

Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Институт нефти и газа

Кафедра технологических машин и оборудования нефтегазового комплекса

УТВЕРЖДАЮ
Руководитель магистерской
программы

_____ Э. А. Петровский

подпись инициалы, фамилия

« ____ » _____ 20 __ г.

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

15.04.02 "Надежность технологических машин и оборудования
нефтегазового комплекса"

Технологический реактор для термохимической переработки углеводородов

Руководитель д.т.н., профессор _____

Э. А. Петровский

подпись, дата

инициалы, фамилия

Студент HM19-01M 081942628 _____

А. Ю. Михайлов

номер группы, зачетной книжки подпись, дата

инициалы, фамилия

Красноярск 2021

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа по теме «Разработка конструкции котла - утилизатора для нагрева нефтяного сырья с использованием отходов нефти и нефтепродуктов» содержит __ страниц текстового документа, 22 рисунок, 8 таблиц, 2 приложения, 28 использованных источников, 1 лист графического материала.

Технологический реактор для термохимической переработки углеводородов.

Цель: Создание термохимического реактора для переработки углеводородных отходов, характеризующейся эффективным преобразованием исходного сырья и высоким выходом полезных продуктов.

Задачи

Проанализировать существующие методы переработки углеводородных отходов

Провести оценку технического уровня и тенденции развития оборудования для утилизации углеводородных отходов.

Разработать технологический реактор пиролиза.

Разработать технологическое устройство по вводу катализатора.

Провести анализ эффективности переработки углеводород содержащих отходов предлагаемой технологической установкой.

Научная новизна

Научная новизна работы диссертационной работы заключается в следующем:

Разработка технологического реактора пиролиза, позволяющего максимально перерабатывать сырье с высокими химическими показателями

Упрощение узловой системы для повышения надежности работы установки.

Изменение конструкционного материала для увеличения износостойкости.

Содержание

| | |
|---|----|
| 1 Глава Литературный обзор | 4 |
| 1.1 Обзор современного состояния методов и оборудования для утилизации углеводородных отходов..... | 4 |
| 1.2 Анализ реакторного оборудования для переработки углеводородных отходов | 16 |
| 1.3 Исследование методов повышения эффективности получения нановолокнистых углеродных материалов методом пиролиза | 23 |
| 1.4 Заключение к литературному обзору и постановка задач к выпускной квалификационной работе | 27 |
| 2 Глава – Экспериментальные исследования получения нановолокнистого углерода методом пиролиза..... | 30 |
| 2.1.1. Химизм получения нановолокнистого углерода | 30 |
| 2.1.2 Анализ предлагаемых в литературе механизмов разложения углеводородов..... | 33 |
| 2.1.3 Физико-химические свойства и возможности применения НВУ | 35 |
| 2.2 Описание экспериментальной установки для получения нановолокнистого углерода | 38 |
| 2.3 Методика и условия экспериментальных исследований | 40 |
| 2.4 Результаты экспериментальных исследований | 42 |
| 3 Глава - Конструкторско-технологический раздел..... | 46 |
| 3.1 Определение причин отказов термохимических реакторов | 46 |
| 3.1.1. Метод диаграмм Исикавы | 46 |
| 3.1.2. Метод FMEA..... | 49 |
| 3.1.3. Метод диаграмм Парето | 52 |
| 3.2 Разработка технологического реактора для переработки углеводородов..... | 56 |
| 3.3 Разработка принципиальной технологической схемы установки | 60 |
| Заключение..... | 67 |
| СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ | 68 |
| ПРИЛОЖЕНИЕ А | 72 |
| ПРИЛОЖЕНИЕ Б | 80 |

1 Глава Литературный обзор

1.1 Обзор современного состояния методов и оборудования для утилизации углеводородных отходов

В современной России нефтяная промышленность является главенствующей отраслью. Однако при добыче, хранении, транспортировке, переработке нефтяного сырья образуется нефтесодержащие отходы (нефтешламы). Нефтешламы на данный момент относятся к опасным загрязнителям окружающей среды. Проблема хранения нефтешлама, нехватка полигонов, а также отсутствие эффективного оборудования для переработки приводит к их складированию. В свою очередь это приводит к выводу земель из сельскохозяйственного оборота.

На сегодняшний день существует большое разнообразие методов и оборудования для утилизации углеводородных отходов. Целью данной главы является анализ и установление наиболее эффективного метода и оборудования борьбы, главным образом, с нефтяными отходами, и отходами продуктов переработки нефтяного сырья.

Рассмотрим распространённые методы переработки нефтешламов (таблица 1).

Таблица 1 – Современные методы переработки нефтешлама

| Метод | Описание | Продукт | Эффективность |
|---------------|--|--|---|
| Химический | Происходит обезвреживание капсулирование и нейтрализация при реагировании с щелочноземельными металлами (чаще всего с негашеной известью). | Сухое порошкообразное вещество в виде мелких гранул с известковой капсулой | Положительный эффект. Нефтепродукты, связанные реагентом, таким образом становятся инертными, не вымываются водой, соответственно не оказывают воздействия на почву и грунтовые воды. Недостатком является то, что углеводородная составляющая не утилизируется, так же высокая стоимость реагента и большое количество используемого реагента. |
| Биологический | Основан на способности микроорганизмов превращать нефть в простые соединения, накапливать органическое вещество и | Нефтеотходы 4го класса. Используются в дорожном | Преимуществами биоочистки являются экологическая безопасность, возможность деградации загрязняющих веществ до безвредных |

| | | | |
|-------------|---|------------------------------------|---|
| | включать его в круговорот углерода. | строительстве. | промежуточных продуктов при полностью сохраняющейся структуре почвы и без дополнительного загрязнения окружающей среды. Недостатком является ограничение конкретными условиями применения: диапазоном активности биопрепараторов, температурой, кислотностью толщиной нефтезагрязнения, аэробными условиями. |
| Термический | Технология переработки имеет несколько модификаций: -сжигание в печах или в открытых топках; -дегидратация или сушка с последующим возвратом в производство; -термическое разложение при недостатке воздуха (пиролиз); -газификация (окисление нефтешлама с получением газа, использующегося в качестве топлива). | Жидкие и газообразные углеводороды | - Высокая эффективность обезвреживания, но так же большие затраты по очистке дымовых газов. - Высокая степень разложения, но так же высокие затраты на материалы. Применяется для многих видов отходов. Объем образующейся золы в 10 раз меньше исходного продукта. Высокая эффективность обезвреживания/ |
| Физический | Простое отстаивание. Это наименее затратная и в то же время малоэффективная технология. Центрифugирование. Центробежное оборудование также часто применяется на | Очищенные нефтепродукты | Недостатком является неполнота отделения нефтепродуктов. |

| | | | |
|-------------------|---|---|---|
| | промежуточном этапе подготовки нефтешламов для их переработки другими способами. Введение ПАВ (деэмульгаторов, смачивателей, растворителей). Фильтрование. Экстракция органическими растворителями, отходами при производстве этилена и ацетилена, сжиженными газами или паром. Этот метод основан на взаимном растворении полярных соединений. | | |
| Физико-химический | Применение ПАВ, деэмульгаторов, диспергаторов | Разделенные углеводороды и механические примеси | При не больших количествах возможен интенсивный+ процесс. Недостатком является высокая стоимость реагентов, не утилизируемые остатки. |

На практике использование любого из перечисленных методов возможно при определенных свойствах, характеристиках нефтешламов. [1]

В связи с существующими недостатками представленных методов (таблица 1) можно выделить наиболее эффективные методы обращения с данными видами отходов.

1. Биостимуляция - активизация деградирующей способности аборигенной микрофлоры вложением биогенных элементов, кислорода, различных субстратов. Метод основан на стимулировании роста природных микроорганизмов, живущих в почве и потенциально способных утилизировать загрязнитель, но не способных делать это эффективно из-за недостатка основных биогенных элементов (соединений азота, фосфора, калия и др.) или неблагоприятных физико-химических условий.

Биодополнение - интродукция природных и генноинженерных штампов-деструкторов инородных соединений.

Благодаря работе совокупности микроорганизмов становится возможным анаэробное разрушение ароматических соединений. Продукты жизнедеятельности бактерий и сами отмирающие бактерии легко усваиваются аборигенной микрофлорой, формируя гумус. В результате биомеридиации в окружающей среде остаются легко разлагающийся бактериальный белок, не требующий последующей утилизации, и нетоксичные продукты разложения нефти. Использование метода предполагает не большое количество сырья и большую продолжительность процесса.

2. Эффективным способом разрушения углеродсодержащих отходов является пиролиз. Пиролиз представляет собой термическое разложение органических и не органических соединений. По сути это явление распада материи на молекулярном уровне благодаря сильному. На данный момент процесс пиролиза является самым эффективным способом переработки нефтешламов.

Процесс пиролиза можно разделить по виду реакции.

Окислительный пиролиз представляет собой реакцию при высоких температурах с окислителем, при этом происходит частичное сжигание отходов.

Одним из востребованных методов переработки углеводородных отходов является сухой пиролиз.

При температурном режиме от 400-550°C (Низкотемпературный) происходит образование полукоксов и смол. Данные продукты используются для производства искусственного каучука. При температурном режиме от 550-900°C (Среднетемпературный) образуется твердые материалы, как кокс, древесный уголь, увеличивается выход газа, а также снижается теплота сгорания. При температурном режиме от 900-1100°C (Высокотемпературный) происходит образование газообразных продуктов.

При этом режиме нет требований к содержанию сырья. И получаемые продукты при процессе это газ, который имеет самую низкую теплоту сгорания.

Для того, что бы понять проблематику данного метода необходимо изучить существующие установки по переработки углеводородных отходов.

Известна Печь сжигания «Вихрь» (Россия) производительностью 1.0 т/ч. Сжигание углеводородных отходов в условиях температуры 800-1100 °С. Установка снабжена системой утилизации тепла и очистки дымовых газов от аэрозоля и тумана из жидких нефтепродуктов и смол. Стоимость сжигания - 30-50 долларов США за одну тонну. Процесс сжигания ведется при большой кратности обмена в тонком слое, приводимом во вращательное турбулентное движение, быстро прогревающемся и частично распыляющемся на более мелкие, чем при барботажном способе, капли.

Барботажная печь Каталя так же используется для переработки нефтешламов. Продукт, подлежащий сжиганию, заливают в ванну через выпускной патрубок идерживают на постоянном уровне Н, который зависит от состава и свойств горючего вещества, размеров и числа отверстий в днище. Толщина слоя отходов может колебаться в пределах 5-10 см. Ванна отделена от стенки камеры перегородкой, образующей канал. Камера закрыта сверху куполом, изготовленным из огнеупорного материала и окруженным воздушными рубашками.

Топливовоздушная смесь сгорает над слоем продукта в потоках "вторичного" и "третичного" воздуха, подаваемого в печь соответственно через патрубки. Газообразные продукты сгорания выходят из печи через горловину. Купол, предназначенный для отвода газа (воздуха), выполнен в виде трубы Вентури.

Печь с псевдоожиженым слоем «Dorr Oliver GmbH» была создана в Германии. Процесс каталитической газификации отходов, использующий каталитические свойства расплавленного металла для разрыва химических

связей в сложных органических молекулах. Получаемый синтез-газ используется для синтеза уксусной кислоты, температура процесса - 1650°C.

Установка имеет газоочистку и адсорбционный фильтр. Капитальные затраты не превышают 15-25 млн. долл США, что на 20-50% меньше, чем для установок сжигания. Установки с псевдоожженным слоем требуют в 2-3 раза более высоких капитальных вложений.

Электродуговая печь для переплавки углеводородных отходов с производительностью 10 т/ч. Горючие газы, образующиеся в результате реакции кислорода с углеродом, поднимаются вверх, проходя через опускающиеся твердые отходы и обеспечивают тепло, необходимое для пиролиза. Дополнительного топлива для поддержания процесса пиролиза не требуется. В верхней части печи этот газ охлаждается в ходе сушки поступающих твердых отходов. Выходящий газ (температура при выходе из реактора около 120°C) содержит значительное количество водяных паров, некоторое количество "масляного тумана" и следы вредных примесей. Эти примеси удаляются путем очистки газа в электрофильтре. Весьма сложной является проблема аккумуляции и хранения газа, полученного в процессе пиролиза, поэтому фирма считает, что потребитель должен находиться на расстоянии не более 1.5-3 км от установки. Плохой выход чистого продукта.

Печь газификационная с каталитическим блоком «Molten Metal Technol.» с производительностью 3 т/ч. Установка обеспечивает полное сжигание органической части отходов на колосниковой решетке в воздухе, подогретом в рекуператоре до 350—400 °C. Образующийся дым очищается в четырехступенчатой системе газоочистки: от органических вредностей, в том числе диоксинов и бензапирена, за счет дожигания в специальной футерованной камере при температуре 950—1000 °C. Недожженная часть органики,monoоксид углерода и сажа обезвреживается в каталитическом аппарате при температуре на входе 350—450 °C. От кислых неорганических соединений дым очищают за счет впрыска в дымовые газы щелочного раствора. Впрыск производится как в камеру дожигания, так и после

катализитического аппарата. Механические загрязнения, включая соединения тяжелых металлов, осаждаются в кассетном тканевом фильтре. Такая многоступенчатая очистка обеспечивает концентрацию вредных веществ в приземном слое менее нормативов ЕС. Технологический процесс максимально автоматизирован и механизирован в условиях передвижной установки, что позволяет двум рабочим обслуживать ее, включая отсортировку из мусора стеклотары, металлолома и др. Монолитный внутренний слой футеровки из специального жаростойкого бетона повышенной прочности обеспечивает высокую прочность и жаростойкость печи при работе и переездах. Низкая производительность.

Исходя из вышеперечисленного можно сделать вывод, что в большинстве используются установки прямого сжигания. Данные установки не дают должного эффекта.

Известны установки пиролиза марки УТД-2, Фортан. Применение и целесообразность данных установок намного выше. Широкий перечень перерабатываемых отходов, низкая энергоемкость, предотвращённый экологический ущерб. Существует ряд патентов (Таблица 3), реализованных по пиролизу битумных фракций нефти и раздробленного материала (в том числе отходов).

Таблица 2 - Существует ряд патентов по пиролизу

| Год | Компания | Название | Принцип действия | Ссылка |
|------|--------------------|----------|--|---|
| 2016 | Red Leaf Resources | Метод | Раскрыт способ удаления и конденсации паров из замкнутого пространства. Закрытое пространство, содержащее углеводородный материал, окружено изолирующим проницаемым слоем, имеющим понижающий градиент температуры между внутренней поверхностью и наружными поверхностями. Изоляционный слой также может быть покрыт непроницаемым слоем. Нагревание материала в замкнутом пространстве | https://patents.google.com/patent/US9482467B2/en?q=Shale+oil+extraction&assignee=Red+Leaf+Resources%2c+Inc.&country=US,WO&language=ENGLISH&num=100&sort=new |

| | | | | |
|------|--------------------|--|--|---|
| | | | <p>вызывает образование паров при положительном давлении в замкнутом пространстве. Пары проходят через внутреннюю поверхность изолирующего проницаемого слоя и контактируют с проницаемыми материалами и конденсируются при понижении температуры внутри изолирующего слоя. Конденсатная жидкость проходит вниз через изолирующий слой и затем собирается.</p> <p>Положительное давление в нагретом замкнутом пространстве, а также конденсация и понижение давления и температуры в изоляционном слое служат для втягивания дополнительных паров из замкнутого пространства в изолирующий слой, что облегчает конденсацию и последующий сбор.</p> | |
| 2019 | Red Leaf Resources | Обработка теплом измельченного материала горной породы | Системы для нагревания тела измельченного углеводородного материала с целью получения из него углеводородов могут включать последовательный нагрев нескольких зон тела материала. | https://patents.google.com/patent/US10208254B2/en?q=Shale+oil+extraction&assignee=Red+Leaf+Resources%2c+Inc.&country=US,WO&language=ENGLISH&num=100&sort=new |
| 2019 | AMSO | Использование сжиженного нефтяного газа для | Устройства, системы и процессы предназначены для реформинга углеводородов из битума. Теплоноситель включает по меньшей мере один компонент сжиженного нефтяного газа (СНГ, liquefied petroleum gas (LPG)), такой как, например, пропан или бутан. В то время как жидкий теплоноситель проходит через контур | https://patents.google.com/patent/US10508523B2/en?q=Shale+oil+extraction&assignee=American+Shale+Oil |

| | | | | |
|------|--------------------------------|---|---|---|
| | | циркуляции в горючем сланце | теплопередачи, растрескивание части жидкого теплоносителя может привести к образованию различных углеводородных материалов, которые могут подаваться в поток продукта. | |
| 2012 | EnShale | Сланцевый температурный пиролиз | Система для производства нефтепродуктов из горючего сланца включает в себя одну или несколько линий нагрева. Агент закачиваемый в пласт газообразный водород из сепаратора осуществляет синтез-газ и приводит к пиролизу для извлечения углеводородов. | https://patents.google.com/patent/US20120318636A1/en?q=Shale+oil+extraction&assinee=EnShale&country=US&language=ENGLISH&num=100&sort=new |
| 2005 | Chattanooga Corporation | Способ переработки нефтяного сланца | Способ обработки нефтяного песка (битуминозного песка) или сланца включает пластовый реактор, где реагентом является, по существу, водород. | https://patents.google.com/patent/US20050252832A1/en?q=Shale+oil+extraction&assinee=Chattanooga+Corporation |
| 2011 | General Synfuels International | Устройство для нагрева сланцевой формации | Устройство и способы извлечения углеводородных из нефтеносных / битуминозных песков и горючих сланцев. Нагреватель помещают в скважину, создавая температуру, достаточную для превращения керогена в сланце или битума в нефтеносном песке в углеводородные продукты, эти продукты извлекаются из скважины в виде газовой фазы. Одна или несколько начальных стадий конденсации газа выполняются для извлечения продуктов сырой нефти, после чего следует одна или несколько последующих стадий конденсации для извлечения дополнительных продуктов, не относящихся к сырой нефти. Последующие стадии конденсации | https://patents.google.com/patent/US20110198083A1/en?q=Shale+oil+extraction&assinee=General+Synfuels+International&country=US&language=ENGLISH&num=100&sort=new |

| | | | | |
|------|----------------------|---|--|---|
| | | | могут проводиться, по меньшей мере, на одной скважине. Могут быть выполнены последующие или попеременные стадии извлечения углеводородных продуктов с воздействием диоксида углерода. Различные физические параметры можно регулировать, чтобы варировать извлечение сырой нефти или других продуктов или загрязнений. | |
| 2016 | Red Leaf Resources | Теплоизолирующее устройство для тепловых обработок. | Система теплоизоляции может включать в себя корпус из нагревого материала при повышенной температуре. Слой пористого изолирующего материала может быть размещен рядом с телом нагревого материала и сообщен с ним по текучей среде. Изолирующий слой может содержать распределенную жидкую воду в количестве, достаточном для охлаждения изолирующего слоя посредством испарительного потока пара в направлении тела нагревого материала. Количество воды может быть достаточным для обеспечения водяного пара для ингибиования диффузии и адсорбции углеводородов из нагревого материала. Изолирующий слой может включать непрерывную паровую fazу. Материал теплоотвода при более низкой температуре может быть размещен рядом с изолирующим слоем и напротив тела нагреваемого материала. | https://patents.google.com/patent/US20160102927A1/en?q=Shale+oil+extraction&assignee=Red+Leaf+Resources%2c+Inc.&country=US,WO&language=ENGLISH&num=100&sort=new |
| 2012 | Mountain West Energy | Нагревание пласта с помощью | Способ извлечения углеводородов включает в себя: скважину и блок заканчивания, который размещается вблизи нижней части целевой зоны для нагнетания жидкости, которая доставляет тепловую энергию от | https://patents.google.com/patent/US8205674B2/en?q=Shale+oil+extraction&assignee=Mountain+West+Energy&country=US&language=ENGLISH&num=100&sort |

| | | | | |
|------|--------------------|--|---|---|
| | | им нагне тание м водор ода | источника тепла. Полученную добывающую текучую среду нагревают, добавляют свободный водород, и добывающую текучую среду обрабатывают в катализитическом реакторе для регенерации нефти. | =new |
| 2020 | Exxon Mobil | УГВ пирол иза | Изобретение относится к пиролизу углеводородов, оборудованию и материалам, используемым для пиролиза углеводородов, к способам проведения пиролиза углеводородов и к применению пиролиза углеводородов, например, для обогащения углеводородов. | https://patents.google.com/patent/US2020048163A1/en?q=Shale+oil+extraction&assignee=ExxonMobil&country=US,WO,EP&after=priority:20120101&language=ENGLISH&num=100&sort=new |
| 2016 | Chevron | Переработка нефти с использованием радиочастотного нагрева | Способ осуществления включает нагрев первой части пласта радиочастотной энергией, генерируемой радиочастотным генератором, электрически связанным с антенной. Антenna расположена в стволе скважины и расположена в первой части, чтобы нагреть первую часть до минимальной температуры около 160 ° F. Радиочастотный генератор обеспечивает мощность в диапазоне от около 50 киловатт до около 2 мегаватт, а мощность на Единица длины антенны находится в диапазоне от около 0,5 кВт / м до 5 кВт / м. Способ включает извлечение нефти из первой порции после нагревания для создания пустого пространства для впрыска пара. Способ ориентирован на циклическое воздействие. | https://patents.google.com/patent/US9284826B2/en?q=Shale+oil+extraction&assignee=Chevron+&after=priority:20110101&page=2 |
| 2019 | Red Leaf Resources | Пиролиз с использованием горяч | Системы и способы нагрева материала посредством когенерации тепловой и электрической энергии могут включать в себя источник тепла и электрический генератор, сконфигурированный для | https://patents.google.com/patent/US20190119578A1/en?q=Shale+oil+extraction&assignee=Red+Leaf+Resources%2c+Inc.&country=US,WO&language=ENGLISH |

| | | | | |
|------|------------|--|--|---|
| | | его выхлопного газа и электричества | производства горячего выхлопного газа и электричества. Один или несколько нагревательных трубопроводов могут переносить горячий выхлопной газ к одному или нескольким телам материала. Электрический генератор может, по меньшей мере, частично питать один или несколько электрических нагревателей, выполненных с возможностью подогрева горячего выхлопного газа после того, как часть тепла была передана от горячего выхлопного газа к одному или нескольким телам материала. | &num=100&sort=new |
| 2017 | Rygor hase | Тепловой метод электрического действия для вызоковязких нефтеи | Тяжелые углеводородные материалы, такие как битум, обогащаются в сверхкритической воде в реакторной системе с непрерывным потоком. Конструкция и способ реактора облегчают массоперенос для растворения битума в нагретой воде и расщепляют тяжелые углеводороды, контролируя температуру и давление в зонах внутри протекающего потока. Реактор может включать встроенный электрический нагреватель. | https://patents.google.com/patent/WO2017147344A1/en?q=Shale+oil+extraction&assignee=Pyrophase&country=US,WO&after=priority:20120101&language=ENGLISH&num=100&sort=new |
| 2017 | Rygor hase | Тепловой метод электромагнитного действия | Система нагрева для создания радиочастотных (РЧ) полей для восстановления термочувствительных составляющих, включает коаксиально расположенные внутренний и внешний проводники, соединенные с источником РЧ-энергии. Внутренний и внешний проводники образуют коаксиальную линию передачи благодаря дипольной антенне вблизи указанной формации. Внутренний проводник выступает из внешнего | https://worldwide.espacenet.com/publicationDetails/biblio?DB=EPOD&OC&II=2&ND=3&adjacent=true&language=en_EP&FT=D&date=20161013&CC=MX&NR=2015006751A&KC=A |

| | | | | |
|------|------------|--|---|---|
| | | | проводника из соединения, открывая зазор между проводниками в более глубокое положение внутри пласти. | |
| 2020 | Pygor hase | Радио частот ный нагре в с впрыс киван ием раств орите лей | Способ извлечения тяжелых углеводородных материалов, таких как битум из нефтяных песков, асфальта, гудронов, пека и других высоковязких углеводородов (НСМ). Устройство основано на использовании радиочастотной энергии (RF) разные входы внешних электродов. Добавление встроенного смесителя или прямого впрыска растворителей в устройство может дополнительно улучшить извлечение НСМ. | https://patents.google.com/patent/US20200087583A1/en?q=Shale+oil+extraction&as_signee=Pyrophase&country=US,WO&after=priority:20120101&language=ENGLISH&num=100&sort=new |

1.2 Анализ реакторного оборудования для переработки углеводородных отходов

Беспламенная огневая утилизация жидких углеводородных отходов для использования при локальном теплоснабжении.

При производстве жизнедеятельности человечества образуется большое количество отходов. С течением времени это количество неумолимо растет и встает вопрос о ее утилизации. Существует несколько способов утилизации отходов такие как захоронение, регенерация, огневое обезвреживание и переработка для получения нового продукта.

Такой способ, как захоронение, влечет за собой ухудшение экологии, что допускать категорически нельзя. В процессе регенерации происходит потеря качеств и свойств продукции, а применение химических присадок не целесообразно из-за дороговизны. Огневое обезвреживание описанное в статье Вислогузова Р. А. «Беспламенная огневая утилизация жидких углеводородных отходов для использования при локальном теплоснабжении» имеет важный плюс, это утилизация более 50% отходов. Необходимо отходы перерабатывать для получения нового продукта.[2]

Современные методы утилизации углеводородов являются энергоемкими и требуют значительных капитальных и эксплуатационных вложений, кроме того объемы утилизации отходов отстают от объемов их образования, что в свою очередь порождает глобальную проблему углеводород содержащих отходов.

В статье авторов Бурахта В. А., Гаврилина И.И., Байтлесова Л.И. «Переработка продуктов пиролиза резинотехнических изделий в моторные топлива» представлены исследования методом пиролиза в моторные топлива. В данной статье по ряду испытаний были получены жидкие углеводороды, пиролизные газы, обладающие характеристиками сходными высоковязкой сернистой нефтью, что в свою очередь позволит использовать материалы для дальнейшей эксплуатации.

В ряде статей Медведева А. В. «метод высокотемпературной утилизации нефтяных отходов», Андрюшин А. Ю. «Обезвреживание и переработка промышленных отходов», Соловьев А. А. «переработка нефтешламов с использованием химических методов», можно увидеть острую проблему утилизации нефтешлама, а так же ее переработка для получения полезных для производства веществ. Так же встает вопрос использования установок. Их эффективность зависит от многих параметров, для изучения некоторых выбрано несколько патентов.

Одна из проблем это не полная переработка сырья, что влияет на безотказность установки. Загруженность отходами в камере приведет к ее остановке для очистки.

Так же надежность конструкции из-за большой узловой системы.

Большое внимание необходимо уделить конструкционному материалу, который обеспечит наилучшую эффективность работы установки.

В патенте авторов Зорин А. Л. Карапаев Е. Н. Занозина В. Ф. Жебряков Е. Ф. Ли А. Н. № 129100 «Реактор для выделения углеводородных фракций из некондиционных продуктов и отходов нефтепереработки» изобретение относящееся к нефтегазодобывающей промышленности и может быть

использовано при переработке нефти. Данный реактор предназначен для выделения углеводородных фракций из некондиционных продуктов и отходов нефтепереработки.

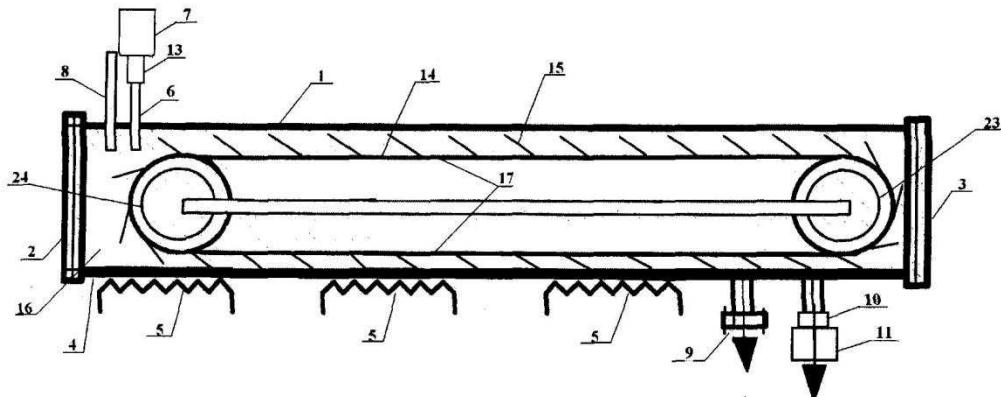


Рисунок 1. Реактор для выделения углеводородных фракций из некондиционных продуктов и отходов нефтепереработки.

В реакторах пиролиза выявлен существенный недостаток, т. к. данные разработки были ориентированы на максимальное получение жидкого пиролизного топлива и совершенно не рассматривался режим синтез-газа. В современных установках, данные недостатки стараются учитывать.

Реактор для выделения углеводородных фракций из некондиционных продуктов и отходов нефтепереработки содержит герметичный корпус с плоским днищем, снабженным наружным нагревателем и выпускным отверстием с патрубком для вывода продуктов крекинга, патрубками для подачи исходного сырья из загрузочного бункера, подачи и вывода азота и парообразных углеводородных компонентов, и рабочими скребками.

Одним из недостатков является выполнение корпуса в виде прямоугольной коробки. На швы прямоугольного реактора оказывается большее давление, в следствии чего снижается герметичность реактора.

Так же одним недостатков является наличие транспортерной ленты со скребками. Данное решение уменьшает рабочую зону, тем самым уменьшает выход продукта.

В патенте Автора Науменко Е. Н. №145466 «установка для пиролиза углеводородного сырья» содержащая бункер для загрузки измельченных

отходов, пиролизный реактор туннельного типа с приводом. Отличается тем, что пиролизный реактор расположен под углом не менее 15 градусов к загрузочному окну, а транспортирующее устройство выполнено в виде укороченного шнека длиной не более 1/3 длины реактора. Целью изобретения является повышение производительности и надежности работы установки при упрощении конструкции. Недостатками известного устройства являются высокие энергозатраты и трудозатраты, обусловленные многооперационностью процесса последовательной обработки сырья продуктом конденсации парогазовой смеси до достижения необходимой степени его набухания.

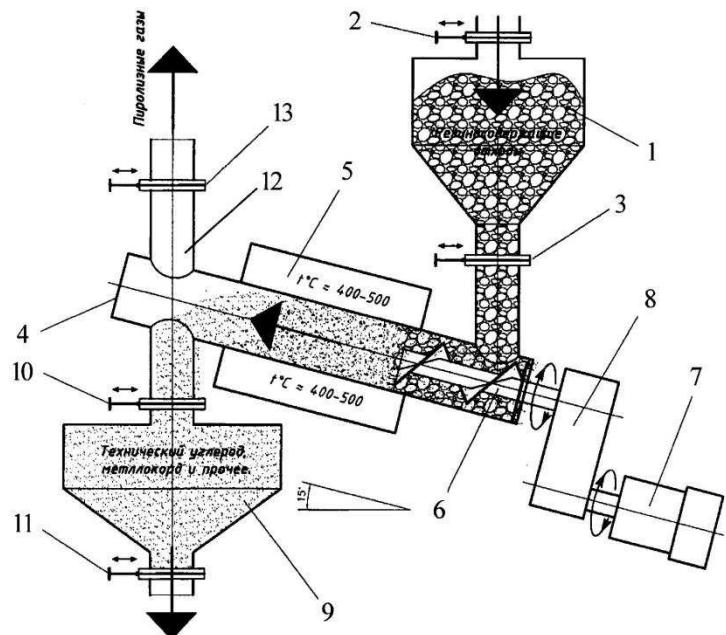


Рисунок 2. Установка для пиролиза углеводородного сырья.

В патенте авторов Мезенцев Б. М., Маратканов И. С., Веник А. В. №2629721 «устройство для термического обезвреживания опасных отходов» относится к устройствам для термического обезвреживания опасных отходов, а так же отсортированных органических компонентов твердых бытовых отходов, углерод и углеродосодержащих отходов, в том числе нефтешламов. Сущность изобретения заключается в достижении указанного технического результата в устройстве для термического обезвреживания опасных отходов, которое содержит последовательно связанные накопительный бункер, термолизный реактор с загрузочным питателем и нижним разгрузочным

устройством, емкость для охлаждения (тушения) углеродного остатка термолиза отходов, бункер временного складирования углеродного остатка с системой пробоотбора для экспресс-анализа токсичности и установку плазменного дожига углеродного остатка с приемной шлаковой ванной, а также линию фракционирования с насадочным скруббером, адсорбером и колонными аппаратами для выделения жидкой углеводородной фракции продуктов термолиза и несконденсированного синтез-газа, используемого в качестве вторичного топлива в реакторе термолиза, систему водоочистки производственных сточных вод, трехстадийную очистку дымовых газов термолизного реактора, при этом реактор термолиза содержит по крайней мере одну камеру термолиза, система газоочистки содержит три стадии очистки с извлечением окислов тяжелых металлов, а система водоочистки включает в себя три ступени физико-химической очистки.

Недостатком данного устройства является отсутствие методов контроля и снижения экологической опасности углеродного остатка, образующегося в процессе физико-химического разложения отходов, отсутствие методов контроля и снижения экологической опасности при переработке отходов с повышенным содержанием тяжелых металлов (таких как медь, железо, никель, ртуть, кадмий, свинец, мышьяк), отсутствие методов предварительной очистки образующихся сточных вод. Так же высокие капитальные и эксплуатационные расходы, и как следствие, экономическая неэффективность газификации углеродного остатка в сравнении с традиционными методами сжигания.

В патенте авторов Колесников В. Ю., Маликова А. Ю., Грибов А. В, Грибов А. А, №2672363 «Установка пиролиза отходов» относится к утилизации отходов, содержащих вещества органического происхождения и может быть использовано в химической, нефтехимической, металлургической, коммунальной, сельскохозяйственной и других отраслях хозяйства. Недостатком известной установки пиролиза отходов является то, что реактор оснащен цепным конвейером на барабанах приводной и

концевой головок которого в процессе работы происходит налипание твердых продуктов пиролиза в виде пирокарбона, пропитанного смолами с высокой температурой кипения, которые со временем образовывают плотную массу, препятствующую нормальному зацеплению цепных тяговых элементов и скребков на зубьях звездочек и свободному продвижению через электронагреватель, что приводит к остановке процесса, потере энергии и времени на разборку и очистку.

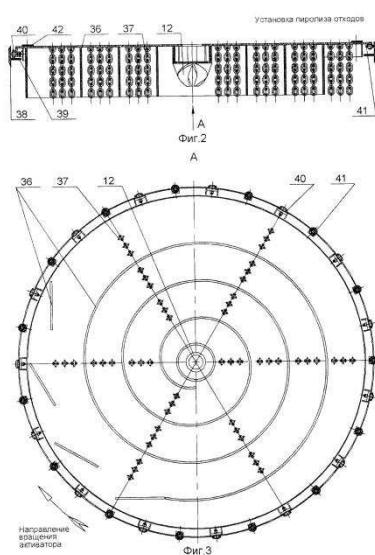


Рисунок 3. Установка пиролиза отходов.

В патенте авторов Крестовников М. П., Снегоцкий А. Л., №2246525 «Способов деструкции органических соединений и установка по переработке нефтехимических отходов» изобретение относится к деструктивной переработке органических соединений и может быть использовано в химической, нефтехимической и других областях промышленности. Способ заключается в воздействии на органическое сырье акустическими и электромагнитными полями. Рабочие параметры волновых полей выбираются с таким расчетом, что бы обеспечить резонансную частоту колебаний молекул органических соединений.[3]

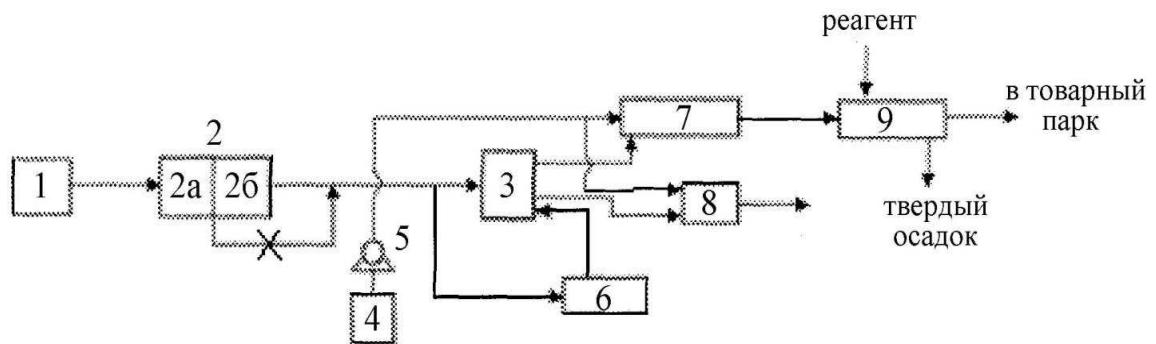


Рисунок 4. Схема работы установки

Недостатками являются :

1. Ротор, являющийся генератором кавитации, требует частой замены, так как подвергается постоянному кавитационному разрушению,
 2. Ненадежность конструкции, как следствие сложной вращающейся механической системы, имеющей большое количество узлов трения,
 3. Низкая селективность процесса деструкции.
1. Среди основных недостатков встречающихся практически во всех существующих технических решений, можно выделить:
- Неполная переработка сырья
 - Низкая селективность процесса деструкции.
 - Отсутствие методов контроля
 - Снижение экологической опасности углеродного остатка
2. Общими тенденциями развития объекта исследования являются:
- Использование газожидкостного нагревателя.
 - Использование цилиндрической конструкции.
 - Использование мешающих устройств, для перемешивания катализатора с сырьем.
 - Встроенная система охлаждения

1.3 Исследование методов повышения эффективности получения нановолокнистых углеродных материалов методом пиролиза

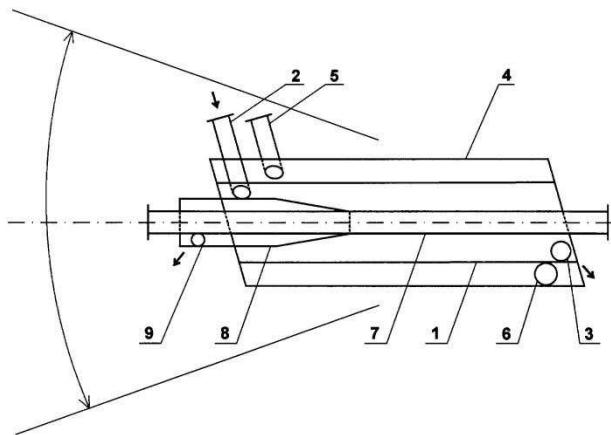
В последние годы наблюдается увеличение капиталовложений в модернизацию технологий пиролиза, с целью повышения производительности. Зачастую данные реконструкции приводят к незначительным увеличениям эффективности. Происходит это из-за увеличения внутреннего оборудования, а, следовательно, уменьшения полезного объёма реакционной среды. Так же модернизация оборудования существующим конструкциями зачастую многократно увеличивает ее стоимость, что приводит к нерентабельности ее использования.

В работе рассматриваются устройства целесообразные для модернизации конструкции реактора пиролиза.

Было рассмотрено устройство ускоряющее поток газов. Один из представителей является вихревой дифузорообразный завихритель с тангенциальным устройством ввода газа, описанная в патенте «RU 171149» от 22.05.2017 года.

Полезная модель относится к устройствам термохимической переработки углеродсодержащих и углеводородсодержащих веществ и может быть использована для получения газообразных и жидких углеводородных продуктов. Технический результат заключается в повышении производительности процесса переработки и качества получаемых продуктов за счет высокоскоростной глубокой термохимической деструкции сырья без доступа кислорода в сильнозакрученном вихревом потоке продуктов пиролиза. Для достижения технического результата камера пиролиза (1) имеет цилиндрическую форму и соосно размещена внутри корпуса реактора. Внешний тепловой контур (4) камеры выполнен в виде рубашки. Патрубок (2) ввода газовзвеси в камеру пиролиза и патрубок (3) отвода продуктов пиролиза тангенциально размещены в начале и в конце камеры на расстоянии друг от друга, равном сумме трех диаметров камеры.

Внутри камеры пиролиза соосно по всей длине размещена труба (7) внутреннего теплового контура. Вокруг трубы на длине от 0 до 30% расстояния между торцевыми стенками камеры расположен щелевой кожух-завихритель (8) потока газовзвеси. Угол наклона продольной оси реактора относительно горизонта регулируют в пределах $\pm 20^\circ$ от линии горизонта. 4 з.п. ф-лы, 2 ил.



Фиг. 1

Так же на маловажную роль имеет процесс перемешивания. Перемешивание в процессе переработки сырья дает возможность выделить максимально большую часть продукта. Поэтому данному вопросу необходимо уделить внимание. Выбор перемешивающего устройства зависит от конструкционных характеристик, так же от условий протекания процесса. Вибрационное воздействие на перемешиваемые материалы и рабочие органы смесителя значительно увеличивает производительность процесса, снижает энергоемкость и улучшает качество смеси. При этом вибрация в одних случаях может лишь интенсифицировать основной процесс (например, вибрирование шнека в шнековом смесителе), в других – вызывать специфические вибрационные эффекты, которые используются для перемешивания (например, циркуляционное вибротранспортирование смеси внутри цилиндрического или торообразного сосуда). Процесс перемешивания с наложением вибраций сопровождается дополнительными эффектами

разрушения коагуляционных структур, увеличением диспергирования твердых частиц, т. е. активизацией смеси.

Вибрационные импульсы вызывают хаотические столкновения частичек материала, разделение их по форме, плотности и размерам, разрушение сложившихся конгломератов, уменьшения трения частицами. Перемешивание происходит практически в любом процессе, где используется вибрация. Исследования перемешивания в сосудах, подвергаемых в горизонтальных сосудах, показали, что интенсивный процесс начинается только тогда, когда ускорение дна сосуда превышает ускорение свободного падения. Процесс перемешивания обуславливается главным образом пульсирующим движением газа внутри вибрирующего слова, которое возникает в результате образования под ним вакуума и фильтрования газа через слой материала.

Зависимость скорости циркуляционного движения от гранулометрического состава компонентов смеси выглядит следующим образом: при уменьшении размера частиц скорость циркуляции при постоянных параметрах вибрации и массе загрузки увеличивается, однако после достижения частицами размера менее 10 мкм резко падает, что хорошо согласуется с принципами вибротранспортирования.

Перемешивание смеси в таких аппаратах обусловливается конвективными и диффузионными процессами. Первые возникают вследствие общего движения всей массы загрузки (макропроцессы), вторые обеспечиваются в результате относительного движения частиц среды, что влияет на изменение сил трения и сцепления между частицами (микропроцессы).

Оба вида движения имеют большое значение для перемешивания: отсутствие циркуляции загрузки и снижение относительных колебаний частиц при вибрации значительно замедляют процесс перемешивания. Однако основное значение имеют все-таки относительное движение частиц смеси и микротурбулентность слоев, являющиеся необходимой

предпосылкой быстрого протекания процесса перемешивания и одной из основных особенностей, отличающих вибрационный способ от остальных способов перемешивания. Механизм перемешивания частиц разных слоев объясняется взаимопроникновением частиц одного компонента в образовавшиеся свободные пространства между частицами другого. Пористость вибрирующего слоя определяется величиной ускорения. При небольших значениях ускорения ослабляются силы трения между частицами, но они не отрываются одна от другой, происходит уплотнение. При ускорении выше критического работа энергетически нецелесообразна, кроме того, существуют ограничения, определяемые долговечностью и надежностью конструкции.

Интенсификация конвективного теплообмена профилированием поверхности дает значительное увеличение рабочей зоны.

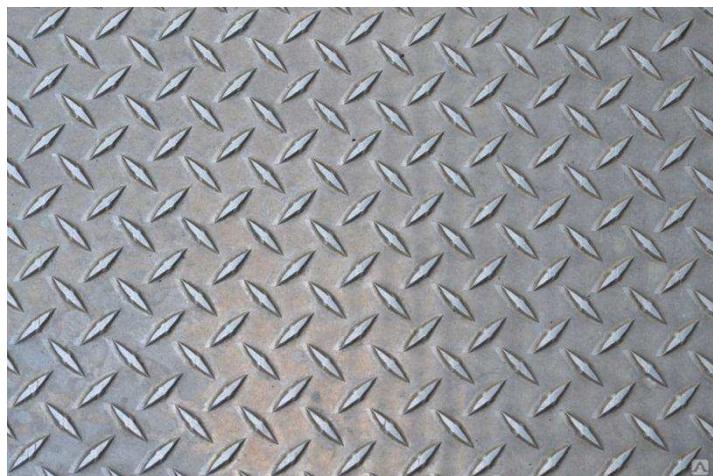


Рисунок 5. Профилированная поверхность.

Ребристые поверхности применяют для выравнивания термических сопротивлений теплоотдачи с обеих сторон стенки, когда одна поверхность стенки омывается капельной жидкостью с большим коэффициентом теплоотдачи, а другая поверхность омывается газом с малым коэффициентом теплоотдачи, создающим большое термическое сопротивление.

Оребрение стенки с большим термическим сопротивлением позволяет увеличить ее поверхность соприкосновения со средой, уменьшить общее тепловое сопротивление теплопередачи и увеличить тепловой поток.

Температура изменяется по высоте ребер; у основания ребра она равна температуре поверхности стенки $t_{ст}$, а температура у вершины ребра будет значительно меньше $t_{ст}$ (если принять $t_1 > t_2$). Поэтому участки поверхности ребра у основания будут передавать больше теплоты, чем участки ребра у вершины. Отношение количества теплоты, передаваемой поверхностью ребер в окружающую среду Q_p , к теплоте, которую эта поверхность могла бы передать при постоянной температуре, равной температуре у основания ребер $Q_{пр}$, называется коэффициентом эффективности ребер.

1.4 Заключение к литературному обзору и постановка задач к выпускной квалификационной работе

Так как наиболее опасными загрязнителями окружающей природы являются нефтесодержащие отходы – нефтяные шламы. Это сложные физико-химические смеси, состоящие из нефтепродуктов, воды и механических примесей, к которым относятся глина, песок, окислы металлов. Нефтешламы являются аномально устойчивыми эмульсиями, которые постоянно изменяются под воздействием атмосферы и различных процессов, протекающих в них. Образуются они, как правило, при очистке сточных вод, в процессе бурения, подготовки нефти, при очистке резервуаров, во время ремонта оборудования, а также от всевозможных аварий.

На данный момент известны несколько методов утилизации: Химический метод имеет недостатки, углеводородная составляющая не утилизируется, так же высокая стоимость реагента и большое количество используемого реагента. В биологическом методе недостатком является ограничение конкретными условиями применения: диапазоном активности биопрепараторов, температурой, кислотностью толщиной нефтезагрязнения, аэробными условиями. В физическом методе, казалось бы самом простом существует один большой недостаток, скорость и не полнота утилизации.

В термическом методе, а именно пиролизе есть совокупность недостающих предыдущим методам преимущества. Процесс закрытого типа и с не прямым нагревом. В мире этот метод пользуется большой популярностью. Было создано множество устройств, установок для процесса пиролиза нефтепродуктов, тем самым является актуальной. Но главным образом не была решена задача полного разложения сырья на продукты. Одной из проблем является подача сырья в сам реактор. Так же существует проблема подачи катализатора в реактор, которые повысят скорость реакции и позволят продуктивнее разделять на необходимые компоненты.

В ряде существующих установок по переработке углеводородных отходов существует ряд существенных недостатков. Один из таких является неполная переработка сырья. Так же необходимо решить распространённую проблему нецелесообразного использования реакторов, а именно дорогостоящего оборудования, которое в свою очередь увеличивает стоимость продукта. Качество загрузки сырья недооценено и не до конца изучены. Эффективное перемешивание сырья дает возможность максимально переработать сырье и исключить возможность появления побочных продуктов.

Цель

Создание термохимического реактора для переработки углеводородных отходов, характеризующейся эффективным преобразованием исходного сырья и высоким выходом полезных продуктов.

Задачи

Проанализировать существующие методы переработки углеводородных отходов

Провести оценку технического уровня и тенденции развития оборудования для утилизации углеводородных отходов.

Разработать технологический реактор пиролиза.

Разработать технологическое устройство по вводу катализатора.

Провести анализ эффективности переработки углеводород содержащих отходов предлагаемой технологической установкой.

Научная новизна

Научная новизна работы диссертационной работы заключается в следующем:

Разработка технологического реактора пиролиза, позволяющего максимально перерабатывать сырье с высокими химическими показателями

Упрощение узловой системы для повышения надежности работы установки.

Изменение конструкционного материала для увеличения износостойкости.

2 Глава – Экспериментальные исследования получения нановолокнистого углерода методом пиролиза

2.1.1. Химизм получения нановолокнистого углерода

В настоящее время большое внимание уделяется альтернативному способу получения наноматериала путем пиролиза углеводородов, преимущественно метана, с использованием катализаторов содержащих металлы VIII группы []. Применение катализаторов позволяет значительно снизить температуру процесса пиролиза (до 500-800°C) и устраниить неконтролируемый процесс образования отложений углерода на элементах реактора.

Единственным газообразными продуктами реакции являются водород и метан. Поэтому, в общем виде, данный процесс описывается уравнением:



Необходимо отметить, что углерод при осуществлении данного процесса образуется только на катализаторе в виде нановолокон или нанотрубок графитоподобной структуры и представляет собой ценный побочный продукт [4]. Обладая уникальными физико-химическими свойствами, каталитический нановолокнистый углерод (НВУ) имеет перспективы применения в различных областях науки и техники.

Одной из наиболее широко рассматриваемых реакций в литературе является реакция разложения метана на нанесенных катализаторах, содержащих в качестве активного компонента наночастицы Ni или Fe, с получением водорода и НВУ. Доказано, что Ni-содержащие катализаторы наиболее эффективны при проведении процесса разложения метана в диапазоне температур 460-580°C [], при более высоких температурах они очень быстро дезактивируются и не позволяют получать высокие концентрации водорода. В отличие от катализаторов на основе Ni, Fe-содержащие катализаторы позволяют эффективно разлагать метан на

водород и углерод при 650-840°C, но при этом имеют их время жизни, как правило, не превышает 16 часов. Поэтому суммарные выходы как водорода, так углерода за период реакции до полной дезактивации катализатора оказываются невысоким. Суммарный выход водорода, получаемого пиролизом метана на Fe/Al₂O₃ катализаторе при 650-840°C составляет 418 моль H₂/моль Fe (7.4 моль H₂/г Fe), тогда как при пиролизе метана на катализаторе Ni/SiO₂ при 400°C выход водорода достигает 4802 моль H₂/моль Ni (81.8 моль H₂/г Ni) [5].

Анализ литературы показывает, что добавление второго металла позволяет улучшить активность и ресурс Ni-содержащего катализатора. При этом возрастает степень превращения метана и, соответственно, концентрация водорода в продуктах реакции. Наибольшая степень превращения метана достигается при использовании биметаллических Ni-Pd катализаторов. Известно, что время жизни катализатора Pd-Ni/Al₂O₃ при 700°C увеличивается до 47 часов, максимальная конверсия метана составляет -45%, а выход водорода при этом — 20597 моль H₂/моль (Pd+Ni) (127.7 моль H₂/г (Pd+Ni)). Несмотря на столь высокие показатели биметаллические Ni-Pd катализаторы все же обладают существенным недостатком — высокой стоимостью. В связи с этим, более перспективно использование в качестве второго металла более дешевой меди. Так, например, в работе [] показано, что более высокую активность и более продолжительным временем жизни в реакции разложения метана, по сравнению с Ni катализаторами, обладают катализаторы на основе сплава Ni-Cu. Максимальная конверсия метана при использовании этих катализаторов достигает 40% при 675°C, а выход водорода 6850 моль H₂/моль № (116.6 моль H₂ / г Ni).

В качестве сырья для получения водорода могут быть использованы углеводороды тяжелее метана (C₂-C₄). В ряде работ отмечена возможность получения водорода при использовании таких углеводородов, как пропана, бутана, этана, этилена и ацетилена []. Известны работы, в которых

рассматривается вопрос о применении в качестве исходного сырья для получения водорода и НВУ не только специально приготовленных газовых смесей, но также и технологических [], и попутных нефтяных газов []. Разложение углеводородов C₂-C₄ на Ni-содержащих катализаторах с получением высоких выходов водорода и НВУ происходит более низких температурах (500-650°C) по сравнению с разложением метана. Например, выход водорода при пиролизе пропана на Ni-Pd катализаторе при 600°C может достигать 1550 моль H₂/моль (Ni+Pd) (26.4 моль H₂/г Ni+Pd)) [], а при пиролизе этилена - 17375 моль H₂/моль № (296 моль H₂/г Ni) []. Отмеченные работы указывают также на возможность селективного разложения углеводородов C₂-C₄ на водород и углерод с образованием газовых смесей с высокими отношениями H₂:CH₄. Тем не менее, несмотря на высокие значения степени превращения исходных углеводородов (близких к 100%), авторам указанным выше работ не удалось получить высоких отношений H₂:CH₄ при температурах ниже 700°C в течение длительного времени. Кроме того, не определены причины изменения концентраций водорода и метана в продуктах реакции и не выявлены механизмы изменения селективности процесса по водороду.

Необходимо отметить, что процесс образования углерода сопутствующий получению водорода пиролизом углеводородов на катализаторах является главной причиной его дезактивации. Различные исследователи предлагают проводить регенерацию катализатора путем сжигания углерода или газификацией водяным паром [6]. В последнем случае можно получать дополнительное количество водорода. Однако такой подход представляется нецелесообразным, так как при окислительной регенерации металлического катализатора безвозвратно теряется ценный побочный продукт (НВУ), а также может происходить загрязнение водорода примесям оксидов углерода, что влечет за собой необходимость в дополнительных стадиях очистки. Кроме того, количество CO₂,

образующегося при сжигании углерода, сопоставимо с тем, что присутствует в традиционном процессе паровой конверсии метана.

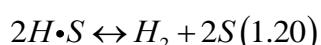
2.1.2 Анализ предлагаемых в литературе механизмов разложения углеводородов

Возможные механизмы разложения углеводородов с образованием водорода и НВУ в присутствии катализаторов, содержащих металлы VIII группы, рассмотрены во многих работах [7]. В настоящее время наиболее признанным является механизм, в соответствие с которым углеводородная молекула, сорбируясь на металлической поверхности частицы катализатора, разлагается, проходя последовательно ряд стадий, на углерод и водород. Газообразные продукты десорбируются в газовую фазу, а образовавшийся углерод растворяется в объеме металлической частицы. Далее происходит насыщение частицы атомами углерода за счет диффузии углерода через объем частицы. На завершающей стадии углерод выделяется на определенных участках поверхности каталитической частицы в виде нановолокон, по отношению к которым растворенный углерод оказывается в пересыщенном состоянии. Данный механизм, впервые предложенный Baker [] для описания образования НВУ на частицах Ni, Fe и Co при разложении ацетилена, был впоследствии усовершенствован Буяновым и получил название механизма «карбидного цикла». Механизм карбидного цикла включает в себя «химический» этап, на котором происходит каталитическое разложение углеводородов на поверхности металлических катализаторов с образованием атомов углерода и «физический этап», в ходе которого происходит образование центров кристаллизации углерода (зародышей) на определенных гранях и диффузия углерода, через объем металлической частицы к этим центрам, с последующим ростом графитовых образований. Было показано, что в зависимости от температуры процесса и типа углеводородного сырья процесс образования углеродных отложений может лимитироваться различными стадиями. Возникновение градиента

концентрации углерода в металле объясняется особенностями образования углерода по механизму карбидного цикла и трудностями формирования зародышей углерода. В этом случае аккумулирование углерода в фазе карбида можно рассматривать как промежуточный этап на пути формирования зародышей новой фазы углеродных отложений, благодаря которому концентрация углерода в объеме металла может достигать более высокого значения, чем в насыщенном растворе углерода в металле. Необходимо отметить, что механизм карбидного цикла объясняет процесс роста углеродных образований на каталитических частицах, но не позволяет объяснить распределение продуктов пиролиза в газовой фазе.

Впоследствии проводились исследования с целью создания кинетической модели процесса каталитического пиролиза метана. В процессе накопления углерода катализатор постепенно дезактивируется из-за инкапсуляции активных металлических наночастиц углеродной пленкой. Скорость дезактивации Ni-содержащего катализатора в процессе образования НВУ тем выше, чем выше скорость образования углерода на поверхности, т.е. увеличивается при увеличении подачи углеводородного газа в реактор и температуры в реакторе.

Согласно принятому в литературе механизму [8] процесс каталитического пиролиза метана проходит ряд последовательных стадий (1.14-1.20). При этом предполагается, что стадия (1.15) является лимитирующей, а активные центры в основном заняты водородом:



Где S - активный центр катализатора

Предложенный механизм является полуэмпирическим поэтому его применение ограничивается параметрами экспериментальных исследований: температурным диапазоном 510-600°C, содержанием водорода в исходной метан-водородной смеси 0-40 об.%. Для описания процесса разложения углеводородов тяжелее метана данный механизм не подходит.

Необходимо отметить, что природа взаимодействия углеводород-металл в процессе реакции до сих пор служит предметом споров в литературе. Энергия активации разложения метана тем ниже, чем выше прочность связей металл-углерод, что соответствует следующему порядку уменьшения активности металла в реакции: Fe > Co > Ni. Экспериментальные исследования [9], по разложению метана на нанесенных Fe-, Ni- и Co-содержащих катализаторов при 850°C согласуются с этой теорией. Однако, при более низких температурах (<700°C) порядок каталитической активности по отношению к реакции разложения метана меняется на: Ni > Fe > Co. В соответствии с этим следует вывод о том, что другие факторы, включая взаимодействие водород- металл, также играют важную роль в активации молекул метана при взаимодействии с каталитической поверхностью.

2.1.3 Физико-химические свойства и возможности применения НВУ

Углеродные нановолокна дают большой потенциал применения, чем уделяют большое внимание исследователей разных специальностей, что связано в первую очередь с теми перспективами, которые открывают свойства НВУ перед материаловедением. Как уже было отмечено выше, НВУ образуется на частицах металлов VIII группы при разложении углеродсодержащих газов. При исследовании структуры НВУ было установлено, что в зависимости от условий получения его нановолокна представляют собой трубки, сплошные цилиндры или вложенные конусы, то есть когда базальные плоскости могут быть параллельны, перпендикулярны или располагаться под углом по отношению к оси волокна. Пористый

углеродный материал представляет собой трехмерную матрицу, образованную изогнутыми слоями углерода в форме волокон, переплетенных случайным образом в гранулы (рис.). Структура НВУ зависит от условий синтеза, состава катализатора и углеводородного сырья, размеры нановолокон определяются размерами частиц катализатора. Например, при разложении метана на Ni-содержащих катализаторах, как правило, образуются волокна толщиной 10—150 нм и отношением длины к толщине 160-2500. Размеры гранул составляют 2—5 мм. Удельная поверхность гранул (без дополнительной активации) - 100-300 м²/г углерода. Углеродные волокна вырастают на активных центрах катализатора и в ходе разложения углеводородного сырья переплетаются случайным образом, создавая каркас - пористую углеродную матрицу с размером пор 12-20 нм и удельной поверхностью переходных пор 85-135 м²/г [10].

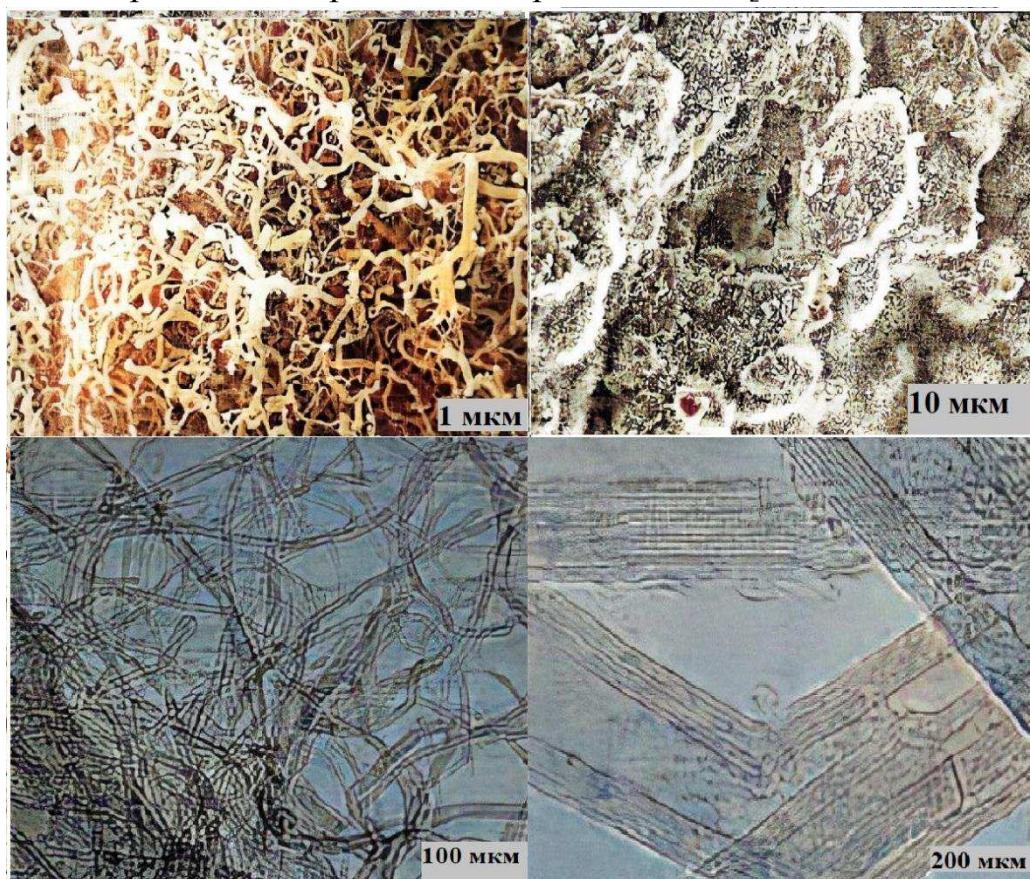


Рисунок 6. Нановолокнистый углерод.

Углеродные наноматериалы обладают сверхвысокой прочностью, низкой оптической плотностью, влагоустойчивостью, сохранностью, отсутствием необходимости в специальных покрытиях, химической инертностью волокон, отсутствием нежелательных взаимодействий с другими компонентами системы, экологической безопасностью, специфическими адсорбционными, теплоизоляционными, электропроводящими, термостойкими и другими свойствами [11]. Развитая поверхность НВУ и особенности морфологии позволяют применять этот материал для адсорбции и выделения одного или нескольких компонентов из газовых и жидких смесей [12]. При разных условиях синтеза могут быть получены образцы НВУ с межслоевым расстоянием, соответствующим диаметру молекулы газообразного компонента, который требуется выделить из смеси. Например, для эффективного выделения водорода из смеси газов расстояние между слоями углерода в волокнистой структуре должно быть равным 0.4 нм. В этом случае молекулы водорода смогут адсорбироваться, свободно проникая в пространства между слоями графита (рис. 1.6) . В связи с необходимостью создания эффективной системы аккумулирования водорода для перехода транспорта на водородное топливо, особый интерес вызывают имеющиеся в литературе публикации, демонстрирующие возможность использования углеродных нановолокон и нанотрубок для хранения различных газов, в том числе и водорода [13].

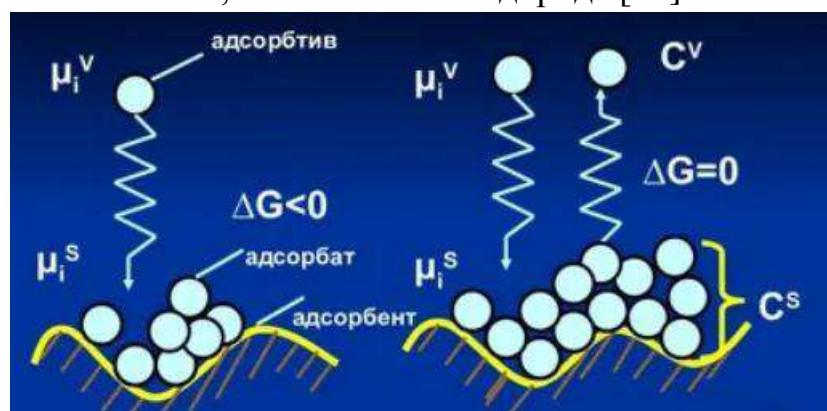


Рисунок 7. Схематичное изображение структуры углеродного нановолокна и суть процесса адсорбции.

Благодаря аномально высокой прочности углеродных нановолокон и нанотрубок, их использование в качестве наполнителя композиционных полимерных материалов позволяет заметно улучшить механические характеристики последних. Сочетание механической прочности и высокой удельной поверхности делает перспективным использование НВУ в качестве носителей катализаторов [14]. Экспериментальные данные, полученные в работах, показывают возможность применения НВУ в качестве эффективного катализатора прямого окисления сероводорода в серу, без дополнительной обработки и модификации. Этот процесс может использоваться для очистки природного и попутных нефтяных газов от примесей сероводорода.

2.2 Описание экспериментальной установки для получения нановолокнистого углерода

Для проведения экспериментальных исследований была разработана лабораторная установка. Принципиальная схема лабораторной установки представлена на рисунке 8. Установка состоит из баллона для подачи исходного газа 1, автоматической системы контроля и подачи газа 2, реактора пиролиза 3, а также системы отвода газообразных продуктов, состоящая из воздуховода 4 и вытяжной вентиляции 5.

При этом баллон с газом помещен в терmostатируемый объем 6, в котором обеспечивается необходимая рабочая температура газа. Нагрев реактора пиролиза осуществляется с помощью электропечи 7. Кроме того, в реактор помещено перемешивающее устройство 8, управляемое с помощью электродвигателя 9.

Контроль процесса пиролиза осуществляется с помощью двухканального измерителя-регулятора 10 типа ОВЕН 2ТРМ1, с классом точности 0,5/0,25. Для контроля температуры в реакторе использовалась помещенная в его объем термопара 11.

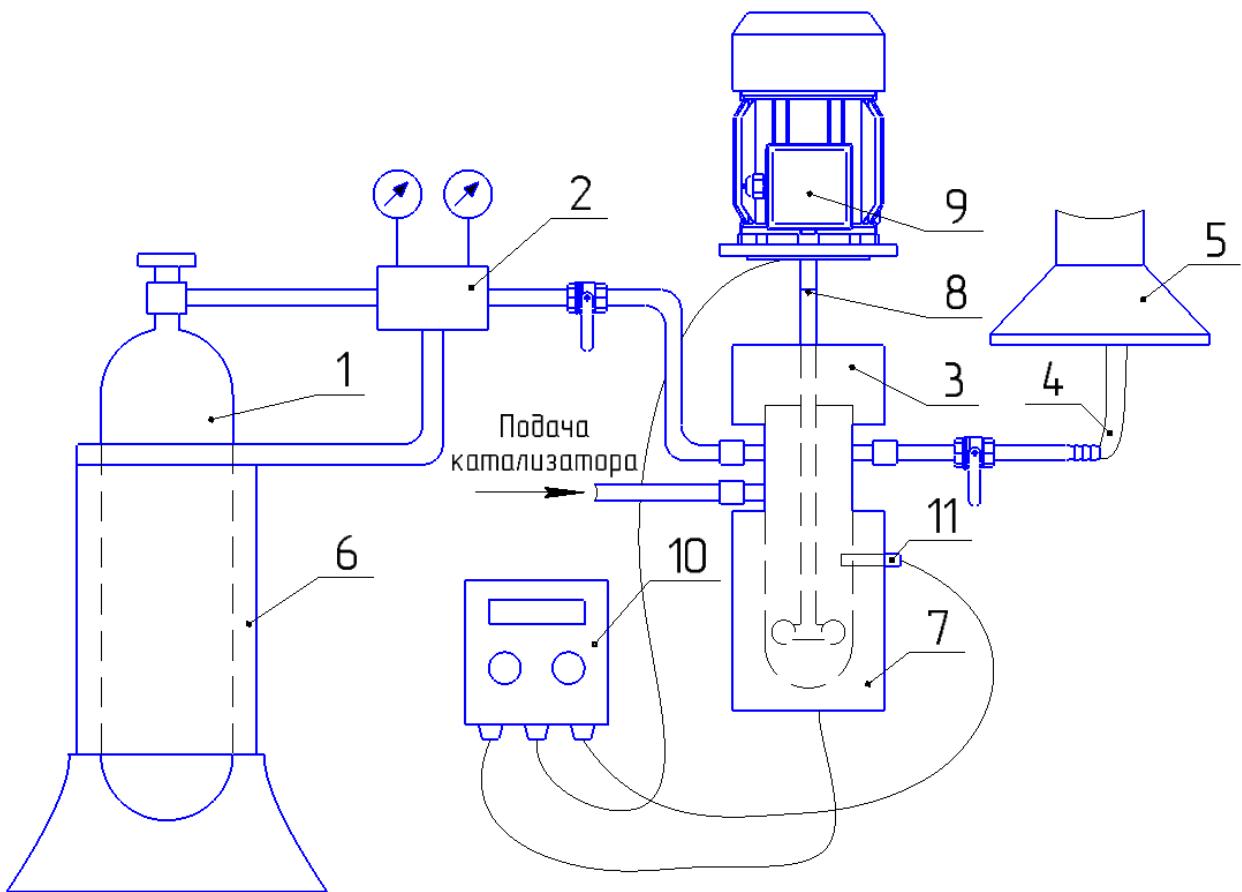


Рисунок 8 – Принципиальная схема экспериментальной установки

Внешний вид и схема реактора пиролиза представлена на рисунке 9. Реактор представляет собой колбу 1, изготовленную из нержавеющей стали марки 12Х18Н10Т, герметично соединенную с металлической крышкой 2 посредством резьбового соединения. Диаметр реактора составляет 100 мм, высота 300 мм. В качестве уплотнительного элемента используется термостойкий герметик на неорганической основе типа Макрофлекс НА147. Исходный углеводородный газ подается в реактор с помощью патрубка 3, непосредственно в зону реакции (расположение показано на рисунке). Газообразные продукты, образуемые в ходе реакции, отводились с помощью патрубка 4. Для обеспечения дополнительной интенсификации процесса пиролиза и улучшения показателя конверсии используется разработанное перемешивающее устройство 5. Загрузка катализатора осуществляется с помощью патрубка 6. Выгрузка и исследование готового твердого продукта

осуществлялось посредство снятие крышки 2, что значительно упрощало процессы исследования. Для контроля температуры в корпусе реактора встроена термопара 7.

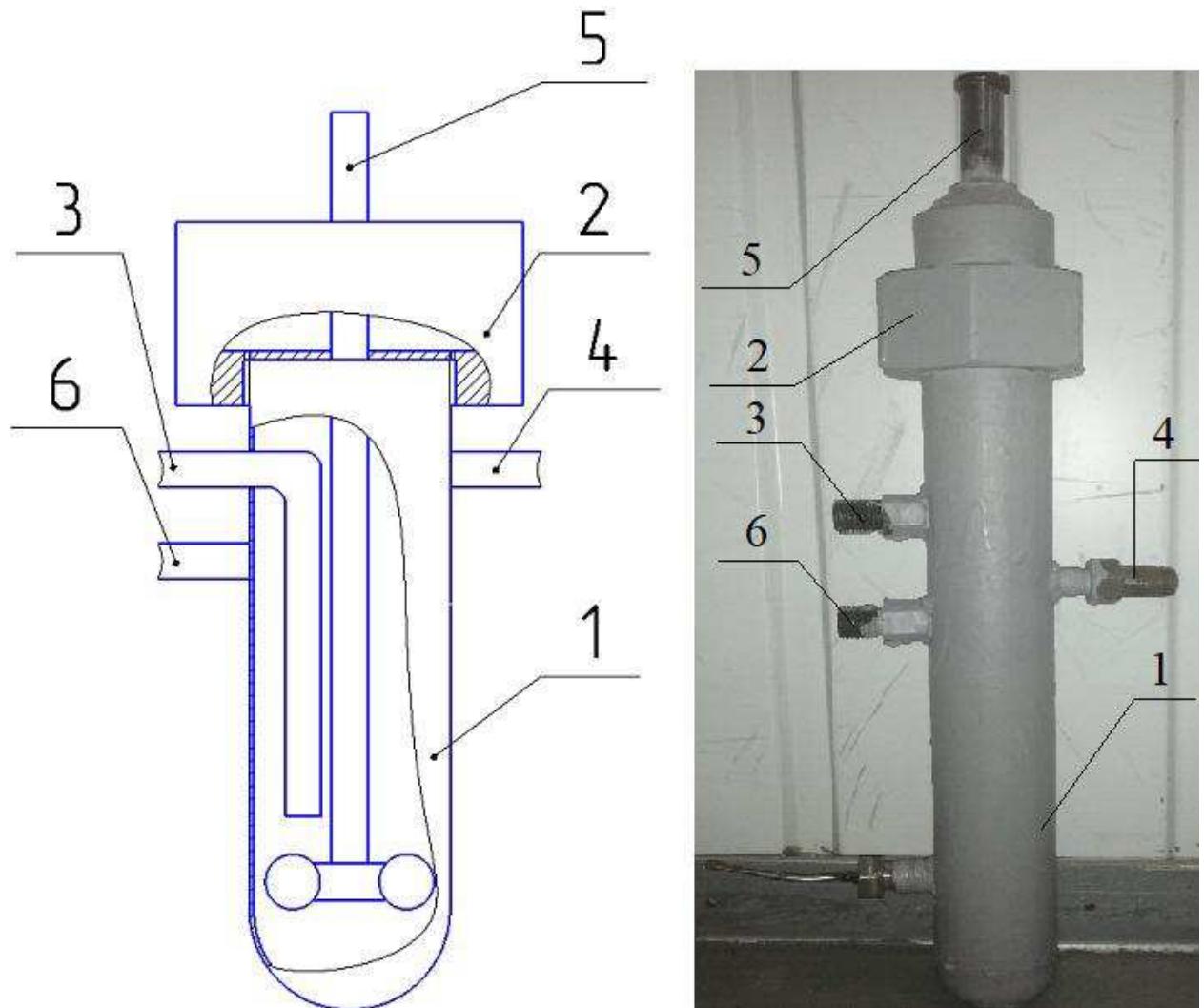


Рисунок 9 – Принципиальная схема – а и внешний вид – б реактора пиролиза

2.3 Методика и условия экспериментальных исследований

Перед началом экспериментальных исследований реактор пиролиза и трубопроводная обвязка продувались инертным газом – аргоном.

С целью исследования особенностей образования нановолокнистых углеродов и водорода на данном экспериментальном стенде в качестве исходного сырья использовался углеводородный газ метан, полученный при

пиролизе углеводородных отходов. Исследования проводились при постоянном расходе углеводородного газа и виброжиженным слое катализатора. В ходе эксперимента также выдерживались следующие параметры:

- температура реактора: 550 и $650 \pm 20^\circ\text{C}$;
- масса катализатора $0,1$ г;
- расход газа: 100 л/ч·Г_{кат.}

Согласно работе автора [диссертация Соловьёва] частицы катализатора должны быть среднего размера (не большие и не маленькие), к тому же текстурный промотор в катализаторе должен составлять 10 вес.%, а частицы активного металла иметь размеры в диапазоне от 10 до 40 нм.

В данной работе использовались три вида катализаторов на основе никеля: 90% Ni+ 10% Al₂O₃, 70% Ni+ 20% Cu+ 10% Al₂O₃, 70% Ni+ 20% Cu+ 10% SiO₂. Для измерения концентрации газообразных компонентов использовался хроматограф «Clarus 600». Условия хроматографического анализа представлены в таблице 3. Структура гранул получаемого нановолокнистого углерода исследовалась с помощью просвечивающего электронного микроскопа марки JEM-100CX. Перед микроскопическим анализом пробы нановолокнистого углерода измельчались, затем приготавливалась спиртовая суспензия с дальнейшим ее нанесением на углеродные подложки толщиной порядка 20 нм. Параметры электронного микроскопа при исследовании структуры углерода представлены в таблице 4.

Таблица 3 – Условия хроматографического анализа

| Параметр | Значение |
|---------------|----------|
| Время анализа | 180 мин |
| Объем пробы | 10 мл |
| Газ-носитель | Гелий |
| Длина колонки | 100 м |
| Температура: | |

| | |
|-------------|-------|
| - колонки | 250°C |
| - детектора | 300°C |

Таблица 4 – Параметры электронного микроскопа JEM-100CX

| Параметр | Значение |
|---|----------|
| Предельное разрешение | 0,2 нм |
| Ускоряющее напряжение | 100 кВ |
| Сферическая аберрация объективной линзы | 2,8 нм |
| Температура окружающей среды | 25±1°C |

Вес полученных образцов измерялся с помощью аналитических весов AND HR-250 AG. Характеристики весов AND HR-250 AG представлены в таблице 5.

Таблица 5 – Характеристика весов AND HR-250 AG

| Параметр | Значение |
|-----------------------------|----------|
| Диапазон рабочих температур | +5÷+40°C |
| Линейность | ±0,3 мг |
| Дискретность | 0,1 мг |
| Класс точности | I класс |

2.4 Результаты экспериментальных исследований

Внешний вид получаемых углеродных наноматериалов представлен на рисунке 10. Результаты исследования структуры наноматериалов представлены на рисунке 11, выход продуктов реакции в зависимости от температуры и вида катализатора представлен в таблице 6. Из полученных данных можно сделать вывод, что:

1. При увеличении температуры процесса (с 550 до 650°C) наблюдалось увеличение выхода продуктов реакции (водорода и

наноматериалов) больше 100% при катализаторе 70%Ni+20%Cu+10%Al₂O₃, больше 25% при катализаторе 70%Ni+20%Cu+10%SiO₂. Увеличение температуры выше 700°C приводило к образованию на образующихся плотных волокнах пироуглерода. Выход продуктов реакции существенно не увеличивался. К тому же увеличение температуры выше 700°C требовало существенных энергетических затрат.

2. Детальное рассмотрение образцов углеродных наноматериалов позволило установить размер получаемых частиц. На поверхностях катализатора образовывались относительно крупные частицы нановолокн (до 100 нм), кроме этого на крупных частицах происходило образование более мелких частиц, размером от 20 до 60 нм. В некоторых случаях наблюдалось образование крупных пучком волокон (от 200 до 500 нм).

3. Путем использования перемешивания удалось достичь увеличение выхода продуктов пиролиза от 10 до 15% (в сравнении с литературными данными и в зависимости от катализатора). При каждом эксперименте использовалось фиксированное число оборотов мешалки: 400±20 об/мин.



Рисунок 10 – Размер гранул получаемого нановолокнистого углерода

Таблица 6 – Результаты экспериментальных исследований

| № | Состав катализатора, мас. % | Газ | Температура реакции | Выход углерода, г/ч | Выход водорода, л/ч |
|---|--|-----------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| 1 | 70% NI + 20% Cu + 10% Al ₂ O ₃ | CH ₄ | 550±20°C | 214 | 52 |
| 2 | 70% NI + 20% Cu + 10% Al ₂ O ₃ | CH ₄ | 650±20°C | 482 | 130 |
| 3 | 70% NI + 20% Cu + 10% Al ₂ O ₃ | CH ₄ | 750±20°C | 554 | 150 |
| 4 | 70% NI + 20% Cu + 10% SiO ₂ | CH ₄ | 550±20°C | 382 | 102 |
| 5 | 70% NI + 20% Cu + 10% SiO ₂ | CH ₄ | 650±20°C | 504 | 132 |
| 6 | 70% NI + 20% Cu + 10% SiO ₂ | CH ₄ | 750±20°C | 508 | 152 |

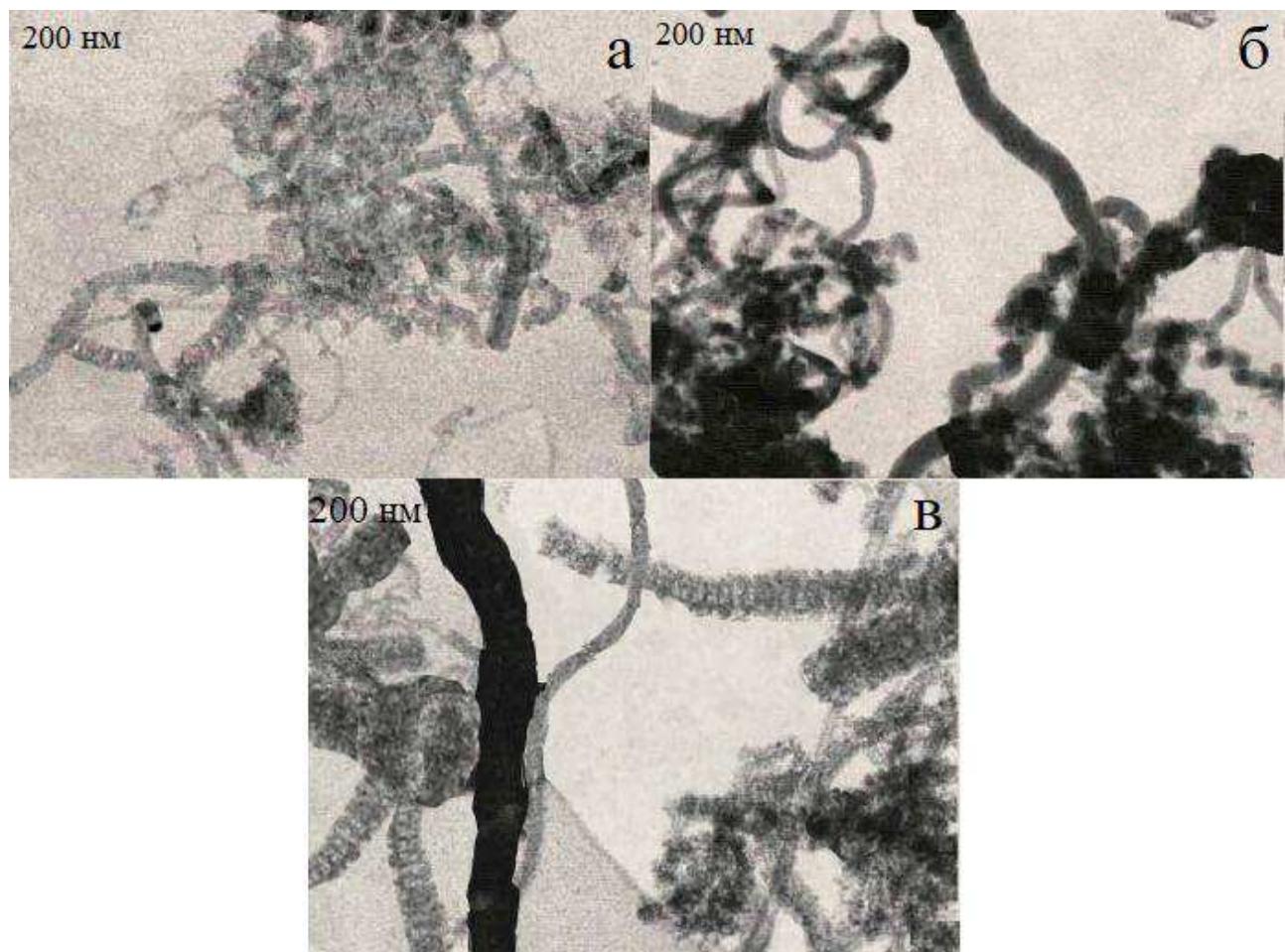


Рисунок 11 – Микрофотография углеродных нановолокон: а – 70% NI + 20% Cu, T=550±20 °C; б – 70% NI + 20% Cu, T=650±20°C; в – 70% NI + 20% Cu, T=750±20

3 Глава - Конструкторско-технологический раздел

В данной главе приведено описание экспериментальной установки и реактора для проведения исследования особенностей каталитического разложения углеводородов с получением НВУ в виде гранул. Описаны использованные в работе катализаторы, а так же реология используемого сырья. Приведена методика проведения экспериментов, описаны физико-химические методы исследования полученных в ходе экспериментов образцов НВУ.

3.1 Определение причин отказов термохимических реакторов

При осуществлении контроля качества систематизация, обработка и исследование большого количества собранных данных осуществляются различными методами с целью выявления определенных закономерностей, данные называются статистическими данными, а методы используемые методы называются статистическими методами [16].

Вся статистика основана на концепции разброса. Статистический контроль разброса параметров процесса или продукта позволяет графически представить информацию, которую легко понять: если разброс мал, то можно ослабить контроль, если он велик, то это следует воспринимать как сигнал о необходимости регулирования процесса для повышения его стабильности.

Из всего многообразия статистических методов контроля качества целесообразно использовать методы диаграммы Исикавы и диаграммы Парето.

3.1.1. Метод диаграмм Исикавы

Диаграмма Исикавы предназначена для выявления и структурирования причинно-следственных связей между объектом анализа и факторами, влияющими на него, что позволяет правильно направить усилия на решение проблем или достижение определенной цели.

Конечной целью использования метода диаграмм Исиавы для конкретного объекта является:

- выявление различных факторов, влияющих на него;
- визуализация причинно-следственных связей;
- распределение приоритетов для анализа и решения поставленной задачи на основе определения относительной значимости факторов.

Мы применяем метод диаграммы Исиавы к исследуемому оборудованию (рис.). Таким образом, причинами остановки процесса переработки отходов являются:

Человеческий фактор;

Контрольно-измерительное оборудование;

Качество сырья.

Наиболее значимым фактором является состояние технологического оборудования и компонентов реактора.

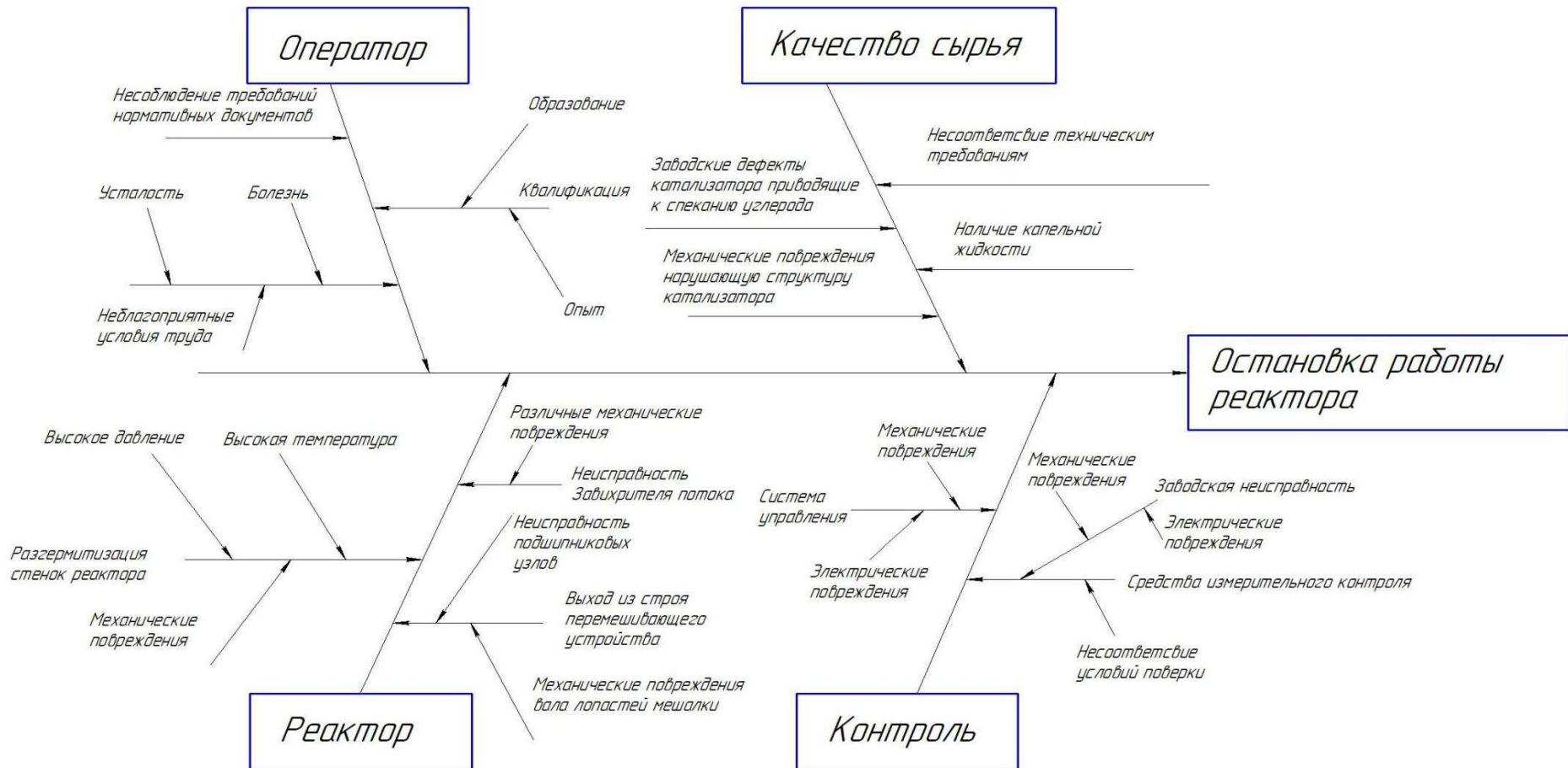


Рисунок 12. Схема Исиавы «Остановка процесса переработки».

3.1.2. Метод FMEA

FMEA —Failure Mode and Effect Analysis. Это — технология анализа разновидностей и последствий возможных отказов (дефектов, по причине которых объект теряет возможность выполнять свои функции). Чем хорош данный метод? Он дает предприятию возможность предвидеть возможные проблемы и неполадки еще на этапе проектирования. В ходе анализа производитель получает такую информацию:

- перечень потенциальных дефектов и неисправностей;
- анализ причин их возникновения, тяжести и последствий;
- рекомендации по снижению рисков в порядке приоритетности;
- общая оценка безопасности и надежности продукции и системы в целом.

Данные, полученные в результате анализа, документируются. Все обнаруженные и изученные отказы классифицируют по степени критичности, легкости обнаружения, ремонтопригодности и частоте возникновения. Основная задача — выявить проблемы до того, как они возникнут и начнут влиять на клиентов компании.

Данная шкала значимости последствий (S) позволяет оценить значимость последствий возможных отказов от 1 до 10 баллов. Здесь также приведены десять возможных видов последствий и их описание в колонке «критерий значимости последствия».

Таблица 7. Метод FMEA

| № | Процесс | Вид потенциально го дефекта | Последствия потенциального дефекта | S | Потенциальная причина дефекта | O | Первоначально предложенные меры по обнаружению дефекта | D | ПЧР | Рекомендуемое изменение |
|---|------------------------------|---|--|---|--|---|--|---|-----|--|
| 1 | Пиролиз углеводородных газов | Разгерметизаци я стенок реактора | 1. Загрязнение окружающей среды. 2. Выход оборудования из строя 3. Потеря продукта 4. Пагубное влияние на здоровье работников | 9 | 1. Механические повреждения 2. Высокое давление 3. Высокая температура. | 2 | 1. Планово предупредительный ремонт 2. Дефектоскопия | 3 | 54 | 1. Увеличение толщины стенки. 2. Изменение материала стенок реактора. |
| 2 | | Выход из строя перемешивающего устройства | 1. Выход оборудования из строя 2. Потеря продукта | 8 | 1. Выход из строя подшипниковых узлов. 2. Механические повреждения вала лопастей мешалки 3. Химические | 6 | 1. Планово-предупредительный ремонт 2. Применение предварительно обработанного продукта | 3 | 144 | 1. Своевременное обслуживание рабочих органов примешивающих устройств и его подшипниковых узлов. 2. Применение |

| | | | | | | | | | |
|---|-----------------------------------|---|---|---|---|-------------------------------------|---|-----|--|
| | | | | повреждения перемешивающих устройств. | | | | | магнитноупругих или газостатических подшипников. |
| 3 | Неисправность завихрителя потока | 1. Выход оборудования из строя 2. Потеря продукта. | 7 | 1. Механические повреждения завихрителя 2. Засорение сопла завихрителя | 4 | 1. Использование очищенных газов. | 4 | 112 | 1. Своевременное техническое обслуживание |
| 4 | Выход из строя системы управления | 1. Потери продукта 2. Остановка реактора | 9 | 1. Механические повреждения 2. Электрические повреждения | 3 | 1. Своевременный технический осмотр | 3 | 81 | 1. Настроить стабильное потребление электроэнергии. 2. Приобретение более качественного оборудования. |

Наиболее частые отказы возникают у перемешивающего устройства. Они возникают из за факторов представленных в таблице .

Следующим по значимости выступает завихритель газового потока, причины его отказа представлены в таблице .

3.1.3. Метод диаграмм Парето

С помощью метода диаграмм Парето можно определить наиболее существенные дефекты пиролизного агрегата. Диаграмма Парето является наиболее распространенной формой визуального представления данных. Этот метод используется для диагностики процесса, то есть для поиска нескольких существенных причин нарушения качества процесса среди многочисленных факторов [17].

Предполагается, что на данном этапе мы уже обладаем информацией о результатах всех предыдущих шагов по решению проблем:

- проблемы сформулированы,
- проблемы проанализированы,
- контрольные листы заполнены по проблемам.

Для построения диаграммы Парето необходимо разработать шаблон таблицы, содержащей следующие данные:

- типы (признаки) случаев, фактов (данные лучше всего располагать в убывающем порядке — в начале таблицы тип события, имеющий наибольшее количество повторений, в конце таблицы — наименьший);
- количество появлений (повторений) каждого типа;
- накопленная сумма числа каждого типа (с нарастающим итогом: к числу предыдущего типа прибавляется следующее);
- процент числа по каждому признаку в общей сумме;
- накопленный процент (с нарастающим итогом). В таблице следует подсчитать общую сумму количества случаев по всем типам (признакам).

Построим диаграмму Парето, представленную на рис. Расчеты, основанные на данных за последние 5 лет, представлены в таблице.

Таблица 8. Результаты регистрации данных по видам отказов.

| Причина отказа | Количество отказов | В процентах Числа отказы | Сумма неудач | Совокупный процент |
|---|--------------------|-----------------------------|--------------|--------------------|
| Химические повреждения перемешивающих устройств | 13 | 31 | 13 | 31 |
| Механические повреждения вала лопастей мешалки | 10 | 23,8 | 23 | 53,8 |
| Выход из строя подшипниковых узлов | 8 | 19 | 31 | 72,8 |
| Механические повреждения завихрителя | 6 | 13,3 | 37 | 85,5 |
| Засорение сопла завихрителя | 5 | 13 | 42 | 100 |

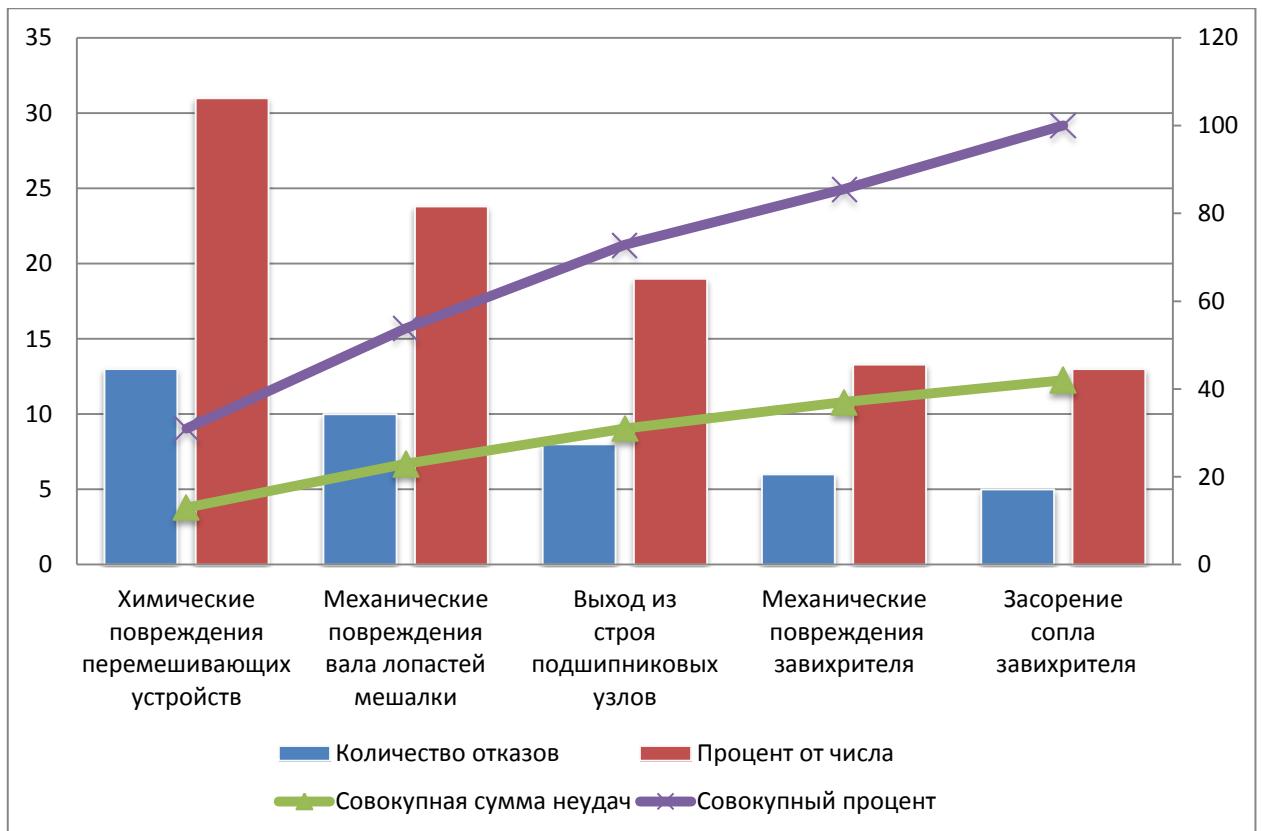


Рисунок 12.1. Диаграмма Парето

После построения диаграммы Парето мы применяем так называемый ABC-анализ. Мы разделяем компоненты, по которым проводится анализ, на три области: А, В, С. На группу А приходится 70-80% всех отказов, на группу В 10-25%, на группу С 5-10%. Таким образом, зона А включает в себя следующие дефекты: Разгерметизация стенок реактора, неисправность завихрителя потока и несоблюдение требований нормативных документов; зона В включает в себя неисправность нагревательных элементов; зона С – неисправность системы управления.[18]

Было выявлено следующее:

- Наиболее существенным фактором, влияющим на процесс пиролиза попутного газа, является фактор состояния технологического оборудования и компонентов реактора.
- Область "А" включает в себя причины отказов пиролизных установок, подлежащих ликвидации в первоочередном порядке.
- Для предотвращения причин сбоев необходимо выполнить следующие требования:

- своевременный осмотр оборудования ультразвуковой дефектоскопией с использованием дефектоскопа, а также датчиков, расположенных внутри корпуса с функцией температурной компенсации;
- проводить профилактический ремонт оборудования в соответствии с прогнозом остаточного ресурса путем экстраполяции на основе полученных данных.[19]

3.2 Разработка технологического реактора для переработки углеводородов

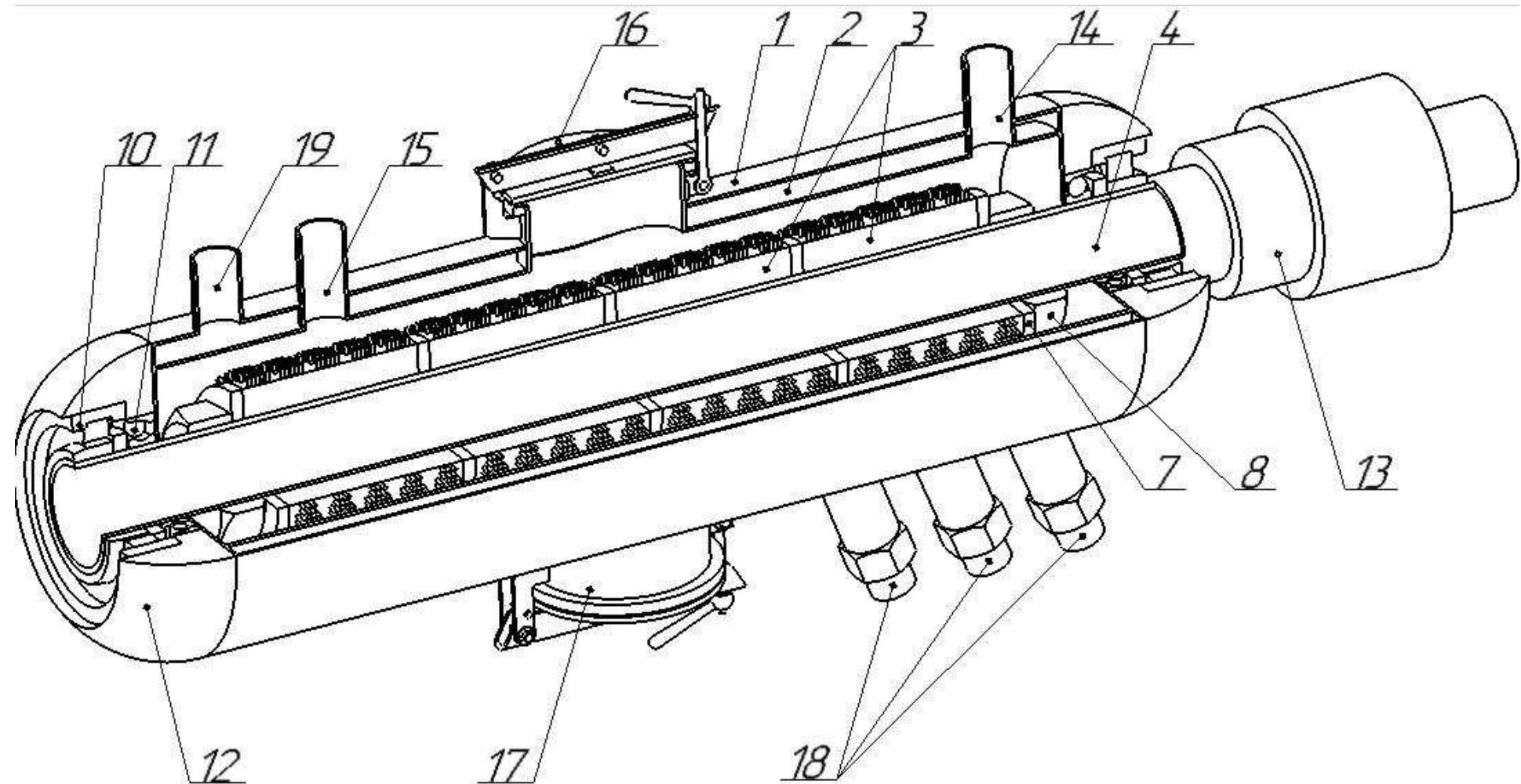


Рисунок 13. Перспективное изображение предлагаемого реактора

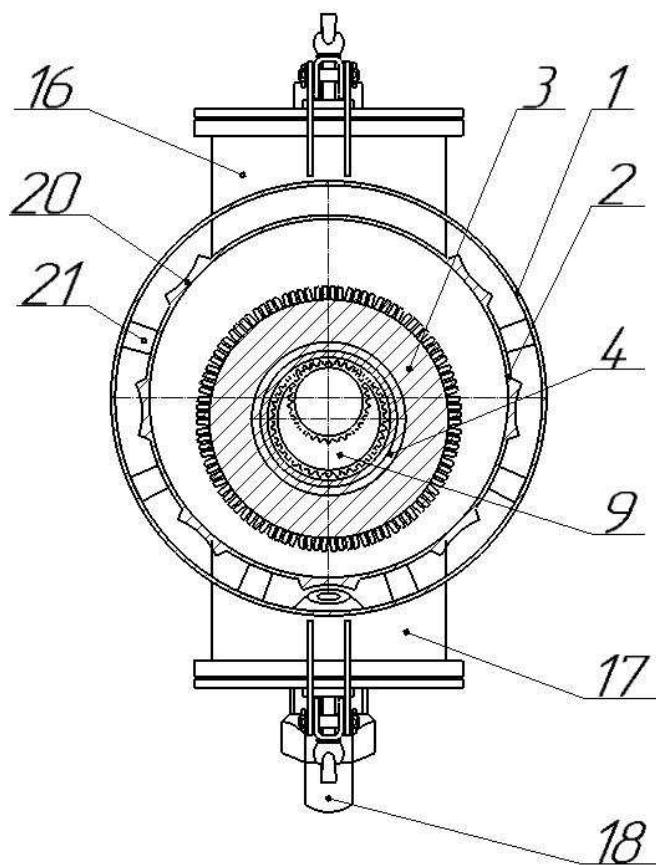


Рисунок 14. Поперечное сечение предлагаемого реактора

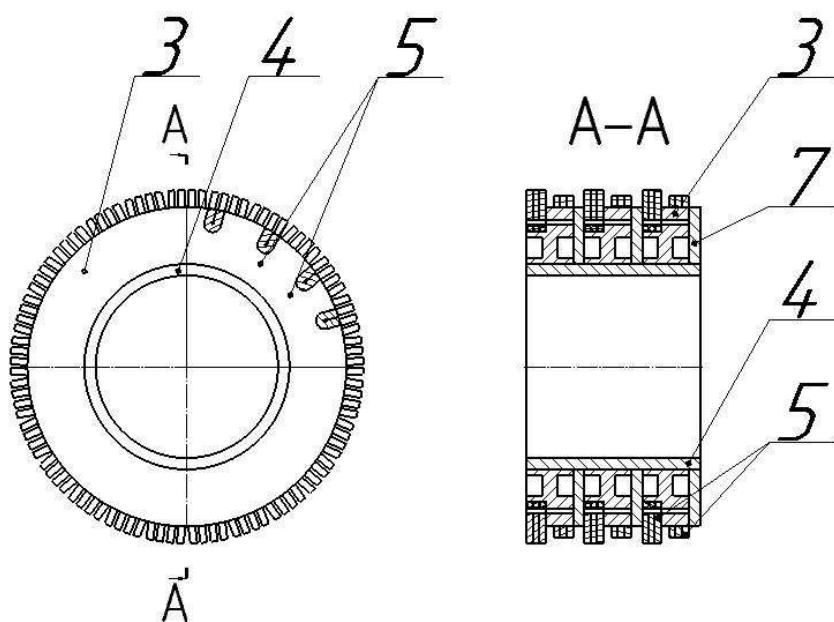


Рисунок 15. Способ установки перемешивающего ворса в барабане перемешивающего устройства.

Разработан технологический реактор для термохимической переработки углеводородов. Данная установка представляет собой горизонтальный реактор пиролиза, состоящего из корпуса, перемешивающего устройства, технологических отверстий и вспомогательного оборудования.

На рисунке 13 изображено перспективное изображение предлагаемого реактора; на рисунке 14 – поперечное сечение предлагаемого реактора; на рисунке 15 – способ установки перемешивающего ворса в барабане перемешивающего устройства.

Реактор для получения нановолокнистого углерода и водорода (рисунке 1-3), содержит внешний корпус 1, внутренний корпус 2, образуя между собой обогреваемую зону, барабаны перемешивающего устройства 3, установленные на полом валу 4, при этом в барабанах перемешивающего устройства установлен перекрывающий ворс 5, закрепленный с помощью штифтов 6, в свою очередь барабаны перемешивающего устройства закреплены на полом валу с помощью прижимных тарелок 7 и фиксационных зажимов 8, кроме того каждый барабан дополнительно снабжен планетарной передачей 9. Вал перемешивающего устройства установлен на магнитных 10 и упорных 11 подшипниках, которые установлены в боковых крышках 12, один из концов вала соединен с магнитной муфтой 13. К тому же, реактор содержит патрубки для ввода газа 14 и вывода прореагировавших газов 15, шлюзы для загрузки катализатора 16 и выгрузки наноматериала 17, завихрители газового потока 18, патрубок для вывода тепловых газов, интенсификаторы теплообмена 20 и лабиринтные крепления 21.

Работает реактор следующим образом:

Катализатор поступает через шлюз для загрузки катализатора 16 в необходимом количестве для работы реактора на один цикл, герметично закрывается. Сырье поступает через патрубки для ввода газа 14, распределяется по объему реактора. Часть сырья поступает для нагрева реактора. Тепловой газ отходит через патрубки 18. Вращение вала

примешивающего устройства 3 приводит к действию барабаны с планетарными передачами. После завершения цикла постепенно снижается подача тепла в реактор, а так же ограничивается подача сырья в реактор. Осуществляется подача азота для очистки остаточного содержания сырья. Открывается шлюз 17 для выгрузки получившегося продукта, нановолокнистого углерода, для дальнейшего очищения от катализатора. Шлюз 17 герметично закрывается и цикл повторяется.

3.3 Разработка принципиальной технологической схемы установки

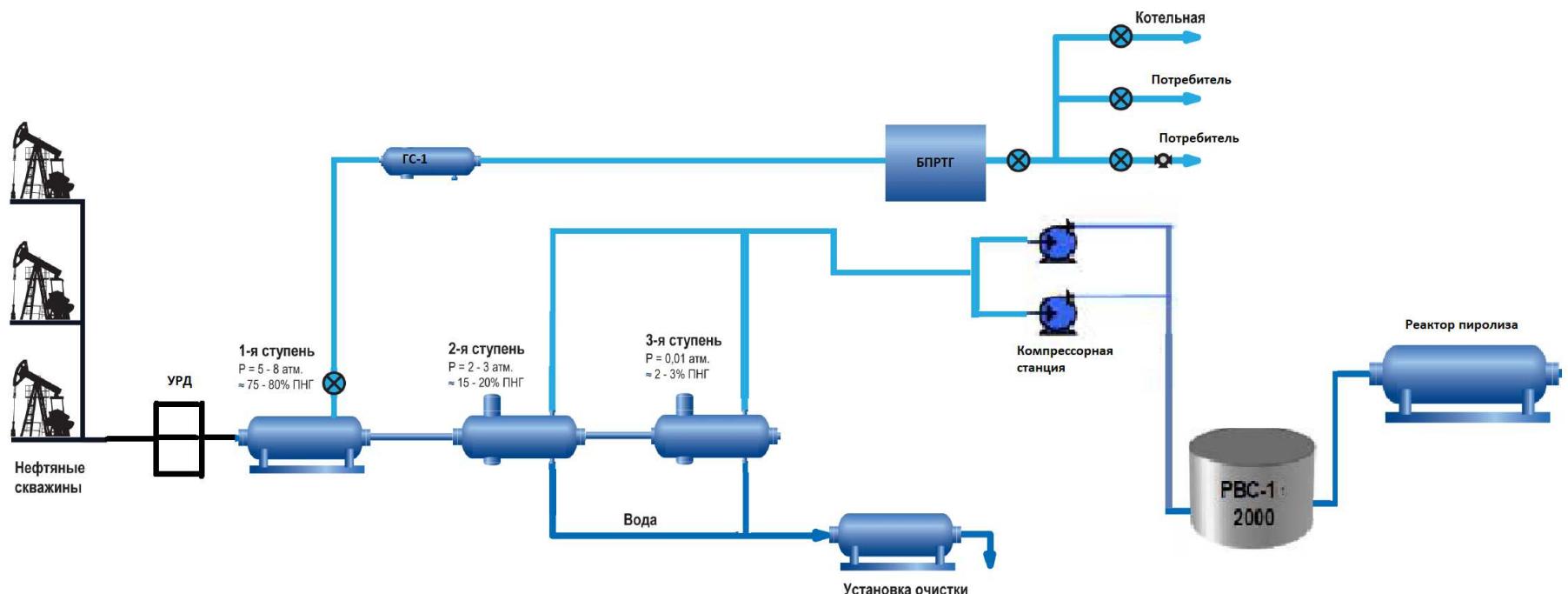


Рисунок 16. Схема протекания процесса подготовки нефти, газа.

Продукция нефтяных скважин через электрифицированные задвижки поступает на узел регулирования давления. Узел регулирования давления предназначен для регулирования избыточного давления до себя.

Далее эмульсия направляется в первую ступень сепарации, где происходит первичный отбор газа и разделении эмульсии на три фазы: газ, нефть, вода. Газ высокого давления направляется в блок подготовки и распределения газа. Данный газ используется для потребителей.

После первой ступени сепарации нефть отправляется во вторую ступень сепарации электродегидратор. В данном аппарате происходит разделение эмульсии с помощью электростатического напряжения. В нем на высоте чуть больше половины аппарата прикреплены два рамных прямоугольных электрода 8 один над другим. Питают их два трансформатора типа ОМ-66/35, имеющие мощность 5 кВА. Электроды расположены в 25-40 см друг от друга и занимают практически все продольное сечение электродегидратора.[20]

Сырьевая нефть равномерно подается в аппарат через горизонтальный маточник, который расположен вдоль аппарата. Сначала нефть поступает в слой отстоявшейся воды, потом попадает в зону под электродами и далее в пространство между электродами. Далее она перемещается в пространство над электродами и выше, направляясь к выходным коллекторам обработанной нефти, которые расположены в верхней части электродегидратора по всей длине. Контакт нефти с водой и деэмульгатором, который растворен в ней, помогает достичь более полного удаления солей и воды. Под воздействием слабого электрического поля, возникающего между поверхностью воды и нижним электродом, по пути нефти в межэлектродное пространство из нее выпадают крупные частицы воды. В сильное электрическое поле поступает нефть с более мелкими частичками воды, которым необходимо воздействие поля с большей напряженностью. Газ в свою очередь направляется через компрессорную станцию в РВС для хранения и дальнейшего использования.[21]

После электродегидратора обезвоженная нефть направляется в третью ступень сепарации, концевую сепарационную установку (КСУ), предназначен для окончательной дегазации нефти до требуемых значений давления насыщенных паров и очистки попутного газа. Сепараторы для КСУ представляют собой горизонтальные аппараты с внутренней пеногасящей перегородкой и каплеотбойным устройством, оснащенные патрубком входа нефтегазовой смеси, патрубком выхода газа, патрубком выхода нефти, дренажным штуцером и штуцерами под КИП и предохранительную арматуру, а также эксплуатационными люками-лазами. Газ низкого давления направляется в линию на ГКС, а далее в резервуар хранения.[22]

При данной технологической схеме, газ низкого давления используется как сырье для термохимического реактора.

3.4 Выбор и обоснование вспомогательного оборудования для реакторной установки

Для ведения режима с установленными параметрами необходимо оборудование с определенными параметрами.

Оборудование выбирается наиболее производительное (с оптимальной производительностью), обеспечивающее высокое качество продукции и эффективность производства, максимальную механизацию ручного труда.[23]

Немаловажным является устройство перекачки газа. В качестве данного устройства используется компрессор типа ЦНС (рисунок). Данный вид компрессора характеризуется следующими преимуществами:

- Горизонтальный разъем корпуса компрессора вместе со встроенными закладными деталями проточной части позволяет создавать сложные машины для сжатия пожароопасных газов (кислород) и газов, склонных к образованию различных отложений в проточной части.[24]
- Возможность обслуживания подшипников и уплотнений без разборки корпуса.
- Доступ к закладным деталям и ротору через верхнюю половину корпуса позволяет значительно снизить затраты на плановое техническое обслуживание компрессоров.
- Конструкция и материальное исполнение отвечают повышенным требованиям по сжатию пожароопасных газов.
- Многолетняя наработка в условиях эксплуатации обеспечивает высокую надежность и эффективность конструктивных элементов.
- Перед поставкой на объект компрессор проходит приемо-сдаточные испытания на стенде завода-изготовителя с подтверждением заявленных технических характеристик.



Рисунок 18. Центробежная компрессорная установка с горизонтальным разъемом корпуса.

Для временного хранения и стабилизации давления пиролизного газа перед его подачей в горелочные устройство необходимо предусмотреть наличие РВС (рисунок).[25]



Рисунок 19. Резервуар вертикальный стальной.

Регулировку перекрытия потока среды для разных режимов работы реактора обеспечивает запорная арматура с автоматическим приводом (рисунок), с возможностью включения и выключения дистанционно.[26]



Рисунок 20. - Запорная арматура

Для обеспечения контроля за процессами происходящими в предлагаемой установки необходимо наличие контролирующих устройств, в частности для контроля за следующими «минимальными» показателями:

- давлением (преобразователь давления ПД 100);
- температурой (преобразователь температуры МПТ - 01);
- расходом газа (расходомер типа ВИР).

Датчики для контроля за расходом газа, давлением и температурой показаны на рисунке 21.[26]



Рисунок 21. - Датчики для контроля за расходом газа давлением и температурой.

Заключение

В ходе выполнения выпускной работы были проанализированы существующие методы утилизации отходов нефтеперерабатывающих и нефтегазодобывающих производств, существующие способы и установки для утилизации углеводородов, а также разработана конструкция технологического реактора для термохимической переработки углеводородов.

Разработанная конструкция технологического реактора для термохимической переработки углеводородов характеризуется следующими показателями:

- высокой экологичностью за счет снижения выброса вредных веществ в атмосферу;
- экономичностью за счет получения альтернативных энергоносителей из отходов нефтяного производства;
- автономностью работы с самообеспечением тепловой энергией реактора пиролиза для осуществления процесса переработки отходов нефтепродуктов;
- возможностью применения на месте для подогрева товарной нефти за счет сжигания пиролизного газа;
- обеспечение непрерывности технологического процесса переработки отходов нефтепродуктов.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Жаров, О.А. Современные методы переработки нефтешламов / О.А. Жаров, В.Л. Лавров // Экология производства. – 2004. – №5. – С. 43–51.
2. Киреева, Н.А. Комплексное биотестирование для оценки загрязнения почв нефтью / Н.А. Киреева, М.Д. Бакаева, Е.М. Тарасенко // Экология и промышленность России. – 2004. – № 2. – С. 26–29.
3. Мазлова, Е.А. Проблемы утилизации нефтешламов и способы их переработки / Е.А. Мазлова, С.В. Мещеряков. – М.: Ноосфера, 2001. – 56 с.
4. Брондз, Б.И. Оборудование для комплексной переработки и утилизации нефтешламов НПЗ / Б.И. Брондз [и др.]. – М.: ЦНИИТЭ нефтехим, 1990. – 72 с.
5. Татосян, М.Л. Влияние загрязнения нефтью и нефтепродуктами на биологическую активность чернозёмов / М.Л. Татосян, С.Н. Бодня, С.И. Колесников // Экология и биология Юга России. Вып. II. – Ростов : ЦВВР, 2003.
6. Мониторинг загрязнения почв ксенобиотиками и адсорбционные методы детоксикации: материалы Всерос. науч. симпозиума. – Краснодар, 1993.
7. Габбасова, И.М. Окислительно-восстановительные свойства пойменных торфяно - болотных и лугово-зернистых почв / И.М. Габбасова, В.И. Савич // Водно - воздушный режим и химизм целинных и пахотных почв Башкирии : Сб. – Уфа : БФАН СССР, 1978.
8. Разработка мероприятий по переработке нефтешламов и очистки сточных вод предприятия [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://referatwork.ru/new/source/67367text-67367.html>
9. Трубицын Н.Б. Энергоэффективная установка газификации нефтяных остатков / Н.Б. Трубицын, С.В. Подольский // Экология и промышленность России, апрель 2014.

10. Золотарев Г.М. Утилизация углеродосодержащих отходов / Г.М. Золотарев // Пиролизные установки. Твердые бытовые отходы. – 2011. – №4.
11. Расстегаев А.Н. Исследование технологии безокислительного пиролиза для утилизации нефтесодержащих отходов / А.Н. Расстегаев // Естественные и математические науки в современном мире. – 2014. – №18.
12. Пат. 2574411 Российская Федерация, МПК C10G9/26, C10G1/00. Устройство для переработки нефтяных отходов / А. С. Градов, Е.С. Сусеков; заявитель и патентообладатель ООО «Экологическая топливно – энергетическая компания» (RU), А.В. Жуман (RU), А.С. Градов (RU), Е.С. Сусенков (RU). 2014136012/04; заявл. 03.09.2014; опубл. 10.02.2016
13. Пат. 2427760 Российская Федерация, МПК F23G5/00. Пиролизная установка / В.А. Трусов; заявитель и патентообладатель В.А. Трусов (RU). 2010108838/03; заявл. 09.03.2010; опубл. 27.08.2011
14. Пат. 2451039 Российская Федерация, МПК C08J11/00, F23G7/05, C10G9/08, C10G9/42. Устройство для переработки отходов нефти с высоким содержанием кислотосодержащих веществ и тяжелых парафинов в полезную продукцию / А.Е. Насонов; заявитель и патентообладатель А.Е. Насонов (RU). 2010154601/05; заявл. 30.12.2010; опубл. 10.06.2011
15. Пат. 2319074 Российская Федерация, МПК F23G5/00. Способ очистки нефтезагрязненных слоев грунта и установка для очистки нефтезагрязненных слоев грунта / В.А. Кокарев, Н.В. Виноградов; заявитель и патентообладатель В.А. Кокарев (RU), Н.В. Виноградов (RU). 2006106156/03; заявл. 20.09.2007; опубл. 10.03.2008
16. Пат. 2225573 Российская Федерация, МПК F23G5/027, F23G7/00. Установка для пиролиза углеводородных отходов / В.А. Глушков; заявитель и патентообладатель В.А. Глушков. 2002120394/032002120394/03; заявл. 29.07.2002; опубл. 10.03.2004
17. Нефтяной шлам [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://phas.ru/products.php?id=1>

18. Ахметов С.А. Технология и оборудование процессов переработки нефти и газа / С.А. Ахметов, Т.П. Сериков, И.Р. Кузеев, М.И. Баязитов // Учебное пособие. – СПб.: Недра, 2006. – 868 с.
19. Варгафтик Н.Б. Справочник по теплофизическим свойствам газов и жидкостей / Н.Б. Варгафтик // Справочник. – 2 – е изд., доп. и перераб. – М.: Наука, 1972. – 721 с.
20. Кашников С.П. Расчет котельных агрегатов в расчетах и задачах / С.П. Кашников, В.Н. Цыганков // Учебное пособие. – М.; Л.: Госэнергоиздат 1951. – 239 с.
21. Романков П.Г. Методы расчета процессов и аппаратов химической технологии (примеры и задачи) / П.Г. Романков, В.Ф. Фролов, О.М. Флисюк // Учебное пособие. – 3 – е изд., испр. – СПб.: ХИМИЗДАТ, 2010. – 544 с.
22. Доманский И.В. Машины и аппараты химических производств: примеры и задачи / И.В. Доманский [и др.] // Учебное пособие. – 2 – е изд. перераб. и доп. – СПб.: Политехника, 1992. – 327 с.
23. ГОСТ ССР 14249 – 89 Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность.
24. Иванец К.Я. Оборудование нефтеперерабатывающих заводов и его эксплуатация К.Я. Иванец, А.Н. Лейбо / Издательство – М.: Химия, 1966. – 344 с.
25. Авербух Б.А. Ремонт и монтаж бурового и нефтегазопромыслового оборудования / Б.А. Авербух Н.В, Калашников, Я.М. Кершенбаум, В.Н. Протасов // Учебное пособие. – М.: «Недра», 1976. – 368 с.
26. Ящура А.И. Система технического обслуживания и ремонта энергетического оборудования / А.И. Ящура // Справочник. – М.: Изд – во НЦ ЭНАС, 2006. – 504 с.
27. Владимиров А.И. Ремонт аппаратуры нефтегазопереработки и нефтехимии / А.И. Владимиров, В.И. Пермячкин // Учебное пособие. – М.: ГУП Издательство «Нефть и газ» РГУ нефти и газа им. И.М. Губкина, 2001. – 120 с.

28. ГОСТ Р 52630 – 2012 Сосуды и аппараты стальные сварные.
Общие технические условия.

ПРИЛОЖЕНИЕ А

Программа расчета устройства подготовки топливного газа

1. Конструкционный расчет

Объем загрузочной области состоит из трех составляющих, объема газа, объема мешалки и объема топочной камеры.

Объем загрузочной камеры занимаемый сырьем:

$$\frac{M_3}{V_{nh}} := \frac{—}{\rho} \quad V_{nh} = 1.019 \cdot m^3$$

Объем загрузочной камеры занимаемый шариками:

$$V_{zh} := V_{nh} \cdot 0.6 \quad V_{zh} = 0.612 \cdot m^3$$

Исходя из конструкторских соображений примем трубы стальные бесшовные горячедеформированные (согласно ГОСТ 8732-78):

$$r_t := 0.275m$$

Высота трубы соответствует высоте загрузочной камеры: Объем

$$D_t := 2 \cdot r_t = 0.55m \quad h_t :=$$

загрузочной камеры занимаемый радиантной камерой:

$$5m$$

$$V_{trubi} := \pi \cdot r_t^2 \cdot h_t$$

$$V_{trubi} = 1.188 \cdot \frac{3}{m}$$

Суммарный объем загрузочной камеры:

$$V_z := V_{nh} + V_{zh} + V_{trubi} \quad V_z = 2.819 \cdot \frac{3}{m}$$

Радиус загрузочной камеры:

$$h_z := h_t \quad r_z := \sqrt{\frac{V_z}{\pi \cdot h}} \quad r_z = 424 \text{ mm} \quad D_z := 2 \cdot r_z \quad D_z = 847 \cdot \text{mm}$$

Учитывая то, что разрабатываемый реактор состоит из 2 соосных неразъемных блока, каждый из которых вмещает вышевычесленный суммарный объем, а также учитывая буферезацию в размере 20%, произведем перерасчет:

$$V_{zk} := [(V_{nh} + V_{zh}) \cdot 1.2 \cdot 2] + V_{trubi} \quad V_{zk} = 5.102 \cdot \frac{3}{m}$$

$$r_{zk} := \sqrt{\frac{V_{zk}}{\pi \cdot h_z}} \quad r_{zk} = 570 \text{ mm} \quad D_{zk} := 2 \cdot r_{zk} \quad D_{zk} = 1.14 \times 10^3 \cdot \text{mm}$$

С учетом пространства для выхода пиролизного газа, имеем:

$$D_r := D_{zk} + 300 \cdot \text{mm} \quad D_r = 1.44 \times 10^3 \cdot \text{mm}$$

2. Расчет корпуса на прочность

Определим толщину стенки от нагрузки действующей со стороны насадки

Коэффициент бокового давления:

$$\zeta := \frac{1 - \sin(\varphi)}{1 + \sin(\varphi)} \quad \zeta = 0.589$$

Гидравлический радиус:

$$R := \frac{D_{zk}}{4} \quad R = 0.285 \cdot \text{m}$$

Определим коэффициент внешнего трения покоя (о стенки):

$$f_p := \tan(\varphi_p) \quad f_p = 0.577$$

Определим насыпную плотность материала по формуле:

$$p_n := p_m \cdot (1 - \varepsilon) \cdot (1 - \omega) \quad p_n = 4.399 \cdot 10^3 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

Для цилиндрических и призматических сосудов с вертикальными стенками вертикальное давление неподвижного слоя материала определяется по формуле:

$$h := 5 \text{m} \quad - \text{высота загрузочной камеры}$$

$$\frac{p_0 \cdot g \cdot R}{z} = \frac{\zeta \cdot f_p}{\sigma_z} \cdot \left(1 + \exp \left(\frac{-\zeta \cdot f_p \cdot z}{R} \right) \right)$$

$$\sigma_z = 3.607 \times 10^4 \text{ Pa}$$

Давление сыпучего материала на вертикальные боковые стенки определяется как:

$$\sigma_x := \zeta \cdot \sigma_z \quad \sigma_x = 2.124 \times 10^4 \text{ Pa}$$

$$\sigma_\alpha := \sigma_x \quad \sigma_\alpha = 2.124 \times 10^4 \text{ Pa}$$

$$r := \frac{D_{zk}}{2} \quad r = 0.57 \cdot m \quad \alpha := 90^\circ$$

Распирающие силы действующие на единицу длины образующей:

$$P_p := K_D \cdot 2 \cdot r \cdot \sigma_\alpha \cdot \sin(\alpha)$$

$$P_p = 2.381 \times 10^4 \text{ nPa}$$

Определим вес насадки

Определим массу загрузки насадки:

$$m_n := p_m \cdot (V_{zk} - V_{trubi}) \cdot \epsilon \quad m_n = 1.221 \times 10^4 \text{ kg}$$

$$F_{pov} := \frac{\pi \cdot D_{zk}^2}{4}$$

Отрывные силы действующие на единицу длины образующей:

$$P_O := \frac{m_n \cdot g \cdot \pi \cdot D_{zk}}{F_{pov}} P_O = 4.203 \times 10^5 \text{ mPa}$$

Эффективное усилие рассчитаем по формуле:

$$P_f := \sqrt{P_O^2 + P_p^2 - P_O \cdot P_p} \quad P_f = 4.089 \times 10^5 \text{ mPa}$$

Произведем расчет с условием, что не все занимаемое пространство занято насадкой (шариками), с учетом топочной камеры имеем:

Без учета топочной камеры:

$$\% := \frac{V_{trubi} \cdot 100}{V_{zk}} \quad \% = 23.3$$

Пересчитав эффективное усилие, имеем:

$$P_{fk} := \sqrt{P_O^2 + P_p^2 - P_O P_p} \cdot 0.76 \quad P_{fk} = 3.136 \times 10^5 \text{ m}\cdot\text{Pa}$$

Пересчитав массу загрузки, имеем:

$$m_{nk} := [p_m \cdot (V_{zk} - V_{trubi})] \cdot 0.767 \cdot \varepsilon \quad m_{nk} = 9.367 \times 10^3 \text{ kg}$$

Допускаемое напряжение $[\sigma]$ при расчете по предельным нагрузкам определится как:

$$[\sigma] := \eta \cdot \frac{R_{p0.2}}{n_T} \quad [\sigma] = 1.767 \times 10^8 \text{ Pa}$$

Минимальная толщина стенки с учетом нагрузки от насадки определится как:

$$S_{p1} := \frac{P_{fk}}{[\sigma] \cdot \pi \cdot D_{zk}} \quad S_{p1} = 4.957 \times 10^{-4}$$

$$S_{p1k} := 1.646 \cdot \text{mm}$$

Рассчитаем толщину стенки топочной камеры:

$$S_{pt} := \frac{p \cdot D_t}{2 \cdot [\sigma] \cdot \varphi - p} \quad S_{pt} = 0.519 \cdot \text{mm}$$

Толщины стенки недостаточно для восприятия данной нагрузки, имеем:

$$S_1 \geq S + C$$

$$S_T := S_{p1k} + C \quad S_T = 2.646 \cdot \text{mm}$$

Принимаем толщину стенки равной 3 mm

Рассчитаем толщину стенки загрузочной области:

$$S_{pz} := \frac{p \cdot D_{zk}}{2 \cdot [\sigma] \cdot \varphi - p} \quad S_{pz} = 1.076 \cdot \text{mm}$$

Толщины стенки недостаточно для восприятия данной нагрузки, поэтому:

$$S_Z := S_{p1k} + C \quad S_Z = 2.646 \cdot \text{mm}$$

Принимаем толщину стенки равной 3 mm

Рассчитаем толщину стенки реактора:

$$S_{pp} := \frac{p \cdot D_r}{2 \cdot [\sigma] \cdot \varphi - p} \quad S_{pp} = 1.36 \cdot \text{mm}$$

$$S_p := S_{pp} + C \quad S_p = 2.36 \cdot \text{mm}$$

Принимаем толщину стенки 2,5 mm Определим

толщину стенки жаровых труб:

$$L := 253 \cdot \text{mm} \quad \text{--- длина жаровых труб}$$

$$D_v := 35 \cdot \text{mm} \quad \text{--- внутренний диаметр жаровых труб}$$

$$S_j := \frac{\frac{3l}{2400} \cdot D_v}{1 + \sqrt{1 + \frac{45 \cdot l}{3 \cdot l \cdot (L + D)}}} + 2 \cdot \text{mm} \quad S_j = 2.213 \cdot \text{mm}$$

Принимаем толщину стенки жаровых труб равной 2,5 mm

Произведем расчет крышек реактора, для удобства эксплуатации будем использовать крышки неразъемные

Значение коэффициента ослабления для днищ и крышек имеющих несколько отверстий определим как:

Для нижней крышки:

$$K_{0i} = \frac{\sqrt{\frac{1 - \sum \left(\frac{d_i}{D_p} \right)}{\sum d_i}}}{d_i} \quad D_p := 1578 \cdot \text{mm} \quad \begin{aligned} & \text{--- диаметр отверстий в крышке} \\ & \text{--- диаметр болтовой окружности} \end{aligned}$$

$$K_{0n} := \frac{\sqrt{\frac{1 - \left[\left(16 \cdot \left(\frac{16 \cdot \text{mm}}{D_p} \right) \right) + \left(2 \cdot \left(\frac{150 \cdot \text{mm}}{D_p} \right) \right) \right]^3}{1 - (16 \cdot 16 \cdot \text{mm}) + (2 \cdot 150 \cdot \text{mm})}}}{K_{0n} = 1.215}$$

$$s_{1n} := 0.4 \cdot K_{0n} \cdot D_p \cdot \sqrt{\frac{p}{V_n \cdot [c\pi]}} \quad s_{1n} = 33.315 \cdot \text{mm} \quad s_n =$$

$$s_n := s_{1n} + C \quad 34.315 \cdot \text{mm}$$

Принимаем толщину крышки равной 35 mm

$$D_2 := 1420 \cdot \text{mm} \quad - \text{наименьший диаметр наружной утоненной части крышки}$$

$$s_{2n} := s_{1n} \cdot \sqrt{\frac{D_p - D_2}{V_n \cdot [c\pi]}} \quad s_{2n} = 14.909 \cdot \text{mm}$$

Принимаем толщину равной 15 mm Для

верхней крышки:

$$K_{0v} := \sqrt{\frac{1 - \left[30 \cdot \left(\frac{40 \cdot \text{mm}}{D_p} \right) \right]^3}{1 - (30 \cdot 40 \cdot \text{mm})}} \quad K_{0v} = 1.529$$

$$s_{1v} := 0.4 \cdot K_{0v} \cdot D_p \cdot \sqrt{\frac{p}{V_v \cdot [c\pi]}} \quad s_{1v} = 41.93 \cdot \text{mm}$$

$$s_v := s_{1v} + C \quad s_v = 42.93 \cdot \text{mm}$$

Принимаем толщину крышки равной 43 mm

$$s_{2v} := s_{1v} \cdot \sqrt{\frac{D_p - D_2}{V_v \cdot [c\pi]}} \quad s_{2v} = 18.763 \cdot \text{mm}$$

Принимаем толщину равной 19 mm

3. Термический расчет установки

Количество тепла для нагрева нефтешлама определится как:

$$Q_{nag} := M_3 \cdot C_{ph} \cdot (T_{nh2} - T_{nh1}) \quad Q_{nag} = 1.007 \times 10^9 \text{J}$$

Количество тепла необходимое для разрыва связи С-С :

$$Q_{\text{reak}} := \frac{\Delta H \cdot M_3}{M_{\text{CxHy}}} \quad Q_{\text{reak}} = 1.782 \times 10^6 \text{ J}$$

Определим общее количество тепла подаваемого в реактор, для начала процесса пиролиза:

$$Q_{n1} := \left[(Q_{\text{nag}} + Q_{\text{reak}}) \cdot 1.2 \right] \cdot \frac{1}{\tau} \quad Q_{n1} = 1.009 \times 10^6 \text{ W}$$

Определим приведенную степень черноты для определения коэффициента теплопередачи лучеиспытанием:

$$\varepsilon_{\text{pr}} := \frac{1}{\left(\frac{1}{\varepsilon_f} + \frac{1}{\varepsilon_v} - 1 \right)} \quad \varepsilon_{\text{pr}} = 0.526$$

Для определения коэффициента теплопередачи необходимо найти коэффициент теплоотдачи лучеиспусканием, имеем:

$$\alpha_L := \frac{\left[\left(\frac{T_f}{T_{sv}} \right)^4 - \left(\frac{T_{sv}}{T_f} \right)^4 \right]}{\frac{\alpha_{ch} \cdot \varepsilon_{\text{pr}}}{100} \left(\frac{100}{T_f - T_{sv}} \right)^2} \quad \alpha = 185.417 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$$

Определим коэффициент теплопередачи:

$$\lambda_{sl} := \lambda_{st} \cdot 0.6 + \lambda_{nh} \cdot 0.4 \quad \lambda_{sl} = 11.928 \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}}$$

$S_{tr} := 2.5 \cdot mm$ $S_{sl} :=$ - толщина стенки жаровых труб

$295 \cdot mm$ - толщина слоя из насадки и нефтешлама

$$k := \frac{1}{\frac{1}{\alpha_L} + \frac{S_{tr}}{\lambda_{st}} + \frac{S_{sl}}{\lambda_{nh}}} \quad k = 33.057 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}}$$

Тогда площадь теплопередающей поверхности определится как:

$$F_{TO} := \frac{Q_{n1} k \cdot (T_{nh2} - T_{nh1})}{57.579 m^2} \quad F_{TO} = 57.579 m^2$$

$$q := 17.52 \frac{\text{kW}}{\text{m}^2} \quad F_{TO1} := \frac{Q_{n1}}{q} F_{TO1} = 57.579 m^2$$

Средняя теплота сгорания пиролизного газа определим из условия, что он состоит из нескольких газов, для каждого из которых характерна своя теплота сгорания.

Теплота сгорания (по справочным данным):

$$Q_{vm} := 23335 \cdot \frac{10^3 \cdot J}{m^3} \%_{vm} := 17.7 \quad - \text{водород - метановая фракция}$$

$$Q_e := 146200 \cdot \frac{10^3 \cdot J}{m^3} \%_e := 25.5 \quad - \text{этилен}$$

$$Q_{pr} := 85980 \cdot Q_p := 91300 \cdot \frac{10^3 \cdot J}{m^3} \%_{pr} := 16.2 \quad - \text{пропилен}$$

$$\frac{10^3 \cdot J}{m^3} \%_p := 1 \quad - \text{пропан}$$

$$Q_{bb} := 116050 \cdot \frac{10^3 \cdot J}{m^3} \%_{bb} := 12.2 \quad - \text{бутан - бутилен}$$

$$Q_{pb} := 46000 \cdot \frac{10^3 \cdot J}{m^3} \%_{pb} := 19.9 \quad - \text{пиробензин}$$

Определим среднюю теплоту сгорания :

$$Q_{pg} := \frac{(Q_{vm} \%_{vm} + Q_e \%_e + Q_{pr} \%_{pr} + Q_p \%_p + Q_{bb} \%_{bb} + Q_{pb} \%_{pb})}{100} = 7.957 \cdot \frac{J}{m^3}$$

Количество пиролизного газа, необходимого для выработки требуемого количества тепла:

$$Q_{n1} \\ G_{g1} := \frac{1}{Q_{pg}} \cdot \frac{3}{G_{g1}} = 45.643 \frac{m^3}{hr}$$

С учетом работы двух блоков:

$$G_{gk} := G_{g1} \cdot 2 = 91.287 \frac{m^3}{hr}$$

Рассчитаем производительность теплообменника:

$$G_{g2} := 602.7 \frac{m^3}{hr} \quad - \text{количество оставшегося пирогаза}$$

$$G_T := C \cdot \frac{1.1 \cdot (Q_{pg} \cdot G_{g2})}{\left(\frac{T_n2 - T_n1}{C} \right)} \frac{\text{tonne}}{hr} = 461.095 \frac{\text{tonne}}{hr}$$

ПРИЛОЖЕНИЕ Б

Графические материалы

Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Институт нефти и газа

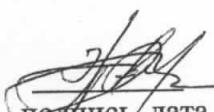
Кафедра технологических машин и оборудования нефтегазового комплекса

УТВЕРЖДАЮ
Руководитель магистерской
программы
 Э. А. Петровский
подпись инициалы, фамилия
« 21 » 06 2021 г.

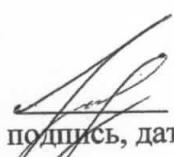
МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

15.04.02 «Надежность технологических машин и оборудования
нефтегазового комплекса»

Технологический реактор для термохимической переработки углеводородов

Руководитель  д.т.н., профессор Э. А. Петровский
подпись, дата должность, ученая степень инициалы, фамилия

Выпускник


подпись, дата

А. Ю. Михайлов
инициалы, фамилия

Рецензент


подпись, дата д.т.н., профессор Р. Т. Емельянов
должность, ученая степень инициалы, фамилия

Красноярск 2021