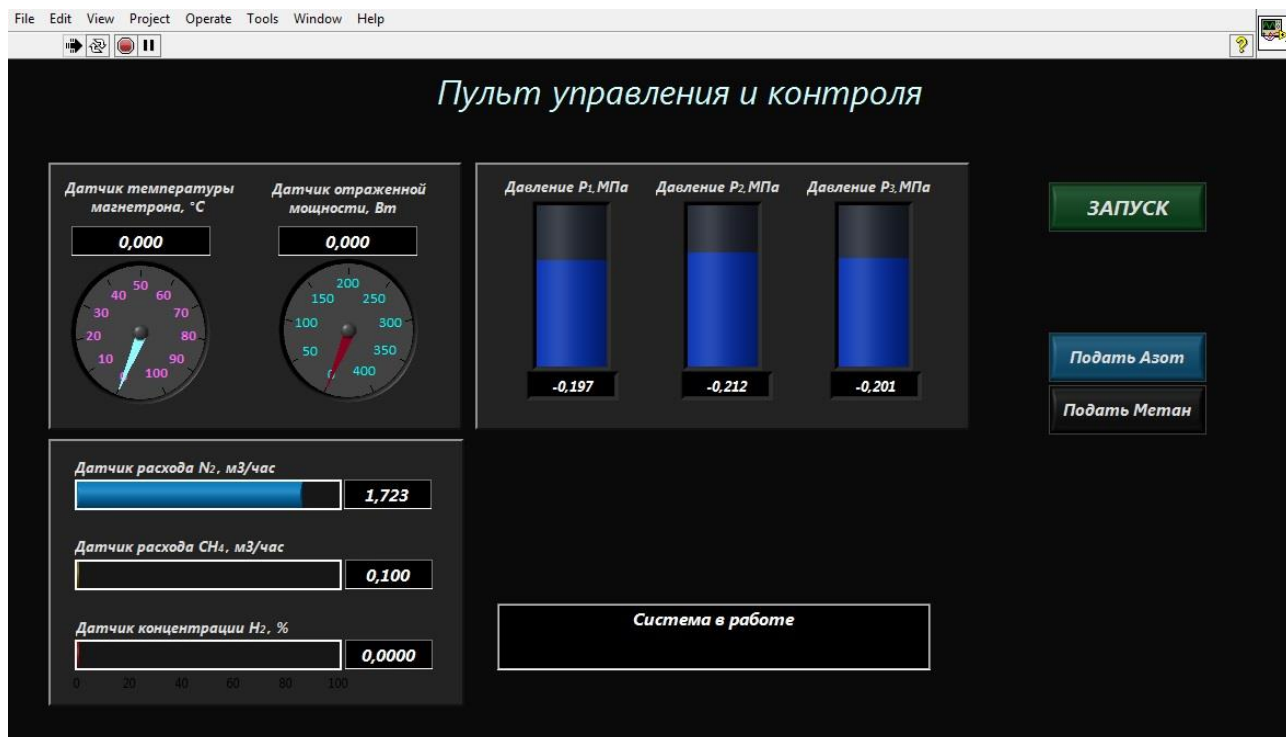


Рисунок 17 - Внешний вид пульта управления при подачи азота

На пульте управления включаем тумблер подачи метана в плазмотрон. Включаем питание магнетрона, подается СВЧ энергия, под действием которой в разрядной камере загорается основной, СВЧ разряд горящий в атмосфере метана. При таком разделении газовых потоков осуществляется устойчивый СВЧ разряд атмосферного давления. Для разделения продуктов реакции на выходе реактора предусмотрена система сбора углерода и фильтров для очистки водорода.

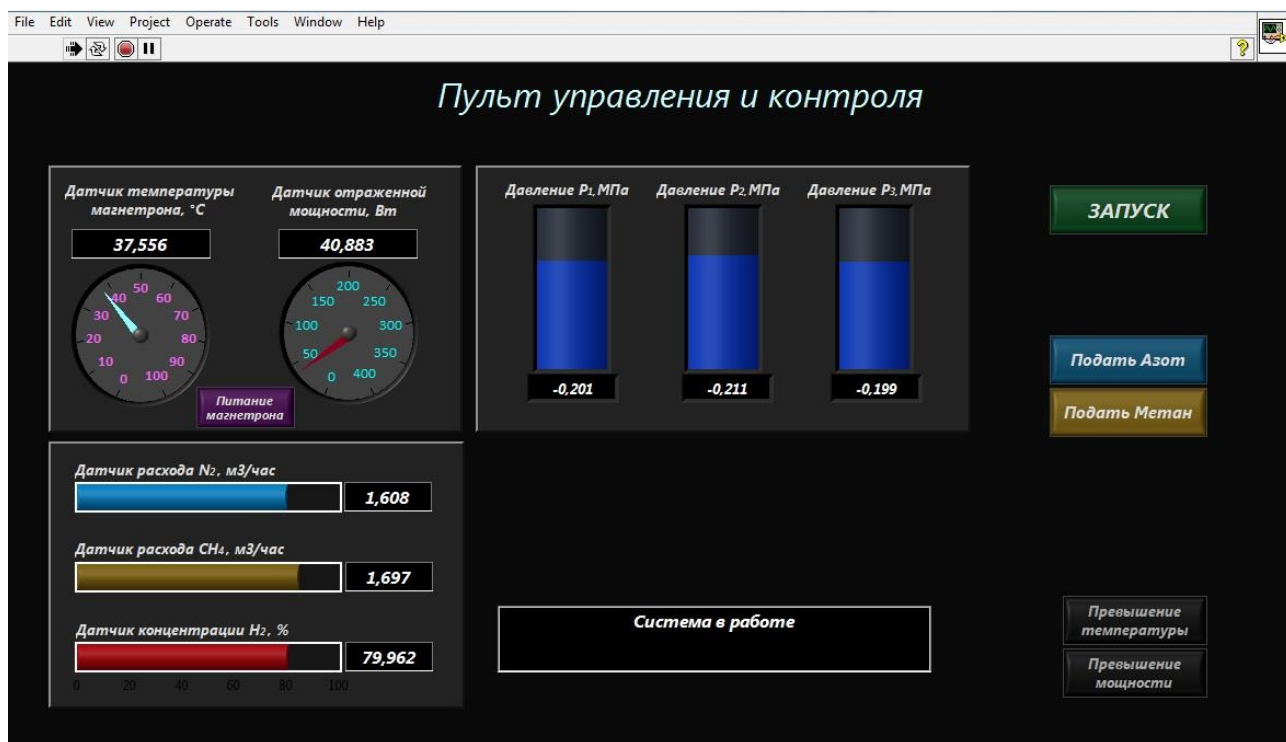
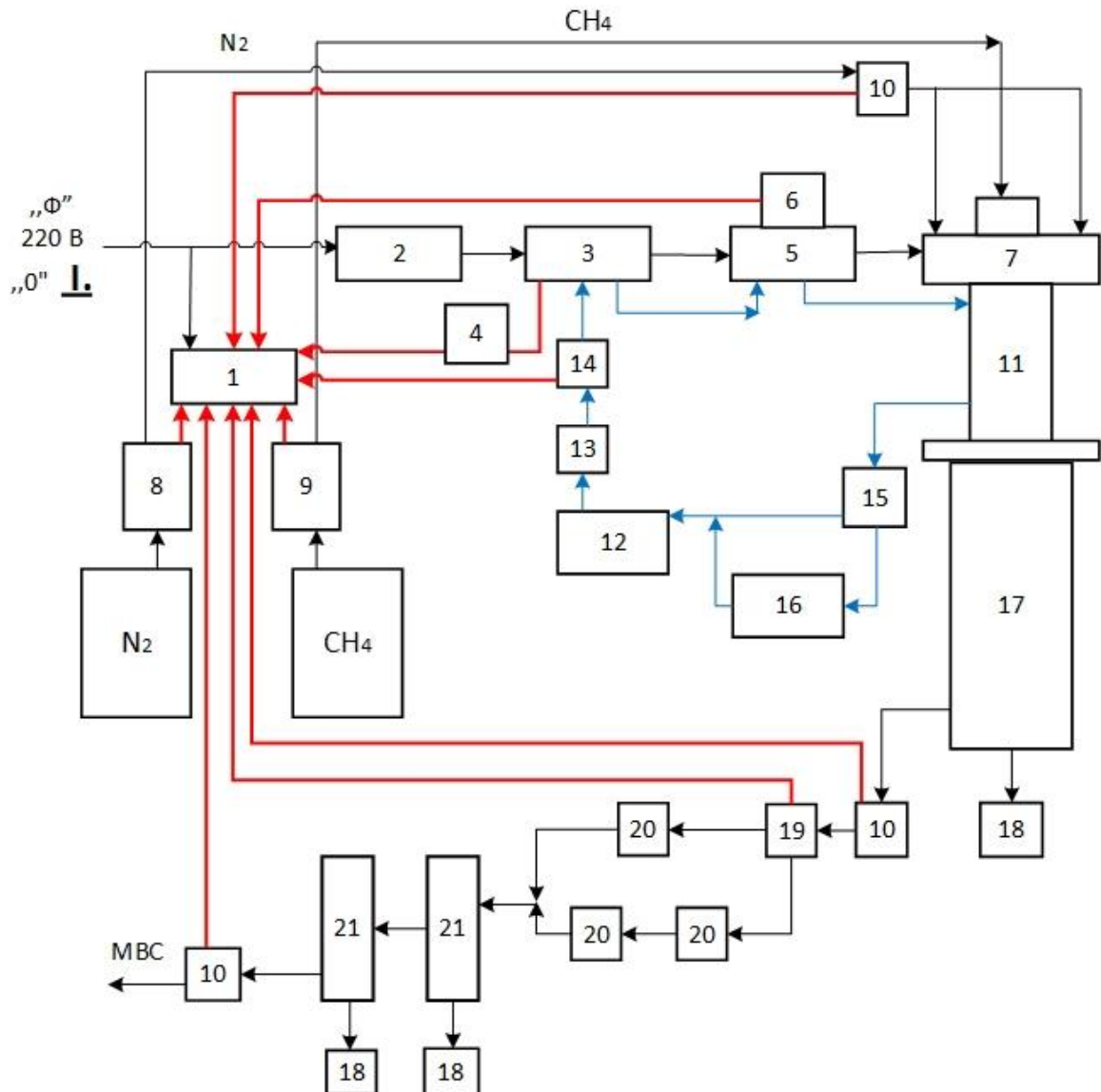


Рисунок 18 - Внешний вид работающего пульта управления

С помощью системы циклонов углерод в виде углеродного наноматериала (УНМ) осаждается в соответствующих сборниках. Отфильтрованный газообразный продукт представляет собой смесь, состоящую из непрореагирующего метана и водорода. Данная газовая смесь и представляет собой, по сути, метано водородное топливо. Подбирая определенное соотношение в данной смеси концентрации метана и водорода создаем эффективное топливо для газопоршневых и газотурбинных агрегатов.

Структурная схема



1. Пульт управления
2. Блок питания магнетрона
3. Магнетрон
4. Датчик температуры магнетрона
5. Циркулятор
6. Датчик уровня отраженной мощности
7. СВЧ плазмотрон
8. Датчик расхода азота
9. Датчик расхода метана
10. Датчик давления
11. Реактор

12. Система охлаждения
13. Насос охлаждающей жидкости
14. Датчик температуры охлаждающей жидкости
15. Термостат
16. Радиатор
17. Агломератор
18. Сборник углерода
19. Датчик концентрации водорода
20. Циклон
21. Фильтр

4.2 Контроль технологических параметров процесса конверсии природного газа.

Для того, чтобы обеспечить корректную работу СВЧ-реактора необходимо контролировать технологические параметры в процессе конверсии метана.

Интерфейс программы.

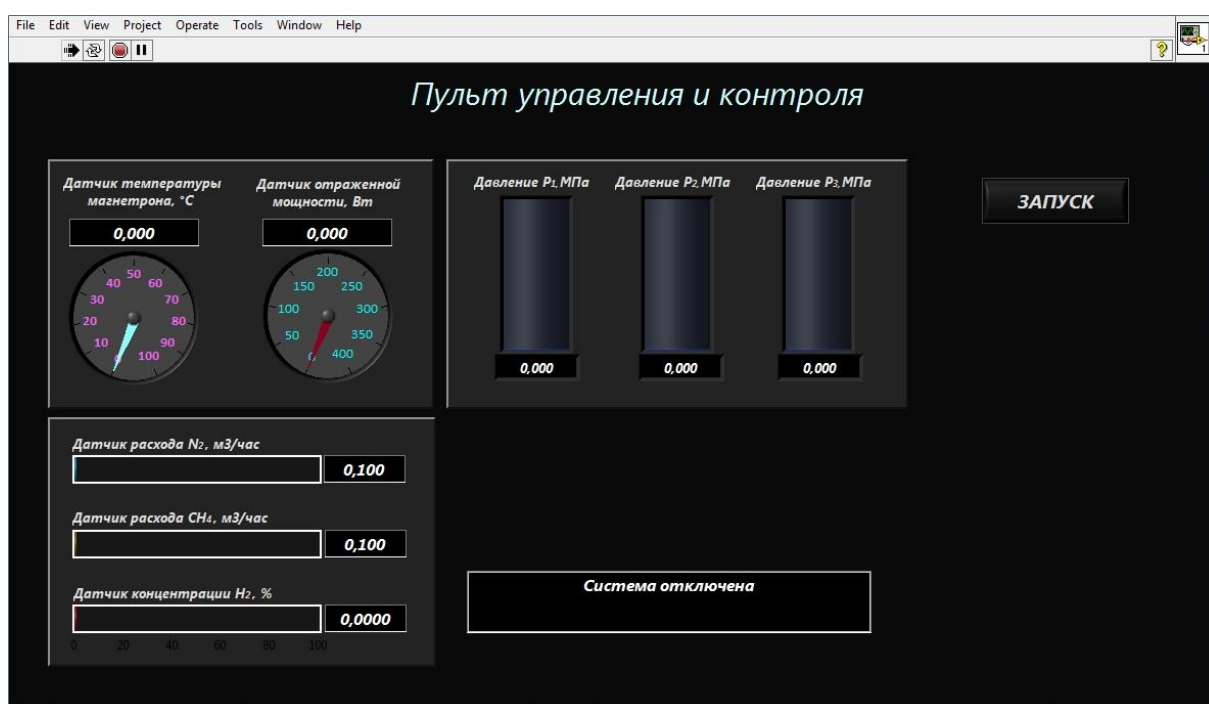


Рисунок 19 – Интерфейс программы в незапущенном состоянии

Для контроля параметров используется следующее оборудование:

- 1) Датчик давления ДМ 5007А с унифицированным выходным сигналом с пределом измерения до 2,5 МПа;
- 2) Расходомер счетчик РС 01 с диапазоном измеряемых расходов от 0,001 до 600 м³/ч;
- 3) Датчик концентрации водорода АДТ-23-3440 определять уровень паров водорода в диапазоне значений 0-100 % LEL с точностью до ± 1 %
- 4) Ваттметр поглощаемой СВЧ-мощности МЗ-56 с пределом измерения до 20 Вт; непрерывной мощности.
- 5) Датчик перегрев магнетрона RUBIN MS1770МК пределом измерения 0—100 °С .

Основная часть программы. Представляет собой бесконечный цикл (пока не нажать на стоп – не закончится программа).

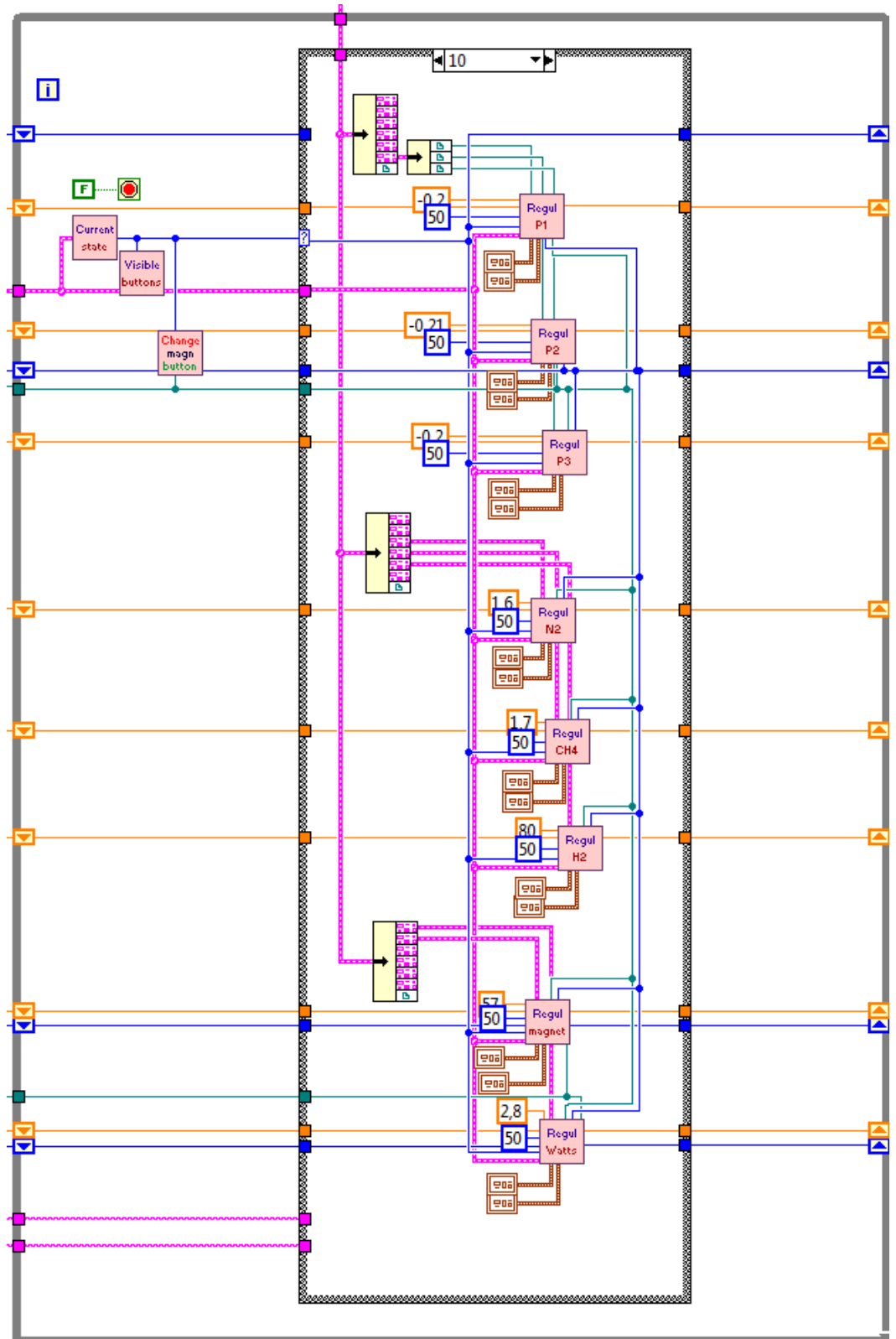


Рисунок 21 - Код программы для задания начальных значений

В зависимости от состояния видны/не видны кнопки. Это реализовано в подпрограммах `Current_State` и `Visible buttons`. Их коды можно увидеть на рисунке 22. В строке на интерфейсе пишется текущее состояние системы.

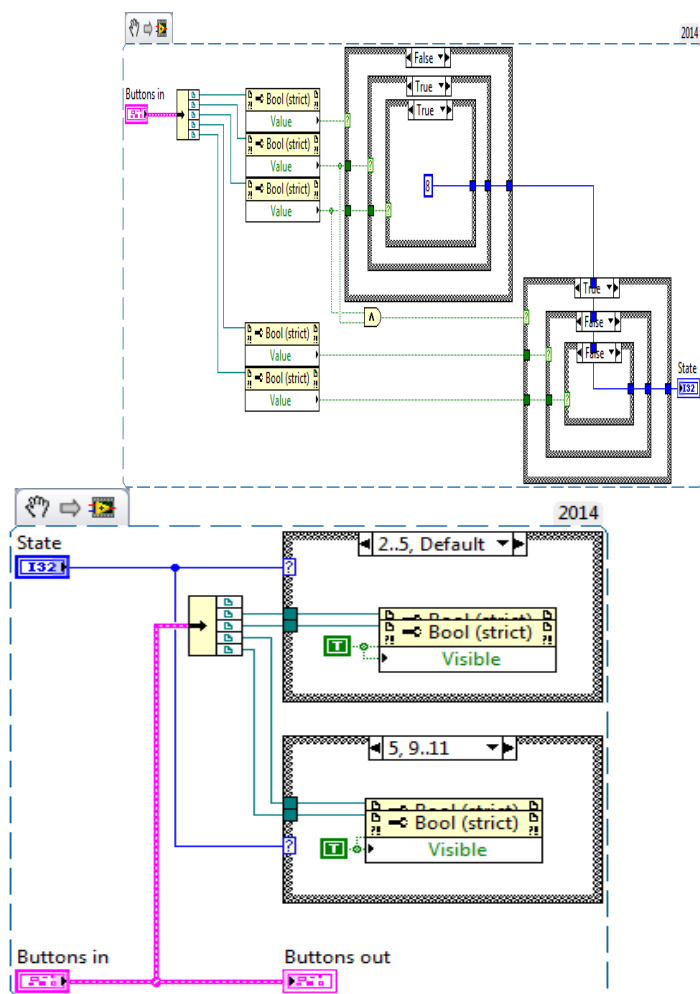


Рисунок. 22 – текущее состояние системы

Состояние 1 – не нажата кнопка «Запуск».

Происходит спад всех датчиков к нулевым начальным значениям.

Состояние 2 – нажата только кнопка «Запуск».

Датчики давления стремятся к -0.2. Ниже – код программы установления значения в одном из датчиков давления. Это цикл с условием выхода – смена состояния (нажата кнопка). Для того, чтобы отображались не постоянно одни и те же цифры, а также, чтобы был плавный выход на нужное значение реализовано ПИ-регулирование, которое считает следующую точку каждый цикл

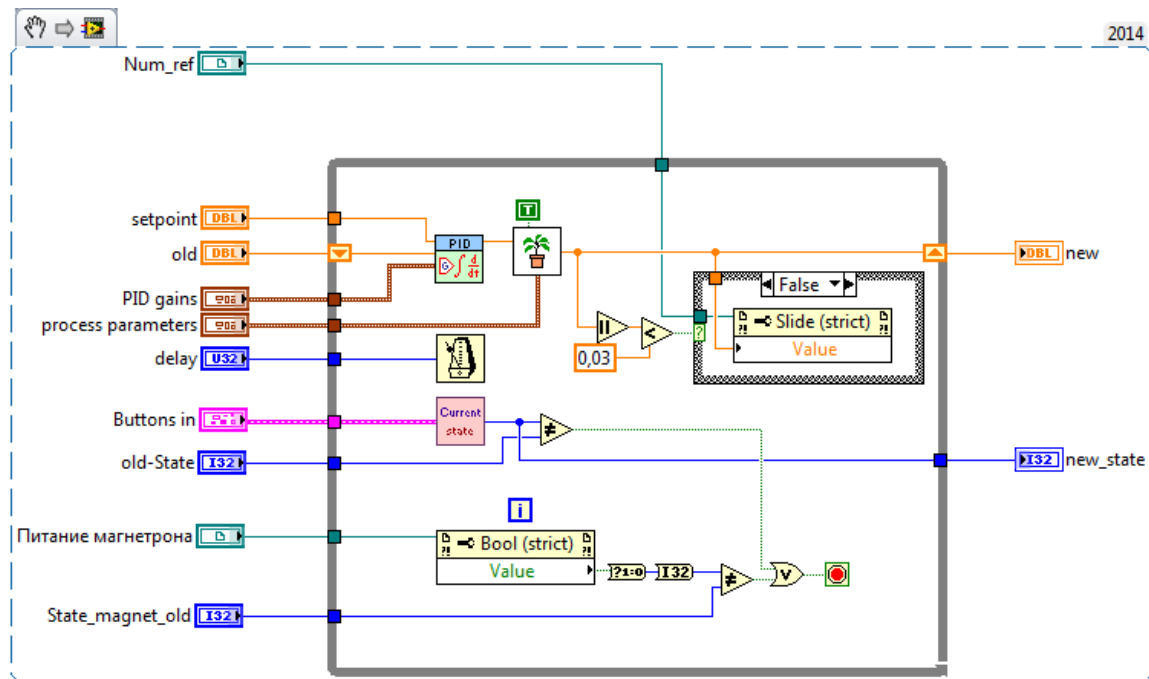


Рисунок. 23 – нажата только кнопка «Запуск».

Состояние 3 – нажата кнопка «Запуск» и «Азот».

Датчики давления стремятся к -0.2.

Азот стремится к 1.6. Метан нет.

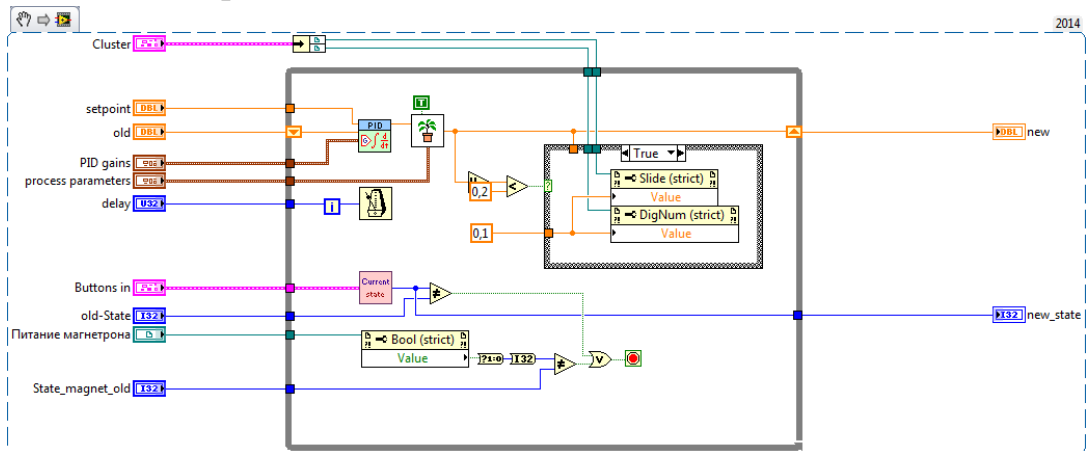


Рисунок. 24 – нажата кнопка «Запуск» и «Азот».

Состояние 5 – нажаты кнопка «Запуск», «Азот» и «Метан».

Датчики давления стремятся к -0.2.

Метан стремится к 1.7. Азот к 1.6.

Становятся видимыми остальные кнопки. Если нажата кнопка «Питание магнетрона», то в этом состоянии запускаются датчики температуры, мощности и водорода.

Ниже – код. Он похож на предыдущие. Отличие в проверке состояния кнопки «питание магнетрона»

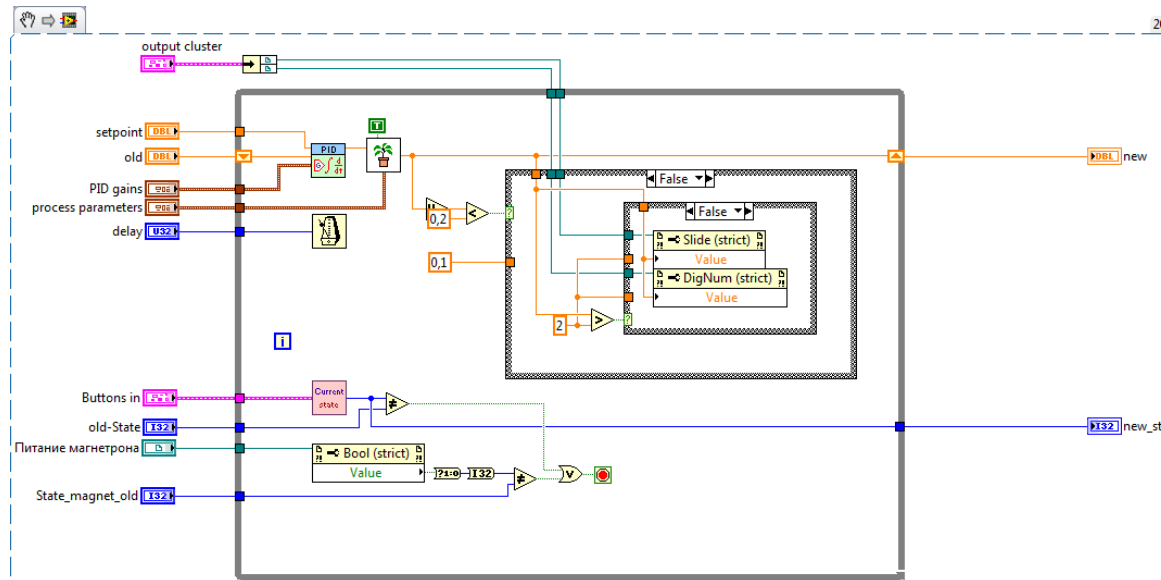


Рисунок. 25 – нажата кнопка «Запуск», «Азот» и «Метан».

Состояние 6..8 – если не нажата кнопка «Запуск», а «Метан» и «Азот» нажаты – тут происходит сброс состояния в 2.

Состояние 9 – нажаты кнопка «Запуск», «Азот» и «Метан» и нажата кнопка «Превышение температуры».

К состоянию 5 добавляется большой прирост температуры – если превышает порог, то начинает мигать индикатор, через несколько секунд система сбрасывается в состояние 2.

Ниже код, который выполняется если состояние удовлетворяет условиям. Если нет, то сброс датчиков в начальные состояния.

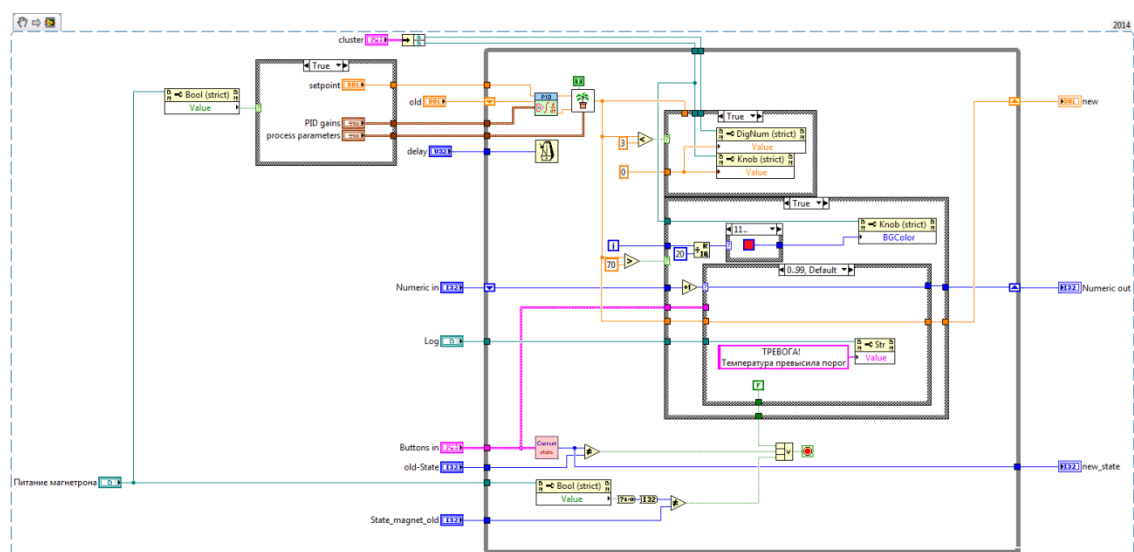


Рисунок. 26 - нажаты кнопка «Запуск», «Азот» и «Метан» и нажата кнопка «Превышение температуры».

Состояние 10 – нажаты кнопка «Запуск», «Азот» и «Метан» и нажата кнопка «Превышение мощности».

К состоянию 5 добавляется большой прирост мощности – если превышает порог, то начинает мигать индикатор, через несколько секунд система сбрасывается в состояние 2.

Состояние 11 – нажаты кнопка «Запуск», «Азот» и «Метан», нажата кнопка «Превышение температуры» и нажата кнопка «Превышение мощности». Тут происходит сброс или к состоянию 9 или 10.

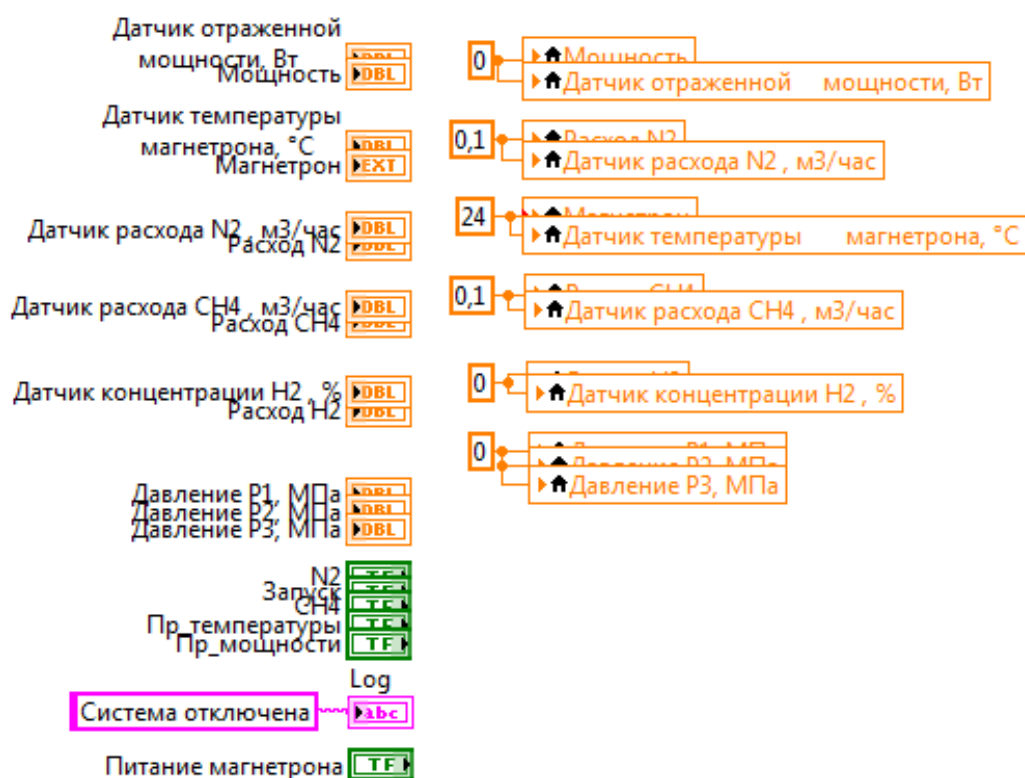


Рисунок.27 - нажаты кнопка «Запуск», «Азот» и «Метан», нажата кнопка «Превышение температуры» и нажата кнопка «Превышение мощности».

4.3. Продукты конверсии метана и сферы их применения

Продуктами конверсии метана являются водород и углерод. В состав углеродного материала, получающегося в результате реакции разложения входят: углеродные многослойные, однослойные, луковичные нанотрубки с удельной поверхностью от 30 до 100 м²/г; аморфный углерод с удельной поверхностью 200 - 400 м²/г. Размер частиц аморфного углерода составляет от 10 до 50 нм. Поперечный размер нанотрубок в зависимости от условий процесса изменялся в пределах от 5 до 27 нм.

наряду с водородом состав газовой фракции входит остатки не прореагировавшего метана и азота.

Рассмотрим подробнее продукты, получающиеся в результате конверсии природного газа в СВЧ плазмохимическом реакторе.

4.3.1 Углеродный наноматериал

Углерод известен человечеству с древнейших времен. Чистый углерод, и содержащие его материалы служат объектами фундаментальных исследований и применяются в бесчисленных технических процессах. Все это ярко свидетельствует о его огромной важности для цивилизации. Еще несколько десятилетий назад были известны три основных аллотропных формы углерода: алмаз, графит. Однако в последнее время были открыты новые модификации углерода, обладающие уникальными свойствами – фуллерены и углеродные нанотрубки[10].

Кристаллические фуллерены и пленки представляют собой полупроводники с шириной запрещенной зоны 1,2-1,9 эВ и обладают фотопроводимостью. Фуллерены отличаются высокой химической инертностью по отношению к процессу мономолекулярного распада. Поскольку молекулы фуллеренов обладают сродством к электрону, в химических процессах они могут проявлять себя как слабые окислители.

После открытия фуллерена ученые выяснили, что графеновые плоскости могут при определенных условиях сворачиваться в трубки. Эти образования были названы углеродными нанотрубками (УНТ). УНТ – это полые продолговатые цилиндрические структуры диаметром порядка от единиц до десятков нанометров и длиной порядка десятков микрон (рис.). Итак, УНТ это полое образование, состоящее из порядка 1 000 000 атомов углерода.

На ее поверхности атомы углерода расположены в вершинах правильных шестиугольников.

Бездефектную углеродную нанотрубку можно представить себе как лист графита, свернутый в бесшовный цилиндр диаметром от 1 до 150нм и длиной до сотен микрометров.

УНТ сочетают в себе как свойства молекул, так и свойства твердого тела, что позволяет рассматривать их как некое промежуточное состояние вещества. Это один из самых перспективных материалов для разнообразных применений, поскольку они обладают уникальными электрическими и механическими свойствами, включая, прочность, жесткость, ударную вязкость, химическую стойкость, теплопроводность. В зависимости от диаметра и хиральности (направления закрутки) проводимость УНТ может иметь металлический или полупроводниковый характер. Эти свойства в сочетании с наномасштабной геометрией делают их почти идеальными материалами для изготовления квантовых проводов и соединений. Соединяя нанотрубки разного размера и типа, можно создать гетеропереходы, а затем функциональные устройства, вентили и цепи, которые можно назвать изделиями наноэлектроники

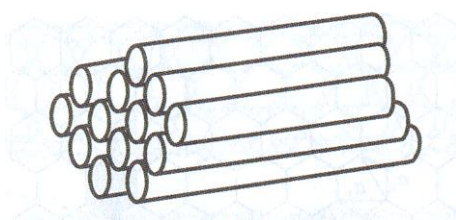


Рисунок 28 - Схема строения сростков УНТ.

Идеальная нанотрубка представляет собой свернутую в цилиндр графеновую плоскость, т. е. поверхность, выложенную правильными шестиугольниками, в вершинах которых расположены атомы углерода. Формы углеродных нанотрубок очень разнообразны. Они могут быть одностенными или многостенными (однослойными или многослойными) (рисунок 27), прямыми или спиральными, длинными и короткими и т. д. Нанотрубки необыкновенно прочны на растяжение и на изгиб. Под действием больших механических напряжений они не рвутся, не ломаются, а просто перестраивают свою структуру. УНТ обладают важными для практического использования свойствами: они способны проводить ток очень высокой плотности, менять свои свойства при присоединении (адсорбции) других атомов и молекул, испускать электроны со своих концов при низких температурах (холодная электронная эмиссия) и т.д

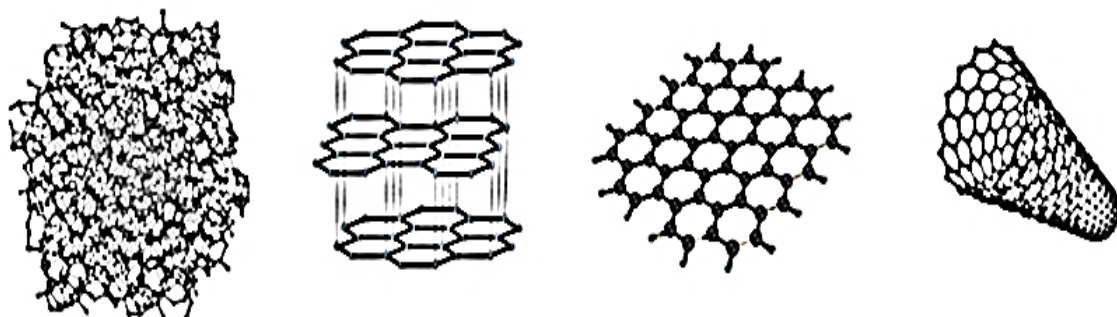


Рисунок 29 - Углеродная сажа графит Монослой графена УНТ

Применение наноматериалов позволяет создавать конструкционные материалы с повышенными механическими свойствами.

Применение наноструктурированного углерода позволяет создавать новый класс композиционных материалов для авиакосмической отрасли, автомобилестроения и т.д.

4.3.2 Водород

Водород — это самый легкий газ (он в 14,4 раза легче воздуха), не имеет цвета, вкуса и запаха. Мало растворим в воде (в 1 л воды при 20°C растворяется 18 мл водорода). При температуре — 252,8°C и атмосферном давлении переходит в жидкое состояние. Жидкий водород бесцветен.

Водород в настоящее время все чаще рассматривается как альтернативный источник энергии[9].3. Особые свойства водорода (наилегчайший, имеющий наибольшую теплоту сгорания и др.) открывают заманчивые перспективы его применения для экологически чистого получения энергии. И только трудности его получения, хранения, эксплуатации сдерживают развитие водородной энергетики. Тем не менее "водородная проблема" привлекает сейчас большое внимание специалистов во всем мире по многим причинам: первая - водорода на Земле много, вторая - он как топливо эффективен и экологически безупречен, третья - водород позволяет аккумулировать большие запасы энергии, четвертая,- перекачка водорода к месту сжигания и получения энергии в 10-15 раз дешевле, чем транспортировка электричества.

Перспективно использование водорода в качестве горючего в транспортных средствах (авто- и авиатранспорт, авиационно-космические объекты) ввиду его высокой теплоты сгорания и значительной хладоемкости. Применение водорода в качестве энергоносителя дает возможность передавать энергию на большие расстояния с более высоким КПД, чем обеспечивают современные системы.

Для торжества "водородной идеи" нужно большое количество водорода. Один из возможных путей получения такого количества водорода - конверсия метана с использованием СВЧ-разряда. В предлагаемой технологии конечный продукт метано-водородная смесь - производится за счёт смешения природного газа с производимым в установке чистым водородом, в одну стадию путём, что существенно упрощает и удешевляет производство.

Для развития данного направления может стать применение МВС для внутренних нужд газовой промышленности в целях повышения эффективности деятельности как при добыче, так и при транспортировке природного газа. МВС может быть использована в качестве топлива для газоперекачивающих агрегатов (ГПА). Интеграция технологий утилизации тепла отходящих газов и позволит создать газотурбинную установку нового типа на метано-водородном топливе с высокими энергетическими и экологическими показателями. В настоящее время применение технологий получения МВС на промыслах может рассматриваться прежде всего в целях нормализации газового сырья и повышения эффективности использования на месторождениях так называемых «жирных газов» (газа стабилизации, попутного газа с малодебитных, труднодоступных и низконапорных месторождений), транспортировка которых оказывается нерентабельной. Применение технологий для получения МВС на промыслах позволит не только обеспечить вовлечение водорода в традиционную энергетику, но и в значительной мере избавит от необходимости предварительного отбензинивания и фракционирования природного газа на весьма сложных и капиталозатратных установках, позволит создать малотоннажные производства метанола.

Готовая продукция: метановодородная смесь с содержанием водорода 48%, сжатая до давления от 2 до 7 МПа.

При работе на природном газе с производством МВС без сторонних энергоносителей в процессе конверсии метана выход МВС с содержанием водорода 48% составляет 1500 м³ на 1000 м³ природного газа.

Применение метано-водородных смесей с высоким содержанием водорода (до 50%) в качестве топливного газа на строящихся, а также на действующих компрессорных станциях (КС) с газоперекачивающими агрегатами (ГПА), подлежащими реконструкции, позволит существенно улучшить как эксплуатационные характеристики и снизить расход топливного газа, значительно снизит эмиссионные показатели.

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА
«ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И
РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»**

Студенту:

Группа	ФИО
1БМ6Б	Аникину Алексею Викторовичу

Инженерная школа	ИШИНК	Подразделение	Отделение контроля и диагностики
Уровень образования	Магистратура	Направление/специальность	Приборостроение

Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:

<i>1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих</i>	Стоимость ресурсов научного исследования, в том числе научно-технического
<i>2. Нормы и нормативы расходования ресурсов</i>	Нормы и нормативы расходования ресурсов
<i>3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования</i>	Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

<i>1. Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения</i>	Определение концепции проекта, факторов микро и макросреды, анализ рынка продукта, экспертная оценка эффективности
<i>2. Планирование и формирование бюджета научных исследований</i>	Планирование этапов работы, определение календарного графика и трудоемкости работы, расчет бюджета.

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

<ol style="list-style-type: none"> <i>1. Оценка конкурентоспособности технических решений</i> <i>2. Матрица SWOT</i> <i>3. Альтернативы проведения НИ</i> <i>4. График проведения и бюджет НИ</i> <i>5. Оценка ресурсной, финансовой и экономической эффективности НИ</i> 	
--	--

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН	Данков Артем Георгиевич	к.и.н.		5.03.2018

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1БМ6Б	Аникин Алексей Викторович		5.03.2018

5. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

Цель данного раздела заключается в анализе с экономическим обоснованием перспектив проведения научного исследования, а так же качественное и количественное доказательства целесообразности его внедрения на производстве.

Научно-исследовательская работа (НИР) направлена на глубокую переработку природного газа с помощью СВЧ плазмотрона.

5.1 Потенциальные потребители результатов исследования

Сфера деятельности, на которую направлена моя работа – это газодобывающая промышленность. СВЧ-плазмотрон, применяется в лабораториях неразрушающего контроля как средство глубокой переработки природного газа. Он имеет преимущества перед другими видами плазмотронами (электродуговыми и высокочастотными).

5.2 Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения

Детальный анализ конкурирующих разработок, существующих на рынке, необходимо проводить систематически, поскольку рынки пребывают в постоянном движении. Такой анализ помогает вносить коррективы в научное исследование, чтобы успешнее противостоять своим соперникам. Важно реалистично оценить сильные и слабые стороны разработок конкурентов.

Таблица 1 – Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений (разработок)

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы			Конкурентоспособность		
		Б _ф	Б _{к1}	Б _{к2}	К _ф	К _{к1}	К _{к2}
1	2	3	4	5	6	7	8
Технические критерии оценки ресурсоэффективности							
1. Повышение производительности труда пользователя	0.1	4	3	4	0.4	0.3	0.4
2. Удобство в эксплуатации (соответствует требованиям потребителей)	0.1	5	4	3	0.5	0.4	0.3
3. Помехоустойчивость	0.1	3	3	2	0.3	0.3	0.2
4. Надежность	0.1	4	2	2	0.4	0.2	0.2
5. Безопасность	0.05	4	2	4	0.2	0.1	0.2
6. Простота эксплуатации	0.1	5	4	4	0.5	0.4	0.4
7. Качество интеллектуального интерфейса	0.05	4	4	4	0.2	0.2	0.2
8. Возможность подключения в сеть ЭВМ	0.15	5	5	5	0.75	0.75	0.75
Экономические критерии оценки эффективности							
1. Конкурентоспособность продукта	0.05	3	4	3	0.15	0.2	0.15
2. Цена	0.1	5	3	3	0.5	0.3	0.3
3. Предполагаемый срок эксплуатации	0.1	5	2	3	0.5	0.2	0.3
Итого	1				4.4	3.35	3.4

Анализ конкурентных технических решений определяется по формуле:

$$K = \sum B_i \cdot B_i, \quad (1)$$

где K – конкурентоспособность научной разработки или конкурента;

B_i – вес показателя (в долях единицы);

B_i – балл i-го показателя.

5.3 Технология QuaD

Технология QuaD (*Quality Advisor*) представляет собой гибкий инструмент измерения характеристик, описывающих качество новой разработки и ее перспективность на рынке и позволяющие принимать решение целесообразности вложения денежных средств в научно-исследовательский проект.

Показатели оценки качества и перспективности новой разработки подбираются исходя из выбранного объекта исследования с учетом его технических и экономических особенностей разработки, создания и коммерциализации. В соответствии с технологией QuaD каждый показатель оценивается экспертным путем по сто балльной шкале, где 1 – наиболее слабая позиция, а 100 – наиболее сильная. Веса показателей, определяемые экспертным путем, в сумме должны составлять 1.

Таблица 1 – Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений (разработок)

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы	Максимальный балл	Относительное значение (3/4)	Средневзвешенное значение (5x2)
1	2	3	4	5	6
Технические критерии оценки ресурсоэффективности					
1. Энергоэффективность	0.0625	100	100	1	0.0625
2. Надежность	0.0625	95	100	0.95	0.059375
3. Унифицированность	0.0625	100	100	1	0.0625
4. Автоматизированность процесса	0.0625	90	100	0.9	0.05625
5. Безопасность от ионизирующего излучения	0.0625	100	100	1	0.0625
6. Простота эксплуатации	0.0625	80	100	0.8	0.05
7. Скорость контроля	0.0625	100	100	1	0.0625
8. Качество контроля	0.0625	95	100	0.95	0.059375
Экономические критерии оценки эффективности					
1. Конкурентоспособность продукта	0.0625	100	100	1	0.0625
2. Уровень проникновения на рынок	0.0625	70	100	0.7	0.04375
3. Перспективность рынка	0.0625	100	100	1	0.0625
4. Цена	0.0625	85	100	0.85	0.053125
5. Послепродажное обслуживание	0.0625	100	100	1	0.0625
6. Финансовая эффективность научной разработки	0.0625	100	100	1	0.0625
7. Срок выхода на рынок	0.0625	90	100	0.9	0.05625
8. Наличие сертификации разработки	0.0625	100	100	1	0.0625
Итого	1				0,9325

Оценка качества и перспективности по технологии QuaD определяется по формуле:

$$P_{cp} = \sum B_i \cdot B_i = 93.25 \quad (2)$$

где P_{cp} – средневзвешенное значение показателя качества и перспективности научной разработки;

B_i – вес показателя (в долях единицы);

B_i – средневзвешенное значение i -го показателя.

Данное значение лежит в интервале от 80 до 100, следовательно, такая разработка является перспективной. Что обусловлено, прежде всего, малым наличием конкуренции.

5.4 SWOT – анализ

SWOT – Strengths (сильные стороны), Weaknesses (слабые стороны), Opportunities (возможности) и Threats (угрозы) – представляет собой комплексный анализ научно-исследовательского проекта. SWOT-анализ применяют для исследования внешней и внутренней среды проекта.

Таблица 2 – Матрица SWOT

	<p>Сильные стороны научно-исследовательского проекта:</p> <p>С1. Рассмотрение основных видов СВЧ плазмотронов.</p> <p>С2. Выявление параметров</p> <p>С3. Предложение по усовершенствованию метода</p> <p>С4. Перспективность рынка</p> <p>С5. Конкурентноспособность.</p>	<p>Слабые стороны научно-исследовательского проекта:</p> <p>Сл1. Низкий уровень проникновения на рынок.</p> <p>Сл2. Цена.</p>
--	--	---

<p>Возможности:</p> <p>В1. Появление дополнительного спроса на СВЧ плазмотрон</p> <p>В2. Повышение требования к качеству контроля</p>	<p>- Демонстрация качество работы и его сильные стороны</p>	<p>- Снижение цены на продукт.</p> <p>- Проведение рекламной кампании.</p>
<p>Угрозы:</p> <p>У1. Введение дополнительных государственных требований к сертификации метода СВЧ</p> <p>У2. Отсутствие спроса</p>	<p>- Улучшение качества контроля СВЧ плазмотронов</p>	<p>- Пересмотр ценовой политики.</p> <p>- Улучшение работы с клиентами.</p>

5.5 Определение возможных альтернатив проведения научных исследований

Морфологический подход – систематический анализ всех теоретически возможных вариантов, получаемых исходя из закономерности строения объекта исследования.

Реализация метода предусматривает следующие этапы.

1. Точная формулировка проблемы исследования.
2. Раскрытие всех важных морфологических характеристик объекта исследования.

3. Раскрытие возможных вариантов по каждой характеристике. В рамках этого этапа составляется морфологическая матрица. Морфологическая матрица анализа приведена в таблице 3.

Таблица 3 - Морфологическая матрица для анализа

	1	2	3
А. Виды плазмотронов	Электродуговой	высокочастотный	сверхвысокочастотные
Б. представление информации	текст	Текст, диаграммы	диаграммы
В. Применяемое оборудование	Дешевое оборудование	Оборудование средних цен	Дорогостоящее оборудование
Г. Пути получения информации	энциклопедии; журналы; статьи	руководитель; интернет; научно-техническая литература	Получение информации непосредственно на производстве;
Д. Требуемое количество персонала	Руководитель	Руководитель, Студент	2 руководителя, студент
Е. Способ оформления результатов	бумажный вариант	электронный вариант	электронный и бумажный варианты

В результате проведения морфологического анализа были выведены следующие приемлемые комбинации СВЧ плазмотронов:

A1B3B1Г3Д1E3 – Данная комбинация потребует больших затрат, так как электродуговой плазмотрон потребует определенных расчетов физических и

химических свойств для переработки и большого количество персонала и командировки на предприятия.

A2B1B3Г1Д3E1 – приемлемая комбинация, однако наличие высокочастотного плазмотрона увеличивает время переработки природного газа, так как он будит сжигать кислород в помещении, что приведет к лишним затратам.

A3B2B2Г2Д2E2- комбинация данных составляет наиболее эффективный процесс переработки газа. Выбор покупки средней стоимости приборов где соответствует цена и качество оборудования позволяет с экономить на затратах.

5.6 Планирование научно-исследовательских работ

5.6.1 Структура работ в рамках научного исследования

При организации работы, в том числе и научно-исследовательской необходимо планировать занятость каждого участника и определить сроки выполнения отдельных работ. Следует отметить, что в организации рабочего процесса участвует два исполнителя: дипломник и руководитель темы.

В таблице 4 определён полный перечень работ, их исполнители и продолжительность.

Таблица 4. – Перечень работ, их исполнители и продолжительность

Основные этапы	№ раб	Содержание работ	Исполнители
Выбор задания, утверждение темы	1	Выбор и утверждение задания и темы работы	Руководитель темы
Выбор направления исследований	2	Подбор и изучение материалов по теме	Студент
	3	Календарное планирование работ по теме	Инженер, Руководитель темы
	4	Обсуждение литературы	Инженер, Руководитель темы
Теоретические и экспериментальные исследования	5	Проведение теоретических расчетов и обоснований	Инженер
	6	Проведение эксперимента и сопоставление результатов с теоретическими исследованиями	Инженер
Обобщение и оценка результатов	7	Оценка качества контроля	Инженер
	8	Оценка эффективности полученных результатов	Инженер
Оформление отчета по НИР (комплекта документации по ВКР)	9	Оформление отчета по ВКР	Инженер, Руководитель темы

5.6.2 Определение трудоёмкости выполнения работ

Трудоёмкость выполнения научного исследования оценивается экспертным путем в человеко-днях и носит вероятностный характер, т.к. зависит от множества трудно учитываемых факторов. Для определения ожидаемого (среднего) значения трудоёмкости $t_{ожі}$ используется следующая формула:

$$t_{ожі} = \frac{3t_{\min i} + 2t_{\max i}}{5},$$

где $t_{ожі}$ – ожидаемая трудоёмкость выполнения i -ой работы чел.-дн.;

$t_{\min i}$ – минимально возможная трудоемкость выполнения заданной i -ой работы (оптимистическая оценка: в предположении наиболее благоприятного стечения обстоятельств), чел.-дн.;

$t_{\max i}$ – максимально возможная трудоемкость выполнения заданной i -ой работы (пессимистическая оценка: в предположении наиболее неблагоприятного стечения обстоятельств), чел.-дн.

Исходя из ожидаемой трудоемкости работ, определяется продолжительность каждой работы в рабочих днях T_p , учитывающая параллельность выполнения работ несколькими исполнителями. Такое вычисление необходимо для обоснованного расчета заработной платы, так как удельный вес зарплаты в общей сметной стоимости научных исследований составляет около 65 %.

$$T_{pi} = \frac{t_{ожi}}{Ч_i},$$

где T_{pi} – продолжительность одной работы, раб. дн.;

$t_{ожi}$ – ожидаемая трудоемкость выполнения одной работы, чел.-дн.

$Ч_i$ – численность исполнителей, выполняющих одновременно одну и ту же работу на данном этапе, чел.

Расчет продолжительности выполнения каждого этапа в рабочих днях выполняется по формуле:

$$T_{PD} = \frac{t_{ож}}{K_{BH}} \cdot K_D,$$

где $t_{ож}$ – трудоемкость работы, чел/дн.;

K_{BH} – коэффициент выполнения работ ($K_{BH} = 1$);

K_d – коэффициент, учитывающий дополнительное время на компенсации и согласование работ ($K_d = 1,2$).

Коэффициент календарности рассчитывается по формуле:

$$T_K = \frac{T_{КАЛ}}{T_{КАЛ} - T_{ВД} - T_{ПД}},$$

где $T_{КАЛ}$ – календарные дни ($T_{КАЛ} = 366$);

$T_{ВД}$ – выходные дни ($T_{ВД} = 52$);

$T_{ПД}$ – праздничные дни ($T_{ПД} = 12$).

$$T_K = \frac{366}{366 - 52 - 12} \approx 1,21$$

Расчет трудозатрат на выполнение проекта приведён в таблице 5.

Таблица 5 – Календарный план-график проведения НИОКР по теме

№ ра бо т	Вид работ	Исполнители	T_{ki} · кал · Дн ·	Продолжительность выполнения работ													
				фев р.		Март			апрель			май			июнь		
				2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	
1	Выбор задания, утверждение темы	Руководитель темы	2	■													
2	Подбор и изучение материалов по теме	Студент	3		■												
3	Календарное планирование работ по теме	Студент Руководитель темы	1			■											
4	Обсуждение литературы	Студент, Руководитель темы	3				■										

Продолжение таблицы 5

№ работ	Вид работ	Исполнители	T _{кi} · кал · Дн ·	Продолжительность выполнения работ													
				фев р.		Март			апрель			май			июнь		
				2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	
5	Проведение теоретических расчетов и обоснований	Студент	3				■										
6	Проведение эксперимента и сопоставление результатов с теоретическими исследованиями	Студент	62				■										
7	Оценка качества контроля	Студент	3												■		
8	Оценка эффективности и полученных результатов	Студент	3												■		
9	Оформление отчета по ВКР	Студент руководитель темы	5													▨	

▨ – Руководитель

■ – Студент

5.6.3 Бюджет научного исследования

При планировании бюджета НТИ должно быть обеспечено полное и достоверное отражение всех видов расходов, связанных с его выполнением. В процессе формирования бюджета НТИ используется следующая группировка затрат по статьям:

- материальные затраты НТИ;

- затраты на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ;
- основная заработная плата исполнителей темы;
- дополнительная заработная плата исполнителей темы;
- отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления);
- затраты научные и производственные командировки;
- контрагентные расходы;
- накладные расходы.

5.7. Расчет материальных затрат

Расчет материальных затрат осуществляется по следующей формуле:

$$Z_m = (1 + k_T) \cdot \sum_{i=1}^m \Pi_i \cdot N_{расхi} ,$$

где m – количество видов материальных ресурсов, потребляемых при выполнении научного исследования;

$N_{расхi}$ – количество материальных ресурсов i -го вида, планируемых к использованию при выполнении научного исследования (шт., кг, м, м² и т.д.);

Π_i – цена приобретения единицы i -го вида потребляемых материальных ресурсов (руб./шт., руб./кг, руб./м, руб./м² и т.д.);

k_T – коэффициент, учитывающий транспортно-заготовительные расходы.

Транспортные расходы примем в размере 15% от стоимости материалов.

Материальные затраты рассчитаны в таблице 6.

Таблица 6 – Материальные затраты

Наименование	Ед. изм	Количество	Цена за ед., руб.	Затраты на материалы, (З _м), руб.
Газ (метан)	Куб/м	10	130	150
Нержавеюшая сталь 2мм (волновод)	шт.	1	17500	20800
Нержавеюшая сталь 10мм (Фланцы)	шт	2	8000	8500
Итого				29450

5.7.1 Расчет затрат на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ

В данную статью включают все затраты, связанные с приобретением специального оборудования (приборов, контрольно-измерительной аппаратуры, стендов, устройств и механизмов), необходимого для проведения работ по конкретной теме. Определение стоимости спецоборудования производится по действующим прейскурантам, а в ряде случаев по договорной цене.

При приобретении спецоборудования необходимо учесть затраты по его доставке в размере 15% от его цены. Стоимость оборудования, используемого при выполнении конкретного НТИ и имеющегося в данной научно-технической организации, учитывается в калькуляции в виде амортизационных отчислений.

Все расчеты по приобретению спецоборудования и оборудования, имеющегося в организации, но используемого для каждого исполнения конкретной темы, сводятся в табл. 7.

Таблица 7 – Расчет бюджета затрат на приобретение спецоборудования для научных работ

Наименование оборудования	Кол-во единиц оборудования	Цена единицы оборудования, руб.	Общая стоимость оборудования, руб.
Магнетрон М-143-1	1	1200000	1380000
Феритовый вентиль ВФВВ2-13	1	200000	230000
Измеритель мощности МЗ-56	1	65000	74750
Датчик давления ДМ5007А	1	3000	3450
Регулятор расхода РРГ10	1	40000	46000
Итого:		1660000	1909000

5.7.2 Основная заработная плата исполнителей темы

Основная заработная плата исполнителей, непосредственно участвующих в проектировании разработки:

$$C_{осн/зн} = \sum t_i \cdot C_{зн_i},$$

где t_i - затраты труда, необходимые для выполнения i -го вида работ, в рабочих днях, $C_{зн_i}$ - среднедневная заработная плата работника, выполняющего i -ый вид работ, (руб./день).

Среднедневная заработная плата определяется по формуле:

$$C_{зн_i} = \frac{D + D \cdot K}{F},$$

где D - месячный оклад работника (в соответствии с квалификационным уровнем профессиональной квалификационной группы), K - районный коэффициент (для Томска – 30%), F – количество рабочих дней в месяце (в среднем 22 дня).

Таблица 8 – Расчет основной заработной платы

Исполнитель	Оклад, руб.	Средняя заработная плата, руб./дн.	Трудоемкость, раб. дн.	Основная заработная плата, руб.
Руководитель	14 584	861,78	11	9479.58
Студент	6 976	412,22	31	12778.82
Инженер-исследователь	12 685	749,57	3	2248.71
ИТОГО				24507.11

5.7.3 Дополнительная заработная плата исполнителей темы

Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы учитывают величину предусмотренных Трудовым кодексом РФ доплат за отклонение от нормальных условий труда, а также выплат, связанных с обеспечением гарантий и компенсаций (при исполнении государственных и общественных обязанностей, при совмещении работы с обучением, при предоставлении ежегодного оплачиваемого отпуска и т.д.).

Расчет дополнительной заработной платы ведется по следующей формуле:

$$Z_{\text{доп}} = k_{\text{доп}} \cdot Z_{\text{осн}} \quad (12)$$

где $k_{\text{доп}}$ – коэффициент дополнительной заработной платы (на стадии проектирования принимается равным 0,12 – 0,15).

Коэффициент дополнительной заработной платы принят равным 0,15

Величины дополнительных заработных плат приведены в таблице

Результаты расчётов дополнительной заработной платы представлены в таблице 9.

Таблица 9 – Дополнительная заработная плат исполнителей темы

Исполнитель	Основная заработная плата, руб.	Дополнительная заработная плата, руб.
Руководитель проекта	20580	3087
Студент-дипломник	-	-
Итого	20580	3087

5.7.4 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)

В данной статье расходов отражаются обязательные отчисления по установленным законодательством Российской Федерации нормам органам государственного социального страхования (ФСС), пенсионного фонда (ПФ) и медицинского страхования (ФФОМС) от затрат на оплату труда работников.

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется исходя из следующей формулы:

$$З_{внеб} = k_{внеб} \cdot (З_{осн} + З_{доп}),$$

где $k_{внеб}$ – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды (пенсионный фонд, фонд обязательного медицинского страхования и пр.).

Таблица 10 – Отчисления во внебюджетные фонды

Исполнитель	Основная заработная плата, руб.	Дополнительная заработная плата, руб.
Руководитель проекта	20580	3087
Студент-дипломник	-	-
Коэффициент отчислений во внебюджетные фонды	0,27	
Итого	6390,09	

5.7.5 Накладные расходы

Накладные расходы учитывают прочие затраты организации, не попавшие в предыдущие статьи расходов: печать и ксерокопирование материалов исследования, оплата услуг связи, электроэнергии, почтовые и телеграфные расходы, размножение материалов и т.д. Их величина определяется по следующей формуле:

$$Z_{\text{накл}} = (\text{сумма статей } 1 \div 4) * k_{\text{нр}} = 314961,13$$

где $k_{\text{нр}}$ – коэффициент, учитывающий накладные расходы.

Величину коэффициента накладных расходов можно взять в размере 16%. Расчет накладных расходов представлен в таблицу

5.7.6 Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта

Рассчитанная величина затрат научно-исследовательской работы (темы) является основой для формирования бюджета затрат проекта, который при формировании договора с заказчиком защищается научной организацией в качестве нижнего предела затрат на разработку научно-технической продукции.

Определение бюджета затрат на научно-исследовательский проект приведён в табл. 12.

Таблица 12 – Расчет бюджета затрат НИИ

Наименование статьи	Сумма, руб.
1. Материальные затраты НИИ	29450
2. Затраты на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ	1909000
3. Затраты по основной заработной плате исполнителей темы	20580
4. Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы	3087
5. Отчисления во внебюджетные фонды	6390,09
6. Накладные расходы	314961,13
7. Бюджет затрат НИИ	2283468,22

5.8 Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования

Для выбора проекта необходимо рассчитать эффективный путь исследования.

$$I = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{max}},$$

где I – интегральный финансовый показатель разработки;

Φ_{pi} – стоимость;

Φ_{max} – максимальная стоимость исполнения научно-исследовательского проекта (в т.ч. аналоги).

Интегральный финансовый показатель разработки:

$$2283468,22/2283468,22 = 1.$$

Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки:

Сравнительная оценка характеристик проекта представлена в таблице 13.

Таблица 13 – Сравнительная оценка характеристик

Критерии / Объект исследования	Весовой коэффициент параметра	
1. Способствует росту производительности труда пользователя	0,1	5
2. Удобство в эксплуатации (соответствует требованиям потребителей)	0,15	4
3. Помехоустойчивость	0,15	5
4. Энергосбережение	0,20	5
5. Надежность	0,25	5
6. Материалоемкость	0,15	5
ИТОГО	1	

$$I_{pi} = \sum a_i \cdot b_i,$$

где I_{pi} – интегральный показатель ресурсоэффективности ;

a_i – весовой коэффициент ;

b_i^a, b_i^p – бальная оценка устанавливается экспертным путем по выбранной шкале оценивания;

n – число параметров сравнения.

$$I = 5*0,1+4*0,15+5*0,15+5*0,2+5*0,25+5*0,15=0,98$$

Интегральный показатель эффективности:

$$I = \frac{I_p}{I_{финр}}$$

$$I = 0,98 / 1 = 0,98.$$

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА
«СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»**

Студенту:

Группа	ФИО
1БМ6Б	Аникину Алексею Викторовичу

Инженерная школа	ИШИНК	Подразделение	Отделение контроля и диагностики
Уровень образования	Магистратура	Направление/специальность	Приборостроение

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения	<i>Объектом исследования являются глубокая переработка углеводородного газа; метод сверхвысокие частоты (СВЧ) разряда.</i>
--	--

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Производственная безопасность 1.1. Анализ выявленных вредных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения 1.2. Анализ выявленных опасных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения	<i>Анализ вредных факторов, которые в свою очередь могут оказать негативное воздействие на человека. К ним относятся: - Повышенный уровень электромагнитных излучений; - Недостаточная освещенность рабочей зоны; - Отклонение показателей микроклимата; - Повышенный уровень шума; А также при работе с установкой возможно на воздействие человека опасных производственных факторов. - Электрический ток;</i>
2. Экологическая безопасность:	<i>Анализ воздействия объекта и работ с его исследованием на литосферу (отходы).</i>
3. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:	<i>Наиболее вероятна ЧС техногенного характера: пожар в результате несоблюдения технологического процесса. - Пожаробезопасность</i>
4. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:	<i>Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.</i>

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	
---	--

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент отделение контроля и диагностики	Анищенко Юлия Владимировна	К.Т.Н.		06.03.2018

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1БМ6Б	Аникин Алексей Викторович		06.03.2018

6. Социальная ответственность

6.1. Анализ выявленных вредных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения.

Источник фактора, наименование видов работ	Факторы (по ГОСТ 12.0.003-2015)		Нормативные документы
	Вредные	Опасные	
При работе в лаборатории лаборант может подвергаться воздействию физических опасных и вредных производственных факторов	1. Повышенный уровень электромагнитных излучений; 2. Недостаточная освещенность рабочей зоны; 3. Отклонение показателей микроклимата; 4. Повышенный уровень шума ;	1. Поражение Электрическим током.	Приводятся нормативные документы, которые регламентируют действие каждого выявленного фактора с указанием ссылки на список литературы. Например, параметры микроклимата устанавливаются СанПиН 2.2.4-548-96 [1].

Рассмотрим каждый фактор по отдельности.

1.Повышенный уровень электромагнитного излучения.

При работе в лаборатории основными источниками СВЧ энергии служат генераторы, линии передач электромагнитных волн (волноводы, резонаторы), антенные системы и отдельные СВЧ блоки.

Степень воздействия электромагнитных полей на человека зависит от интенсивности облучения, длительность воздействия и диапазон радиочастот. Под воздействием электромагнитных полей сверхвысоких частот наблюдаются увеличение щитовидной железы, катаракта глаз, функциональные нарушения нервной и сердечнососудистой систем, общая слабость, головные боли, сонливость, при длительном воздействии — трофические явления (выпадение волос, ломкость ногтей) [12].

В диапазоне СВЧ интенсивность облучения оценивается по плотности потока мощности. Чтобы исключить вредное влияние электромагнитного

излучения на организм человека, необходимо соблюдать допускаемые значения плотности потока мощности. В настоящее время при работе с СВЧ источниками плотность потока мощности за один рабочий день не должна превышать 1000 мкВт/см^2 . Санитарными нормами установлено, что при плотности потока мощности 1000 мкВт/см^2 можно работать не более 15 минут, при 100 мкВт/см^2 – не более 2 часов, при 10 мкВт/см^2 – в течение всего рабочего дня [11].

Защита от электромагнитного излучения в СВЧ диапазоне осуществляется путем проведения организационных мероприятий (выбор рациональных режимов работы оборудования; ограничение места и времени нахождения персонала в зоне воздействия излучения) и с помощью средств индивидуальной защиты (защитные очки, щитки, шлемы, защитная одежда: комбинезоны, халаты и т.д.) [11].

Для защиты рабочего места от повышенной энергетической нагрузки необходимо использовать радиопоглощающие материалы, экраны, рассеиватели [11].

2. Недостаточная освещенность рабочей зоны.

Рациональное освещение рабочего места является одним из важнейших факторов предупреждения травматизма и профессиональных заболеваний. Правильно спроецированное освещение обеспечивает высокий уровень работоспособности, способствует повышению производительности.

Искусственное освещение характеризуется двумя параметрами – освещенностью и коэффициентом пульсации. Недостаточная освещенность и пульсация повышает утомляемость, снижает производительность труда.

В соответствии с СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278–03 [13] освещенность в лаборатории должна быть не менее 400 лк, коэффициент пульсации не более 10%.

Для улучшения освещенности рабочего места необходимо [13]:

- установить более мощные лампы в светильники;

- установить дополнительное количество светильников;
- использовать маломощные и более эффективные люминесцентные лампы.

3. Отклонение показателей микроклимата

Микроклимат помещения - состояние внутренней среды помещения, оказывающее воздействие на человека, характеризуемое показателями температуры воздуха и ограждающих конструкций, влажностью и подвижностью воздуха.

Оптимальные параметры микроклимата - сочетание значений показателей микроклимата, которые при длительном и систематическом воздействии на человека обеспечивают нормальное тепловое состояние организма при минимальном напряжении механизмов терморегуляции и ощущение комфорта не менее чем у 80 % людей, находящихся в помещении.

Допустимые параметры микроклимата - сочетания значений показателей микроклимата, которые при длительном и систематическом воздействии на человека могут вызвать общее и локальное ощущение дискомфорта, ухудшение самочувствия и понижение работоспособности при усиленном напряжении механизмов терморегуляции и не вызывают повреждений или ухудшения состояния здоровья.

Микроклимат в помещении существенно сказывается на качестве работы и производительности труда, а также на здоровье работающих. Например, при повышенной температуре работник испытывает головную боль, слабость, шум в ушах, искажение цветного восприятия; пониженная температура может привести к простудным заболеваниям, нервным расстройствам, обморожению. Подвижность воздуха также влияет на организм человека. Большая скорость движения воздуха вызывает увеличение теплопотерь, в то же время отсутствие движения воздуха на рабочем месте ухудшает теплоотдачу, что приводит к дискомфорту.

Показателями, характеризующими микроклимат в производственных помещениях, являются [11]:

- температура воздуха;
- температура поверхностей;
- относительная влажность воздуха;
- скорость движения воздуха;
- интенсивность теплового облучения.

Работы, выполняемые в лаборатории относятся к категории легких (категория Ia). Согласно ГОСТ 12.1.005-88 требуемые параметры микроклимата приведены в приложении, таблица 15 [12].

4. Повышенный уровень шума.

Источниками шума при проведении эксперимента является плазмотрон. Следует использовать индивидуальные средства защиты органов слуха (наушники, заглушки, вкладыши). Уровень шума на рабочем месте регулируется СанПиН 2.2.4/2.1.8.562-96.

ТаблицаХ

Предельно допустимые уровни звука и эквивалентные уровни звука на рабочих местах для трудовой деятельности разных категорий тяжести и напряженности в дБА

Категория напряженности трудового процесса	Категория тяжести трудового процесса				
	легкая физическая нагрузка	средняя физическая нагрузка	тяжелый труд 1 степени	тяжелый труд 2 степени	тяжелый труд 3 степени
Напряженность легкой степени	80	80	75	75	75
Напряженность средней степени	70	70	65	65	65
Напряженный труд 1 степени	60	60	-	-	-
Напряженный труд 2 степени	50	50	-	-	-

6.2. Анализ выявленных опасных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения.

Поражение электрическим током

Поражение электрическим током возникает при соприкосновении с электрической цепью, в которой присутствуют источники напряжения и/или источники тока, способные вызвать протекание тока по попавшей под напряжение части тела. Обычно чувствительным для человека является пропускание тока силой более 1 мА.

Все помещения делятся на три класса [17]:

- Без повышенной опасности
- С повышенной опасностью
- Особо опасные

Лабораторию, в которой проводились работы, можно отнести к классу помещения без повышенной опасности, т.к. оно характеризуется нормальной температурой воздуха и влажностью, отсутствием токопроводящей пыли [18].

Основные причины несчастных случаев от воздействия электрического тока следующие.

Случайное прикосновение или приближение на опасное расстояние к токоведущим частям, находящимся под напряжением.

Появление напряжения на металлических конструктивных частях электрооборудования — корпусах, кожухах в результате повреждения изоляции и других причин.

Появление напряжения на отключенных токоведущих частях, на которых работают люди, вследствие ошибочного включения установки.

Возникновение шагового напряжения на поверхности земли в результате замыкания провода на землю.

Чтобы исключить опасность поражения электрическим током, необходимо соблюдать следующие правила электробезопасности [15]:

- перед включением приборов в сеть должна быть визуально

проверена его электропроводка на отсутствие возможных видимых нарушений изоляции, а также на отсутствие замыкания токопроводящих частей на корпус;

- при появлении признаков замыкания необходимо немедленно отключить от электрической сети приборы общим выключателем и устранить неисправность;

- запрещается при включении техники одновременно прикасаться к приборам, имеющим естественное заземление (например, радиаторы отопления, водопроводные краны и др.).

Для защиты от поражения электрическим током в электроустановках существуют следующие способы:

- защитное заземление;
- предохранительные устройства;
- защита высотой.

Организационные меры

Организационно-технические причины - несоблюдение технических мероприятий безопасности на стадии эксплуатации (обслуживания) электроустановок; несвоевременная замена неисправного или устаревшего оборудования и использование установок, не принятых в эксплуатацию в предусмотренном порядке (в том числе самодельных).

Организационные причины - невыполнение или неправильное выполнение организационных мероприятий безопасности, несоответствие выполняемой работы заданию.

Организационно-социальные причины:

- работа в сверхурочное время (в том числе работа по ликвидации последствий аварий);
- несоответствие работы специальности;
- нарушение трудовой дисциплины;
- допуск к работе на электроустановках лиц моложе 18 лет;

- привлечение к работе лиц, неоформленных приказом о приеме на работу в организацию;
- допуск к работе лиц, имеющих медицинские противопоказания.

При рассмотрении причин необходимо учитывать так называемые человеческие факторы. К ним относятся как психофизиологические, личностные факторы.

6.3 Экологическая безопасность.

При проведении работы использовались образцы попутного нефтяного газа и природного газа и водонефтяной эмульсии, которые при неправильной переработке могут нанести вред окружающей среде.

Переработка попутного нефтяного газа и природного газа является сложным процессом, который включает в себя разделение нефтесодержащих продуктов на легкую и тяжелую фракции, которые затем обезвреживаются и идут в дальнейшее производство. При переработке попутного нефтяного газа и природного газа CH_4 на выходе получаем водород и углерод который собирается в специальное предназначенную камеру для хранения и дальнейшего использования. В результате переработке попутного нефтяного газа и природного газа ни какого воздействия на отряжающую среду не оказывается .

6.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях

Пожар является наиболее вероятной чрезвычайной ситуацией, которая может возникнуть в лаборатории.

Основными причинами, способствующими возникновению и развитию пожара, являются:

- нарушение правил применения и эксплуатации приборов и оборудования с низкой противопожарной защитой;

- использование при строительстве в ряде случаев материалов, не отвечающих требованиям пожарной безопасности;
- отсутствие на многих объектах подразделениях пожарной охраны эффективных средств борьбы с огнем, плана эвакуации.

При обнаружении признаков пожара (задымление, запах гари, повышение температуры) работник должен [11]:

1. Незамедлительно сообщить в пожарную охрану по телефону 010 или 112 (с мобильного телефона) и 01 (по городской линии сети). Во время звонка необходимо назвать наименование объекта, место пожара, а также свою фамилию [18].

2. Оповестить о пожаре или его признаках людей, находящихся поблизости, и принять необходимые меры для эвакуации всех людей из здания (из опасной зоны). При появлении опасных факторов пожара (дым, потеря видимости, высокая температура, токсичные пары горения) немедленно эвакуироваться в безопасную зону.

6.5 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности.

Во время работы рабочее место лаборанта должно быть защищено от повышенной энергетической нагрузки. Для защиты используют радиопоглощающие материалы, экраны, рассеиватели. Выбор материала осуществляется в зависимости от интенсивности и частоты излучения [11].

Во время проведения измерений персонал не должен находиться в зоне измерения. При невозможности выполнения данного требования в протоколе измерений делается специальная отметка [12].

Измерения проводят на высоте 0,5; 1,0 и 1,7 м (рабочая поза «стоя») и 0,5; 0,8 и 1,4 м (рабочая поза «сидя») от опорной поверхности с определением максимального значения напряженности или плотности потока энергии для каждого рабочего места [12].

Лаборант, проводящее измерения, не должен находиться между источником излучения и измерительной антенной [12].

Помещение, в котором проходят работы, должно быть окрашено в спокойные для визуального восприятия тона, потому что цветовое оформление влияет на нервную систему человека, а значит на производительность труда.

Меры защиты работающих от свч облучения

В зависимости от типа источника излучений, его мощности, характера технологического процесса может быть применен один из указанных методов защиты или любая их комбинация.

Защита персонала, обслуживающего установки ВЧ, УВЧ и СВЧ, достигается:

- уменьшением излучения непосредственно от самого источника излучения;
- экранированием источника излучения;
- экранированием рабочего места у источника излучений или удалением рабочего места от него (дистанционное управление);
- применением в отдельных случаях средств индивидуальной защиты.

Выбор способа защиты или комбинации их определяется типом источника излучения, рабочим диапазоном волн, характером выполняемых работ. Значения эффективности экранирования полей высоких частот металлическими листами или сетками

Вид экрана	Материал экрана	Частота, кГц				
		10	100	1000	10 000	1 000 000
Металлические листы толщиной 0,5 мм	Сталь	2,5 x 10	5 x 10	10	10	10
	Медь	5 x 10	10	6 x 10	10	10
	Алюминий	3 x 10	4 x 10	10	10	10

Металлические сетки	Медь, проволока 0,1 мм ячейки 1 x 1 мм	3,5 x 10	3,5 x 10	10	1,5 x 10	1,5 x 10
	Медь, проволока 1 мм ячейки 10 x 10 мм	10	10	1,5 x 10	1,5 x 10	1,5 x 10
	Сталь, проволока 0,1 мм ячейки 1 x 1 мм	6 x 10	5 x 10	1,5 x 10	4 x 10	9 x 10
	Сталь, проволока 1 мм ячейки 10 x 10 мм	2 x 10	5 x 10	2 x 10	1,5 x 10	1,5 x 10

Средства защиты должны обеспечивать технико-экономические требования: не вызывать существенных искажений свч поля антенны системой защиты, сохранять удобства работы и не снижать производительности труда.[15]

Заключение

1. Природный газ является одним из ключевых энергоносителей в мировой глобальной энергетике XXI века, роль которого с каждым годом увеличивается, благодаря его эксплуатационным особенностям.

2. В дальнейшей перспективе на смену природному газу должно прийти водородное топливо. Водород – самое эффективное и экологически чистое топливо.

3. В России разработана технология адиабатической конверсии метана , производящая метано-водородное топливо (МВС) с содержанием водорода до 48%.

Данная технология существенно упрощает промышленный процесс получения водорода, в отсутствие кислорода при атмосферном давлении

4. Проведенные эксперименты показали, что повышение содержания водорода в МВС:

- расширяет пределы его горения;
- делает горение смеси устойчивым и при нормальном давлении;
- смесь сгорает при значительном содержании водяных паров (20-30%);
- позволяет при относительно небольшом снижении индекса Воббе существенно уменьшить эмиссию CO₂ за счет вывода углекислоты в процессе .

5. Интеграция технологий утилизации теплоты уходящих газов и низкотемпературной адиабатической конверсии метана позволит создать газотурбинную установку нового типа с высокими энергетическими и экологическими показателями (технология «Тандем»).

Увеличение мощности газотурбинной установки по сравнению с базовой ГТУ может составить до 70-80%, снижение расхода топлива – до 35-40% при одновременном резком снижении эмиссии NOx (в 4-8 раз).
мобильные в труднодоступных районах сибери и севера малотонажные варианты

Список публикаций

1 Аникин А.В. , Шиян В. П. «СВЧ плазмотрон как средство глубокой переработки углеводородных газов» V Всероссийская научно техническая конференция молодых ученых, аспирантов и студентов «Неразрушающий контроль: электронное приборостроение, технологии, безопасность», Томск, 23-28 Мая 2016. – Томск: ТПУ, 2016

Список используемых источников

1. Eden Energy Ltd [Электронный ресурс]/ Сайт компании. URL: <http://www.edenenergy.com.au/pyrolysis.html> (Дата обращения: 10.12.2017)
2. ООО «Нанотехнологии» [Электронный ресурс]/ Сайт компании. URL: <http://www.rvf.ru/upload/files/2005/exposition/nanomaterials-2005.pdf>(Дата обращения: 10.12.2017).
3. Медведев Ю.В., Жерлицын А.Г., Шиян В.П. и др. Способ получения углерода и водорода из углеводородного газа и устройство для его осуществления // Патент РФ №2317943. – Оpubл. 27.02.2008 г., Бюл. №6
4. А.И.Бабарицкий и др. Импульсно-периодический СВЧ-разряд, как катализатор химической реакции. ЖТФ. 2000. т.70. вып.11. С.36-41.
5. Жерлицын А.Г., Шиян В.П., Медведев Ю.В. и др. Устройство для получения углерода и водорода из углеводородного газа. // Патент РФ №2390493. – Оpubл. 27.05.20010 г., Бюл. №12.
6. Крейндель Э.М. Конверсия метана природного газа. Л.: -1964.
7. С. 105.
8. А. Г. Аншиц, Е. Н. Воскресенская. Окислительная конденсация метана – новый процесс переработки природного газа.
9. Сверхвысокочастотный плазмотрон/ под редакцией Жерлицын А. Г. Буюнтуев В. В., Шиян В. П. – Томск: Приборы и техника, эксперимент, 2014г. – 100с.
10. Эсибян Э.М. Плазменно-дуговая аппаратура. Киев: Техника, 1971. 164с.
11. Плазменные процессы в металлургии и технологии неорганических материалов / Под ред. Б.Е. Патона. М.: «Наука», 1973. 243 с.
12. Генераторы плазменных струй и сильноточные дуги / Под ред. Ф.Г Рутберга. Л.: «Наука», 1973. 152 с.

13. Глебов И.А., Рутберг Ф.Г. Мощные генераторы плазмы. М.: Энергоатомиздат, 1985. 153 с.,
14. Дуговой плазмотрон [Электронный ресурс]/ Сайт компании. http://www.eti.su/articles/electrotehnika/electrotehnika_888.html (Дата обращения: 01.01.2018)
15. Дресвин С.В., Донской А.В., Ратников Д.Г. Высокочастотный индукционный разряд в камере с металлическими водоохлаждаемыми стенками - М.: Наука, 1965 г. - 152 с.
16. Райзер Ю.П. Физика газового разряда: учеб. руководство - М.: Наука, 1987 г. - 592 с
17. Григорович Р., Кристеску Д. - К теории ВЧФ-разряда - М.: Наука, 1985 г. - 108 с
18. Низкотемпературная плазма. ВЧИ- и СВЧ-плазмтроны /под ред. Дресвина С.В., Русанова В.Д. - Новосибирск: Наука, 1992 г. - 320 с.
19. Техника и приборы СВЧ И. В. Лебедева / под ред. Девяткова Н. Д, с 438
20. Матвеев В. И. Радиоволновый контроль, учебное пособие / Под общей редакцией Ключева В. В. – М.: Издательский дом «Спектр», 2011. – 184с.
21. Potapkin B., Rusanov V., and Jivotov V. K. Microwave Discharge for the Environment Protection (Electrical Discharge for Environmental Purposes/ Fundamentals and Applications), ed, E/M/ Van Veldhuizen, Nova science Publishers Inc., Hyntington, 2000, p. 345.
22. Chavavadej S., Rueangjitt N., Sreethawong T., Reforming of CO-containing natural gas with partial oxidation using an AC gliding arc system // Proc. 18th Inter. Symp. On Plasma Chemistry. Kyoto: Japan Society of Applied Physics. 2007. – 58с.
23. Сазонов Д.М. Антенны и устройства СВЧ: учеб. Для радиотехнич. Спец. Вузов. – М.: Высш. Шк. 1988.-432с.: ил.
24. Буянтуев В.В., Шиян В.П. СВЧ плазмотрон для конверсии природного газа// Вестник науки Сибири. – 2013 - №3(9). – С.23-27.

25. Experimental Study on a Microwave Plasmatron with a Hydrocarbon – Containing Plasma – Forming Medium/ Zherlitsyn A. G. Shiyan V. P. Kosytsyn V. S. - Изв. Вузов. Физика 2012 -№11, с 235
26. Плазмотрон для конверсии углеводородного газа с радиальной системой инициирования разряда/ под ред. Жирлицын А. Г., Косицын В. С., Канаев Г. Г., Шин В. П. – Изв. Вузов. Физика 2012 - №11/2, с 321
27. Матвеев В. И. Радиоволновый контроль, учебное пособие / Под общей редакцией Ключева В. В. – М.: Издательский дом «Спектр», 2011. – 184с.
28. СП 12.130.2009 Определение категорий помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности.
29. Правила пожарной безопасности в Российской Федерации. – М.: Министерство РФ по делам ГО, ЧС и ликвидации последствий стихийных бедствий, 2003.
30. Chavavadej S., Rueangjitt N., Sreethawong T., Reforming of CO-containing natural gas with partial oxidation using an AC gliding arc system // Proc. 18th Inter. Symp. On Plasma Chemistry. Kyoto: Japan Society of Applied Physics. 2007
31. Potapkin B., Rusanov V., and Jivotov V. K. Microwave Discharge for the Environment Protection (Electrical Discharge for Environmental Purposes/ Fundamentals and Applications), ed, E/M/ Van Veldhuizen, Nova science Publishers Inc., Huntington, 2000, p. 345.

Раздел (номер раздела)
(наименование раздела)

Студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1БМ6Б	Аникин Алексей Викторович		

Консультант кафедры _____ (аббревиатура кафедры) _____ :

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Игна О.Н.	К. П. Н.		

Консультант – лингвист кафедры _____ (аббревиатура кафедры) _____ :

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата

Introduction

One of the most important problems of rational nature management is the deep processing of hydrocarbon gases (natural and associated petroleum gases). A promising way of processing natural gas is to convert it into valuable products such as hydrogen and carbon based on the use of plasma chemical processes.

In connection with the decree of the Government of the Russian Federation that came into effect, from 01.01.2012 establishing a requirement for the utilization of 95% of the associated associated gas, which limits the amount of its incineration in the flares in the fields and increases payments for over-limit gas combustion.

Since the mid-20th century, the processing of natural gas has been a key factor in the development of all branches of industrial production. Being a fuel of high caloric content, various ways of processing natural gas provide with raw materials and energy all the spectra of human life.

Natural gas is the cleanest fossil fuel, much cleaner than coal, and can be used in a number of energy generation technologies, such as steam turbines, reciprocating engines and mixed cycle plants. A number of characteristics make the gas an ideal addition for renewable energy sources. Recently, gas prices are changing very unpredictably and in a fairly large range, but recent improvements in drilling technologies have opened up access to previously inaccessible deposits, making many believe in the beginning of an era of reliable and inexpensive natural gas. This method was determined by the fact that the plasma has a high degree of purity, the simplicity of obtaining a plasma with small specific energy inputs, etc.

The advantages of the proposed technology opens up new opportunities for the processing of various hydrocarbon raw materials into valuable products with a high economic effect.

The purpose of this graduated qualified work is to investigate the potential capabilities of microwave plasma torches for the conversion of natural gas.

The object of investigation of the final work is deep processing of hydrocarbon gas using plasma.

The research subject is the waveguide microwave plasma torch.

1 Natural gas conversion

Gas conversion means converting gases in order to get new products. Different reagents are used as oxidizing agents (oxygen, water steam, carbon dioxide). It is possible to use metal oxides as well. The most cost-effective raw material for conversion is natural gas. The reaction products are hydrogen and carbon as well as other possible products. The paper focuses on the major methods of natural gas conversion.

1.1 Natural gas conversion in low-temperature plasma

This is very effective to use electrical discharges for forcing chemical processes [1]. In case of equilibrium discharge its energy is used to heat plasma and stimulate chemical reaction with high temperature of reagents. In case of non-equilibrium discharge its energy is used more selectively. In any case the significant part of electromagnetic field energy is converted into lower-grade heat. Electrical discharge, which affects preheated reagents, is used to stem losses.

There has been a lot of research done on natural gas conversion in different types of discharges and under influence of continuous and impulse electron beam. This gives an opportunity to define the characteristics of the reaction for natural gas conversion in low-temperature plasma.

1.1.1 Partial oxidation of natural gas

It is effective to use low-temperature plasma for partial oxidation of natural gas. Expenditure of plasma energy is equal to 0.25eV/mol (conversion level is 70%) and increases to 0.5eV/mol (in case a conversion level increases up to 100%).

Potentially productive data for industrial application is obtained during the research of partial oxidation of natural gas in arc discharge of different types. Expenditure of plasma energy in plasma chemical reactor with double-electrode arc discharge is equal to 1.8eV/mol (18% of volume of conversion products).

The highest gaseous discharge (with low expenditure of plasma energy) is obtained in arc discharges of different types which provide high productivity of natural gas conversion per unit volume and do not require high voltage supplier. Using integrated reactors (plasma + catalyst agent) allows us to manage the product contents of conversion, particularly the selectivity of CH₃OH from 3 to 35 %.

1.1.2 Carbon-dioxide conversion of natural gas

Carbon-dioxide conversion of natural gas is considered as an alternative way of utilization CO₂ to reduce greenhouse effect and synthesis of useful products. In case of balance conditions the reaction of carbon-dioxide conversion of natural gas is carried out using catalyst agent (Ni) with temperature 850C and pressure 2-3MPa.

Performed research of natural gas conversion with carbon dioxide shows that expenditure of energy for gas conversion is higher than cohesive energy C – H and dissociation energy of gas molecules. This shows low effectiveness of natural gas conversion in [nonequilibrium processes](#).

Potentially productive data for industrial application is obtained only during the conversion in creeping discharge. In other types of conversion separate conversion of CO₂ into CO and CH₄ into hydrocarbons (C₂H₆, C₂H₄, C₂H₂, etc.) takes place. The material of electrodes and catalyst agents influence the product contents of conversion CH₄ + CO₂.

1.1.3 Steam conversion of natural gas

Steam conversion provides the maximum hydrogen output. Due to this fact the method is actively explored for hydrogen energetic. In case of balanced conditions steam conversion of natural gas is carried out under temperature 1300-1900K and under pressure higher than 0.5MPa.

There is low expenditure of plasma energy during steam conversion in low-temperature plasma. This method of plasma chemical conversion of natural gas is one of the most valuable for industrial application.

1.1.4 Plasma-based pyrolysis of natural gas

The methane pyrolysis (conversion without oxygen-containing combinations) is the most appealing method of natural gas conversion. It is possible to synthesize high-molecular compounds using this method. Plasma chemical synthesis of acetylene during the pyrolysis of natural gas in arc discharge plasma is the most extensively studied method. The level of conversion is equal to 95-98 % with expenditure of energy 2.5 eV/mol. In case of balanced conditions the energy required for reaction $2\text{CH}_4 + \text{Q} \rightarrow \text{C}_2\text{H}_2 + 3\text{H}_2\uparrow$ is equal to 1.8 eV (does not depend on source of energy).

Pyrolysis of CH_4 in impulse space discharge, impulse streamer discharge and barrier discharge with normal pressure and temperature requires extremely high expenditure of energy. The expenditure of energy during natural gas conversion is equal to (eV/mol): in space discharge 14 -25, in streamer discharge 17-21, in barrier discharge (DC) 38-57, in barrier discharge (AC) 116-175. The impulse space discharge provides high acetylene output (54%) and high hydrogen output (51%) in case of conversion level 69%. The expectable product of natural gas conversion in barrier discharge is ethane.

The analyzed papers on pyrolysis of methane in plasma prove that the minimum expenditure of energy and the maximum level of conversion are achieved in the direct current arc (3eV/mol, 95%). Usage of different types of impulse discharge for pyrolysis of CH_4 doesn't decrease the expenditure of energy and doesn't increase the level of conversion. The best results are found out for conversion in impulse space discharge (3.8 eV/mol, 28.5%), but these results are worse than the results of methane pyrolysis in arc discharge plasma. The basic products of conversion are carbon hydrates C_2 with high volume of acetylene.

Non-equilibrium plasma effect is found out only under influence of SHF-discharge and creeping discharge to natural gas which is preheated to temperature of

thermal decomposition. In this case the expenditure of energy for decomposition ($\leq 1\text{eV/mol}$) is lower than expenditure of energy in balanced conditions.

All types of discharge on energy expenditure for methane conversion, conversion levels and selectivity of products can be divided into two groups: nonuniform discharge (arc and creeping discharge) and volumetric discharge (barrier and corona discharge).

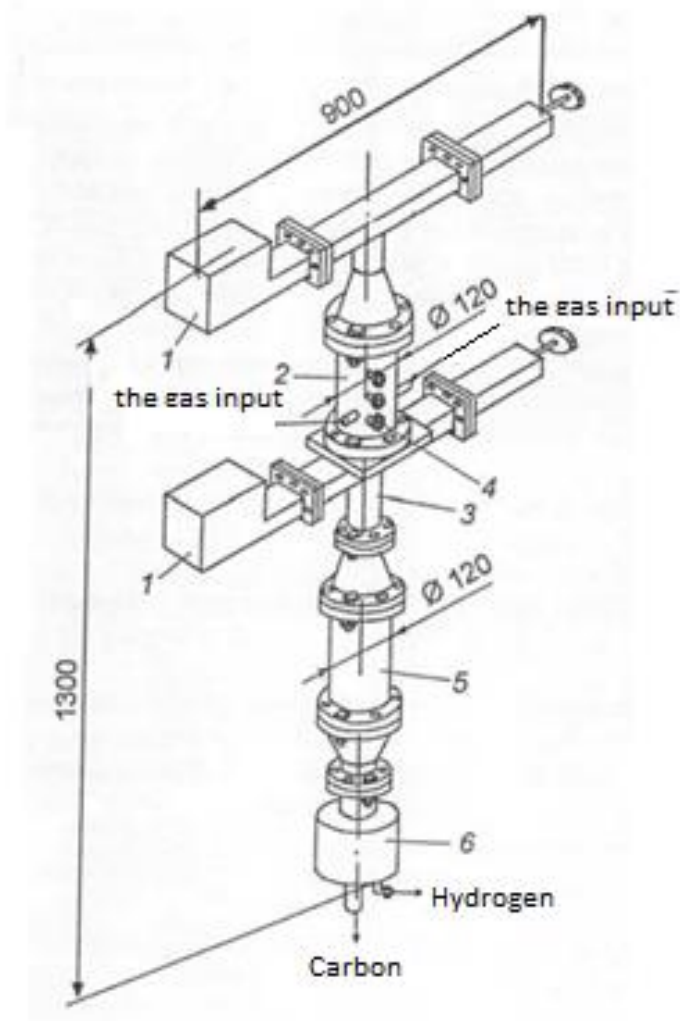
The effectiveness of natural gas conversion is higher in case of non-equilibrium discharges. Expenditure of energy for natural gas conversion is lower than 10eV/mol , level of conversion in arc discharges is higher than 90 %, the selectivity of synthesis of some products is more than 90% (in case of plasma pyrolysis – acetylene, in case of steam conversion – hydrogen and CO).

A high level of conversion (more than 50%) in volumetric discharges can be achieved only with high energy expenditure for methane decomposition (more than $40\text{-}50\text{eV/mol}$). It is possible to decrease the energy of discharge with the chain process of conversion. In this case energy expenditure is not higher than 1eV/mol .

2 SHF-plasma chemical reactor for natural gas conversion

During the research of combine impact of preheated metallic catalyst agent and plasma of SHF-discharge next important points were found out: the conversion level of natural gas in concerned case is higher in compare with traditional chemical catalysis (up to 80 %), increasing the output of hydrogen and carbon nanomaterial (single-layer type, multi-layer type, bulbous nanotubes) which are not included occluded particle of metals in contrast to other ways of carbon nanomaterial production. The high concentration of hydrogen in output gases makes this way of natural gas conversion very effective.

2.1 The description of installation for natural gas conversion



Picture D.1 - The scheme of installation for natural gas conversion.

Where 1 – the source of SHF radiation, 2 – chamber with catalyst agent, 3 – discharge chamber, 4 – window, 5 – agglomerator, 6 – filters

The basic part of installation is flow through reactor with two chambers [8]. The chamber 2 is a cylinder which is made of stainless steel. There is quartz tube inside the chamber 2 with diameter 54 mm and length 360 mm which is full of metallic catalyst agent. The second chamber 3 (discharge) is a piece of coaxial line with shortened conductive track goes over circular wave guide. Heating of catalyst agent is performed in the first chamber and initiation and supporting of SHF discharge are carried out in the second chamber. In concerned installation the heat of

catalyst agent is carried out using SHF energy, which is getting from magnetron generator with output power 1,5 kW and frequency 2450 MHz.

Three quartz windows 4 are located on the chamber with catalyst agent in order to monitor the temperature of catalyst agent. The temperature monitoring is carried out using pyrometer "Kelvin". Pyrometers do not require any contact of a measuring device sensor with the body whose temperature is measured. Therefore, a pyrometer can be used to measure very high temperatures. The pyrometer " Kelvin LCM 1300" has good metrological characteristics.

Natural gas is provided to the bottom part of the reactor, the SHF energy for impacting to catalyst agent is provided to the top part using [waveguide-to-coaxial adapter](#). SHF energy is provided to the discharge chamber using similar [waveguide-to-coaxial adapter](#) from the second SHF generator with output power 2 kW (magnetron), which is connected to discharge chamber trough circulator. The agglomerator 5 and filters 6 are used for collecting output products.

Exothermic reaction 75 kJ/mol of methane conversion into carbon and hydrogen $CH_4 \rightarrow C + 2H_2$ is carried out in the following way.

At the first stage the metallic catalyst (Fe, Ni, TiNi) is heated in the installation by means of ultra-high frequency (UHF) energy within the nitrogen current up to temperature $\sim 560^\circ\text{C}$ thanks to dissipative losses. This value is in temperature range, which is typical for traditional thermal catalysis. Then cold natural gas ($\sim 30^\circ\text{C}$) is provided to the reactor with output flow 0,16 – 1,0 m³/hour, nitrogen supply is cut out and microwave discharge appears in the discharge chamber. Thus, the temperature of the catalyst is decreased to 450 - 480 ° C depending on the methane flow. Fixing the temperature changes we can make a conclusion about the beginning of the decomposition reaction. Output products of reaction are transported through filters to carbon and hydrogen collectors.

The natural gas conversion in SHF plasma chemical reactor allows to obtain a high degree of natural gas conversion equals 76 %, which much more higher then conversion level in the such-like installation.

2.2 The products of methane conversion and area of application

The description of SHF plasma chemical reactor is written above. Carbon material (the one of conversion products) contains follow components: single-layer type, multi-layer type, bulbous carbon nanotubes with specific surface area from 30 to 100 m²/g; amorphous carbon with specific surface area 200 – 400 m²/g. The particles size of amorphous carbon equal 10 – 50 nm. Transverse size of nanotubes is in dependence from process conditions and changes in range from 5 to 27 nm.

2.2.1 Hydrogen

Hydrogen is a [chemical element](#) with [chemical symbol](#) H and [atomic number](#) 1. With an [atomic weight](#) of 1.00794 u, hydrogen is the lightest element on the [periodic table](#). A colourless, odourless gas.

Hydrogen (H₂) is a potentially emissions-free alternative fuel that can be produced from domestic resources. Although not widely used today as a transportation fuel, government and industry researchers are working toward the goal of clean, economical, and safe hydrogen production and fuel-cell electric vehicles.

The interest in hydrogen as an alternative transportation fuel stems from its ability to power fuel cells in zero-emission electric vehicles, its potential for domestic production, and the [fuel cell vehicle's](#) potential for high efficiency—it's two to three times more efficient than an internal combustion engine.

Nowadays, hydrogen as fuel is primarily used at spaceships and space shuttles. It is the hydrogen, which lifts them into the space and supplies electricity to all the systems during the flight. Thanks to rapid development of technologies, hydrogen fuel cells have already migrated from space shuttles into ordinary road vehicles, cars and buses, making them much cleaner and environmentally friendly.

There are several methods developed these days to separate hydrogen gas from water, biomass, or natural gas. Producing hydrogen from natural gas is currently the major way of producing hydrogen.

2.2.2 Carbon nanomaterial

Carbon is one of the [few elements known since antiquity](#). There are several [allotropes of carbon](#) of which the best known are [graphite](#), [diamond](#), and [amorphous carbon](#). Few time ago new modification of carbon with unic properties were found out – fullerenes and carbon nanotubes [10].

Fullerenes are similar in structure to graphite, which is composed of a sheet of linked hexagonal rings, but they contain pentagonal (or sometimes heptagonal) rings that prevent the sheet from being planar. Cylindrical fullerenes are often called nanotubes. The smallest fullerene in which no two pentagons share an edge (which is destabilizing — see pentalene) is C₆₀, and as such it is also the most common.

The molecule was named for Richard Buckminster Fuller, a noted architect who created the geodesic dome. Since buckminsterfullerenes have a similar shape to that sort of dome, the name was thought appropriate.

Carbon nanotubes are a recently discovered unique material possessing amazing electronic, thermal, and structural properties. They are highly conductive both to electricity and heat, with an electrical conductivity as high as copper, and a thermal conductivity as great as diamond. They offer amazing possibilities for creating future nanoelectronic devices, circuits and computers. Carbon nanotubes also have extraordinary mechanical properties - they are 100 times stronger than steel, while only one sixth of the weight.

These mechanical properties offer huge possibilities, for example, in the production of new stronger and lighter materials for military, aerospace and medical applications. Other applications include lubricants, coatings, catalysts and electro-optical devices.

As of the early twenty-first century, the chemical and physical properties of fullerenes and nanotubes are still under heavy study, in both pure and applied research labs.

2.3 Heat transfer mechanisms in natural gas conversion process

There are three heat transfer mechanisms which are used for heat energy transfer from more heated to less heated objects or their parts.

2.3.1 Heat conduction

Heat conduction is the transfer of thermal energy in a material from warm areas to cooler ones. Heat transfer by conduction involves transfer of energy within a material without any motion of the material as a whole. Conduction takes place when a temperature gradient exists in a solid (or stationary fluid) medium. Conductive heat flow occurs in the direction of decreasing temperature because higher temperature equates to higher molecular energy or more molecular movement. Energy is transferred from the more energetic to the less energetic molecules when neighboring molecules collide. Thermal conductivity is the intrinsic property of a material which relates its ability to conduct heat.

Thermal conductivity is defined as the quantity of heat (Q) transmitted through a unit thickness (L) in a direction normal to a surface of unit area (A) due to a unit temperature gradient (ΔT) under steady state conditions and when the heat transfer is dependent only on the temperature gradient.

The law of Heat Conduction, also known as Fourier's law, states that the time rate of heat transfer through a material is proportional to the negative gradient in the temperature and to the area at right angles, to that gradient, through which the heat is flowing.

$$\vec{q} = -\kappa \text{grad}(T), \quad (1)$$

Where \vec{q} - heat transfer rate,

κ - thermal conductivity,

T - temperature.

In integral form this equation will be written in the following way (steady heat flow from one plane of parallelepiped to another):

$$P = -\kappa \frac{S\Delta T}{l}, \quad (2)$$

Where P - full power of heat losses,

S - sectional area of parallelepiped,

ΔT - temperature difference between planes,

l - length of parallelepiped.

The thermal conductivity k depends on the material (W/m K).

2.3.2 Convection

Convection heat transfer is energy transport due to bulk fluid motion. Convection heat transfer through gases and liquids from a solid boundary results from the fluid motion along the surface.

Convection is one of the major modes of heat transfer and mass transfer. Convective heat and mass transfer take place through both diffusion – the random Brownian motion of individual particles in the fluid – and by advection, in which matter or heat is transported by the larger-scale motion of currents in the fluid. In the context of heat and mass transfer, the term "convection" is used to refer to the sum of advective and diffusive transfer. In general, convection is of two types, forced convection and free convection.

Forced convection occurs when a fluid is forced to flow. For example, a fan blowing air over a heat exchanger is an example of Forced Convection. In free convection, the bulk fluid motion is due to buoyancy effects. For example, a vertical heated plate surrounded by quiescent air causes the air surrounding it to be heated. Because hot air has a lower density than cold air, the hot air rises. The void is filled by cold air and the cycle continues.

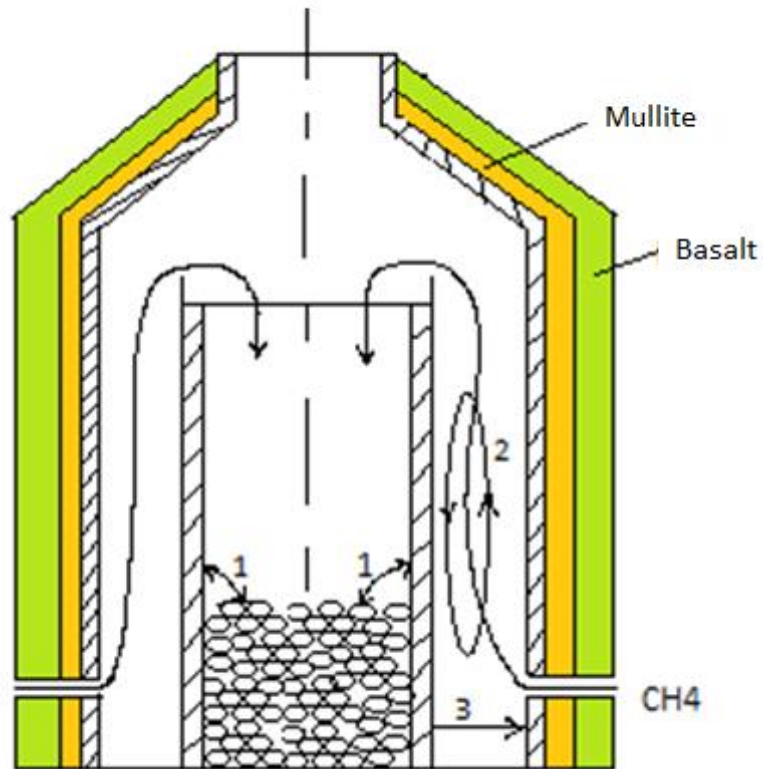
2.3.3 Radiation

Radiation is the emission or transfer of energy in the form of electromagnetic waves or particles. All objects with a temperature above absolute zero radiate energy at a rate equal to their emissivity multiplied by the rate at which energy would radiate from them if they were a black body. No medium is necessary for radiation to occur, for it is transferred through electromagnetic waves; radiation works even in and through a perfect vacuum. The energy from the Sun travels through the vacuum of space before warming the earth.

There are four main properties that characterize thermal radiation (in the limit of the far field):

- Thermal radiation emitted by a body at any temperature consists of a wide range of frequencies.
- The dominant frequency (or color) range of the emitted radiation shifts to higher frequencies as the temperature of the emitter increases.
- The total amount of radiation of all frequencies increases steeply as the temperature rises; it grows as T^4 , where T is the absolute temperature of the body. An object at the temperature of a kitchen oven, about twice the room temperature on the absolute temperature scale (600 K vs. 300 K) radiates 16 times as much power per unit area. An object at the temperature of the filament in an [incandescent light bulb](#)—roughly 3000 K, or 10 times room temperature—radiates 10,000 times as much energy per unit area. The total radiative intensity of a black body rises as the fourth power of the absolute temperature, as expressed by the [Stefan–Boltzmann law](#). In the plot, the area under each curve grows rapidly as the temperature increases.
- The rate of electromagnetic radiation emitted at a given frequency is proportional to the amount of absorption that it would experience by the source. Thus, a surface that absorbs more red light thermally radiates more red light.

All three heat transfer mechanisms exist in the catalyst chamber of SHF plasma chemical reactor:



Picture D.2 - The catalyst chamber of SHF plasma chemical reactor

The heat transfer mechanisms are pointed with numerals:

- 1 – heat conduction
- 2 – convection
- 3 - thermal radiation

2.4 Thermal insulating materials

Due to increase heat losses to 0 it is important to use thermal insulating materials. In concerned installation mullite and basalt are used.

2.4.1 Mullite

Short description of mullite is in table 1 [12].

Table D.1 - Short description of mullite

Identification	
Color	Colorless to pale pink or grey
Formula	$Al_8[(O,OH,F) (Si,Al)O_4]_4$
Crystal habit	Prismatic to acicular crystals
Crystal system	Orthorhombic
Cleavage	Good on [010]
Tenacity	Brittle
Mohs scale hardness	6 - 7
Luster	Vitreous
Streak	White
Diaphaneity	Transparent to translucent
Specific gravity	3.11 - 3.26
Optical properties	Biaxial (+)
Refractive index	$n_\alpha = 1.642 - 1.653$ $n_\beta = 1.644 - 1.655$ $n_\gamma = 1.654 - 1.679$
Birefringence	$\delta = 0.012 - 0.026$
2V angle	Measured: 20° to 50

a) Properties

Mullite is a material that is manufactured by combining Alumina with Silica, fused together during sintering, in various combinations to produce a family of materials. Known as Mullite for the dense materials and Porous mullite or corundum for the porous grades.

Mullite is an important component of artificial technical products. It is made from kaolinite heated to 950 °C or from silicate of alumina heated to 1300 – 1550 °C.

b) Application

Mullite is used for creating of castable refractory, hard-paste porcelain, composite materials and ceramics. Mullite increases mechanical resistance of metals with high temperature and their chemical durability. Stuff, which is based on mullite, takes up high temperature difference. Mullite provides good high-temperature heat insulation.

2.4.2 Basalt

Basalt is a common [extrusive igneous \(volcanic\)](#) rock formed from the rapid cooling of basaltic [lava](#) exposed at or very near the surface of a planet or moon. By [definition](#), basalt is an [aphanitic](#) igneous rock with less than 20% [quartz](#) and less than 10% [feldspathoid](#) by volume, and where at least 65% of the [feldspar](#) is in the form of [plagioclase](#).

Properties of basalt rock:

- Fire-resisting (temperatures higher 1500 °C) ;
- Robust;
- Long-term;
- Sound-proof;
- Heat insulated;
- Nonpolluting

Due to its properties, basalt is used as heat insulated material – fire-resisting basaltic material. This material has unic characteristics, such as: the range of work temperature is from -180 °C to +900 °C; burn-through point equals 1100 °C; high fire-resisting characteristics. All these properties make this material one of the best heat insulated materials.

Vocabulary:

balance conditions – равновесный условия
carbon-dioxide conversion – углекислотная конверсия
catalyst agent - катализатор
creeping discharge – скользящий разряд
electrical discharge – электрический разряд
equilibrium discharge – равновесный разряд
expenditure of energy – энергозатраты
greenhouse effect – парниковый эффект
industrial application – промышленное применение
low-temperature plasma – низко температурная плазма
natural gas conversion – конверсия природного газа
non-equilibrium discharge – неравновесный разряд
oxidizing agent – окисляющее вещество
partial oxidation of natural gas – частичное окисление природного газа
plasma-based pyrolysis – плазменный пиролиз
plasma chemical synthesis – плазмо-химический синтез
steam conversion – паровая конверсия
thermal decomposition – термическое разложение