

федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования

«Тольяттинский государственный университет»

ИНСТИТУТ ХИМИИ И ИНЖЕНЕРНОЙ ЭКОЛОГИИ

Кафедра «Рациональное природопользование и ресурсосбережение»

УТВЕРЖДАЮ

Зав. кафедрой «РПиР»

_____ М.В.Кравцова

(подпись)

(И.О. Фамилия)

« ____ » _____ 20 ____ г.

ЗАДАНИЕ

на бакалаврскую работу

Студент: Бурдин Евгений Сергеевич

1. Тема: Модернизация процесса очистки конвертированного газа от CO₂ на примере цеха 01А ОАО «Тольяттиазот».
2. Срок сдачи студентом законченной выпускной квалификационной работы:
02.06.2016
3. Исходные данные к выпускной квалификационной работе:
Технологический регламент цеха 01А.
4. Содержание выпускной квалификационной работы:
 - 4.1 Анализ основных проблем по повышению качества производительности и улучшения экологии. на ОАО «Тольяттиазот».
 - 4.2 Исследование технологического процесса и модернизация отделения очистки газа от CO₂ ОАО «Тольяттиазот».
 - 4.3 Экологичность и эффективность работы.
5. Дата выдачи задания «16» марта 2016 года

Руководитель бакалаврской работы

В.С. Гончаров

_____ (подпись)

_____ (И.О. Фамилия)

Задание принял к исполнению

_____ (подпись)

Е.С. Бурдин

_____ (И.О. Фамилия)

федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования

«Тольяттинский государственный университет»

ИНСТИТУТ ХИМИИ И ИНЖЕНЕРНОЙ ЭКОЛОГИИ

Кафедра «Рациональное природопользование и ресурсосбережение»

УТВЕРЖДАЮ

Зав. кафедрой «РПиР»

_____ М.В.Кравцова

(подпись) (И.О. Фамилия)

« _____ » _____ 20__ г.

КАЛЕНДАРНЫЙ ПЛАН

бакалаврской работы

Студента: Бурдин Евгений Сергеевич

по теме: Модернизация процесса очистки конвертированного газа от CO₂ на примере цеха 01А ОАО «Тольяттиазот»

Наименование раздела работы	Плановый срок выполнения раздела	Фактический срок выполнения раздела	Отметка о выполнении	Подпись руководителя
Введение	16.03.2016			
Анализ основных проблем по повышению качества производительности и улучшения экологии. на ОАО «Тольяттиазот»	25.03.2015			
Исследование технологического процесса и модернизация отделения очистки газа от CO ₂ ОАО «Тольяттиазот»	10.04.2016			
Экологичность и эффективность работы	24.05.2016			
Заключение	01.06.2016			

Руководитель бакалаврской работы

В.С. Гончаров

_____ (подпись)

_____ (И.О. Фамилия)

Задание принял к исполнению

Е.С. Бурдин

_____ (подпись)

_____ (И.О. Фамилия)

АННОТАЦИЯ

Бакалаврскую работу выполнил: Бурдин Е.С.

Тема работы: Модернизация процесса очистки конвертированного газа от CO_2 на примере цеха 01А ОАО «Тольяттиазот».

Научный руководитель: Гончаров В.С.

Цель бакалаврской работы – повышение эффективности технологии очистки конвертированного газа от CO_2

Цель достигается путем решения следующих задач:

1. Провести анализ существующей технологии отделения очистки конвертированного газа от CO_2

2. Определить оптимальные варианты технологического и аппаратного оформления процесса.

3. Провести расчет основных элементов оборудования, подтверждающий возможность модернизации.

Краткие выводы по бакалаврской работе: В работе было проанализировано состояние отделения очистки от CO_2 агрегата синтеза аммиака ОАО «Тольяттиазот», и разработано технологическое решение по её совершенствованию.

Бакалаврская работа состоит из введения, трех глав, заключения, списка использованных источников.

Во введении обосновывается актуальность проводимого исследования, описывается цель, задачи, объект и предмет исследования. В первой главе проанализированы варианты технологических решений очистки конвертированного газа от CO_2 на агрегате синтеза аммиака. Во второй главе разработано технологическое решение по совершенствованию технологии очистки конвертированного газа от CO_2 на агрегате синтеза аммиака 01А ОАО «Тольяттиазот». В третьей главе рассмотрены аспекты экологичности предлагаемых технологических решений.

Структура и объем работы. Работа состоит из введения, 3 глав, заключения, списка литературы из 60 источников. Общий объем работы, без приложений 53 страницы машинописного текста, в том числе таблиц -4, рисунков – 5,графической части - 6 листов

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	7
ГЛАВА 1. АНАЛИЗ СУЩЕСТВУЮЩИХ МЕТОДОВ ПРОИЗВОДСТВА АММИАКА.....	9
1.1 Физико-химические свойства и применение аммиака.....	9
1.2 Общая характеристика производства аммиака.....	10
1.3 Аналитический обзор методов очистки конвертированного газа от CO ₂	12
1.3.1 Водная очистка газов от CO ₂ под давлением.....	13
1.3.2 Щелочная очистка газа от CO ₂	15
1.3.3 Очистка газа от CO ₂ методом низкотемпературной абсорбции метанолом	17
1.3.4 Очистка газа растворами этаноламинов.....	17
ГЛАВА 2. РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ МОДЕРНИЗАЦИИ СИСТЕМЫ ОЧИСТКИ КОНВЕРТИРОВАННОГО ГАЗА ОТ CO ₂	23
2.1 Описание технологической схемы.....	23
2.3 Модернизированный процесс очистки от CO ₂ конвертированного газа поташным раствором по методу «Бенфилд»	28
2.4 Конструктивный расчет сепаратора.....	33
2.5 Прочностные расчеты основного оборудования	34
ГЛАВА 3. АНАЛИЗ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОЕКТА .	46
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	48
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ	49

ВВЕДЕНИЕ

Применение соединений азота в качестве удобрений определяет их решающее значение для сельского хозяйства, следовательно, и для жизни человека в целом. Без минеральных удобрений, и в первую очередь азотных, невозможно решить задачи интенсификации сельского хозяйства, а с ростом интенсивности сельского хозяйства растет дефицит в связанном азоте в обрабатываемых почвах [12,35].

Продуктом производства является синтетический аммиак. Синтетический аммиак является сырьем для получения азотной кислоты. При взаимодействии аммиака с углекислым газом под давлением получается высококонцентрированное удобрение - синтетический карбамид. С азотной кислотой аммиак образует очень ценное удобрение аммиачную селитру. Аммиак применяется в медицине, холодильной технике и в качестве удобрения [3].

Технология синтеза аммиака многостадийна, энергозатратна и как следствие имеет большой потенциал для модернизации и совершенствования. Модернизация отдельных стадий и аппаратов может привести к снижению экономических затрат и повышению экологической эффективности производства [42].

Важной стадией технологического процесса синтеза аммиака является стадия очистки конвертированного газа от CO_2 поташным раствором по методу «Бенфилд». Модернизация процесса может быть выполнена путем реконструкции регенератора с целью разделением потока CO_2 . Для этого необходимо установить второй сепаратор, после изменения газы десорбции будут выводиться из регенератора двумя потоками: «чистая» и «грязная» фракции [51,8].

«Чистая» фракция составляет около 85% от общего количества CO_2 и поступает к потребителю, а «грязная» фракция с содержанием горючих до 5% выводится из верхней части регенератора, охлаждается в воздушном

холодильнике и поступает во вновь установленный сепаратор для отделения конденсата и через клапан поступает на выхлоп в атмосферу.

Эта модернизация приведет к тому, что:

- 1) Будет получена прибыль от сбыта диоксида углерода
- 2) Конвертированный газ будет содержать меньше CO_2
- 3) Уменьшится коррозия аппаратуры
- 4) Уменьшится концентрация вводимых реагентов
- 5) Процесс абсорбции будет протекать качественнее

Очистка газов в химической промышленности до сих пор является сложной и актуальной проблемой, имеющей ряд аспектов. Технологические аспекты, заключающиеся в переходе химических производств к новым способам и системам газоочистки, основанным на последних достижениях мировой науки и техники, модернизации малоэффективных установок разделения газов, создании высокоэффективной аппаратуры и схем удаления газообразных и аэрозольных примесей из газовых потоков, унификации и стандартизации газоочистного оборудования и т. д.

Экологические аспекты заключаются в снижении до санитарных норм удельных выбросов загрязняющих вредных веществ в атмосферу; ликвидации залповых выбросов вредных веществ, связанных с обслуживанием и авариями оборудования; создании замкнутых газоздушных систем и безотходных технологий и т. д.

Цель бакалаврской работы – повышение эффективности технологии очистки конвертированного газа от CO_2 .

Цель достигается путем решения следующих задач:

1. Провести анализ существующей технологии отделения очистки конвертированного газа от CO_2
2. Определить оптимальные варианты технологического и аппаратурного оформления процесса.
3. Провести расчет основных элементов оборудования, подтверждающий возможность модернизации.

ГЛАВА 1. АНАЛИЗ СУЩЕСТВУЮЩИХ МЕТОДОВ ПРОИЗВОДСТВА АММИАКА

1.1 Физико-химические свойства и применение аммиака

Огромные количества аммиака используются в химической промышленности для получения азотной кислоты и аммиачной селитры. Широкое применение имеют и аммонийные соли. Жидкий аммиак применяют в качестве теплоносителя в промышленных холодильных машинах (хладагент R717) [39].

Газообразный аммиак легко растворим в воде; при охлаждении до -40°C и обычном давлении или при давлении в 7 атмосфер при комнатной температуре аммиак сгущается в жидкость.

Обычно готовят насыщенный водный раствор аммиака, который содержит около 33% NH_3 , в этом растворе в небольшом количестве содержится и легко диссоциирующий гидроксид аммония ($\text{NH}_4\text{OH} = \text{NH}_3 + \text{H}_2\text{O}$), при нагревании водного раствора до кипения из него улетучивается весь аммиак.

Безводный аммиак представляет собой слабую кислоту, водных растворах он обладает щелочными свойствами, образуя с кислотами аммонийные соли, например хлорид аммония (нашатырь):

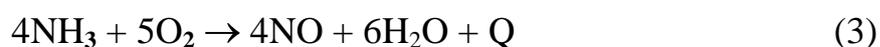


В воздухе горит плохо.

В присутствии кислорода горение происходит по реакции:



При окислении в присутствии катализатора образуются окислы азота и вода по реакции:



Аммиак хорошо растворяется в воде, образуя гидроксид аммония:



В результате исследований коррозионной стойкости сталей в среде

жидкого аммиака установлены следующие закономерности:

- К примесям, способствующим развитию процесса коррозионного растрескивания, относятся воздух и смесь углекислого газа и кислорода.

Аммиак, не содержащий этих примесей, коррозионного растрескивания сталей не вызывает независимо от наличия или отсутствия в нем воды.

- Углекислый газ и кислород в отдельности не способны вызывать коррозионное растрескивание сталей. Опасно лишь их совместное присутствие.

- Вода является эффективным ингибитором коррозии. Ингибирующее действие воды проявляется при концентрации ее в жидком аммиаке 0,1% вес. Аммиак содержащий менее 0,1% вес воды способен вызывать коррозионное растрескивание стали при наличии в аммиаке смеси CO_2 и O_2 [5].

В производстве аммиака агрегатов фирмы «Кемико» при нормальной эксплуатации не должны содержаться смесь примесей CO_2 и O_2 . Попадание воздуха или смеси CO_2 и O_2 в жидкий аммиак возможно при наличии неплотностей в аппаратах и трубопроводах, уменьшении давления в аппаратах, работающих при небольшом избыточном давлении (расширительные сосуды холодильных установок на $t = -34^\circ \text{C}$, $P < 0,02 \text{ кгс/см}^2$) [40].

Жидкий аммиак воздействует с медью, алюминием, цинком и их сплавами, особенно в присутствии воды; растворяет обычную резину.

Стали, у которых температура перехода из пластической зоны в хрупкую выше температуры хранения аммиака, могут подвергаться хрупкому разрушению при наличии концентрации напряжения.

1.2 Общая характеристика производства аммиака

ОАО «Тольяттиазот» является крупнейший в мире производитель аммиака, признанный лидер отрасли в стране и за рубежом. Основной вид деятельности — выпуск минеральных удобрений: аммиака, карбамида и КФК.

Проектная мощность производства аммиака составляет 450 тыс.т/год - 1360 т/сутки после проведения реконструкции по 2-ому этапу по проекту фирмы «Аммония Казале».

Фактическая мощность за 2013 год агрегат 01А - 435000 тыс. тонн (данные за 2013 г.). Проектировщик технологической части и строительной части проекта - фирма «Кемико», США. Проекты компрессии азота и подвода этого газа к аммиачному производству разработаны Тольяттинским филиалом ГИАП. Проект по приему и транспортировке производимого аммиака и сбора аммиачной воды на время пуска выполнен Новомосковским филиалом ГИАП на основании техдокументации по складу аммиака, закупленного у фирмы СМР (Франция) [14].

Для каждого производства, состоящего из двух агрегатов аммиака, фирмой предусмотрен один отдельно расположенный энергетический блок, состоящий из трех вспомогательных котлов и одной установки деминерализованной воды.

Исходным сырьем для производства аммиака является природный газ.

Основными стадиями производства являются:

- сжатие природного газа до давления не более 43 кгс/см²;
- очистка природного газа от сернистых соединений;
- паровая каталитическая конверсия метана в трубчатой печи;
- паровоздушная конверсия остаточного метана в шахтном конверторе;
- двухступенчатая конверсия окиси углерода на среднетемпературном и низкотемпературном катализаторах;
- очистка газа от СО₂ поташным раствором по методу Бенфилд;
- тонкая очистка азотоводородной смеси от окиси и двуокиси углерода путем их гидрирования;
- сжатие очищенной азотоводородной смеси до давления не более 280 кгс/см²;
- синтез аммиака при давлении не более 280 кгс/см².

Для получения продукционного аммиака в жидком виде предусмотрена аммиачная холодильная установка.

Для сжигания газов, содержащих вредные и горючие компоненты, выбрасываемых из агрегата в пусковой период, при ремонтах и нарушениях технологического режима, предусмотрена специальная факельная установка.

Для охлаждения технологических потоков и конденсации пара турбин, применено воздушное охлаждение.

Все оборудование для производства аммиака принято в одной технологической нитке. Основное оборудование (реакторы, компрессоры и др.) установлено без резерва и рассчитано на непрерывную работу в течение года (331 день). Технологические процессы полностью автоматизированы. Управление агрегата сосредоточено в одном центральном пункте управления.

Компоновка оборудования решена с максимальным выносом аппаратов вне здания. В здании располагаются только компрессоры, насосы расположены в насосной закрытого типа.

Продукция производства - аммиак, выдается на склад аммиака в жидком виде [45].

1.3 Аналитический обзор методов очистки конвертированного газа от CO₂

Диоксид углерода (CO, CO₂,) - это кислотный оксид, способный в небольшом количестве растворяться в воде и взаимодействующий со щелочами, растворами солей, обладающие щелочными свойствами, карбонатами натрия и калия, органическими соединениями, которые содержат гидроксильные группы (этанола) и при пониженной температуре и повышенном давлении растворяются в спиртах (ацетоне, метаноле и других органических растворителях).

В углеводородном конвертированном газе содержатся балластные и вредные вещества, которые могут погубить катализаторы, подвергнуть к

коррозии и засорению аппаратуры. Для выделения этих примесей углеводородные газы проходят процесс очистки. В процессе производства синтетического аммиака газы очищаются от сернистых соединений, CO_2 и CO . Различают три вида степени очистки: грубую, среднюю и тонкую. Для лучшего достижения требуемой очистки, особенно высокой степени, обычно применяется несколько последовательных ступеней очистки, на каждой ступени создаются наиболее результативные и экономичные условия работы [24].

В природном и конвертированном газе присутствует двуокись углерода. В конвертированном газе содержание CO_2 высокое, оно составляет в зависимости от исходного сырья и метода конверсии 20 -30 % объёмных.

Существует несколько способов очистки газа от двуокиси углерода, которые применяются в производстве:

- Водная очистка газов от CO_2 под давлением.
- Щелочная очистка газа от CO_2 .
- Очистка газа от CO_2 методом низкотемпературной абсорбции метанолом.
- Очистка газа растворами моноэтаноламина и диэтаноламина.
- Очистка конвертированного газа горячим раствором поташа по методу «Бенфилд».

1.3.1 Водная очистка газов от CO_2 под давлением

В данном способе очистка газа основана на различной растворимости в воде двуокиси углерода. Растворимость двуокиси углеродов при невысоких парциальных давлениях в воде невелика, но с повышением давления она увеличивается. Растворенная двуокись углерода при дальнейшем уменьшении давления выделяется из раствора. При высоком содержании двуокиси углерода в газе водная очистка газа под давлением весьма эффективна. Этот способ позволяет многократно использовать оборотную воду и отличается простотой очистки. С растворением двуокиси углерода в

воде растворяются одновременно и другие компоненты конвертированного газа: азот, окись углерода, водород, сернистые соединения. Соотношение между концентрацией газа, растворённого в жидкости, и его равновесным парциальным давлением p над поверхностью жидкости описывается законом Генри:

$$p = m_{px}x, \quad (5)$$

где x - мольная доля компонента в жидкой фазе; m_{px} - коэффициент (константа) Генри, изменяющийся при изменении температуры (размерность его та же, что и p).

Для расчёта растворимости CO_2 в воде под давлением применяется эмпирическое уравнение Я. Д. Зельвенского:

$$m_{px} = 1245 abP \quad (6)$$

где m_{px} - константа фазового равновесия, бар; p - парциальное давление CO_2 в газовой смеси, бар; a и b - постоянные, зависящие от температуры, значения которых приведены ниже:

Таблица 1 - Значения a, b зависящие от температуры

$T, ^\circ C$	0	25	50
a	1,84	0,775	0,425
b	0,0265	0,00428	0,00159

Увеличение коэффициента Генри (константы фазового равновесия) при изменении температуры свидетельствует об уменьшении растворимости двуокиси углерода в этих условиях. Растворимость двуокиси углерода в практических расчётах лучше выражать в объёмах газа (приведенного к нормальным физическим условиям), поглощённых одним объёмом воды. Когда происходит растворение двуокиси углерода в воде, одновременно начинают растворяться и другие компоненты конвертированного газа: азот, водород, сернистые соединения, окись углерода. Растворение азота и водорода в воде может стать причиной их потери, это следует учитывать при проведении водной очистки газа [56].

В технической оборотной воде, используемой для водной очистки от двуокиси углерода, содержатся растворённые соли, которые понижают растворимость двуокиси углерода в технической воде по сравнению с чистой. Для экономного процесса водной очистки существенное значение имеет расход воды на очистку и расход энергии на подачу этой воды. Расход воды на очистку конвертированного газа от двуокиси углерода зависит от степени извлечения CO_2 , температуры, общего и парциального давления CO_2 в газовой смеси до очистки. Если конвертированный газ в процессе конверсии углеводородов или газификации топлива получают при атмосферном давлении, то перед водной очисткой газ компримируют. Существует несколько факторов, от которых зависит выбор давления для водной очистки от двуокиси углерода. С повышением давления увеличивается растворимость двуокиси углерода в воде и понижается количество воды, требуемой для промывки, почти обратно пропорционально давлению. Расход энергии на подачу воды при этом снижается. С другой стороны, работа сжатия двуокиси углерода от начального низкого давления до давления абсорбции с увеличением давления возрастает. Общий расход энергии практически не зависит от давления при водной промывке газа в пределах 1-3 МПа. Но с повышением давления понижаются размеры абсорбера и увеличивается степень очистки газа от двуокиси углерода, поэтому рационально конвертированный газ компримировать до 3 МПа.

1.3.2 Щелочная очистка газа от CO_2

Очищение газа от двуокиси углерода водным раствором едкого натра NaOH основана на необратимой реакции:



Парциальное давление CO_2 над раствором едкого натра NaOH в процессе поглощения равно нулю до тех пор, пока вся щёлочь не перейдёт в карбонат. Раствор карбоната натрия поглощающий CO_2 проходит с получением бикарбоната:



Дифференциальная теплота растворения CO_2 в растворах едких щелочей независимо от рода катиона составляет 117кДж/моль. Быстрота массообмена двуокиси углерода с щёлочью увеличивается с повышением температуры. Повышение концентрации карбоната в растворе способствует понижению быстроты массообмена. Очистка водным раствором едкого натра NaOH в азотной промышленности используют как последнюю ступень тонкой доочистки от двуокиси углерода коксового и конвертированного газа вслед за водной очисткой (если концентрация CO_2 в газе не более 0,3% объёмных), после двухступенчатой моноэтаноламиновой очистки конвертированного газа (при остатке содержания CO_2 40 $\text{см}^3/\text{м}^3$), после очистки горячими растворами поташа под давлением (при остаточном содержании CO_2 в газе 500 - 1700 $\text{см}^3/\text{м}^3$), после медноамиачной очистки азотоводородной смеси под давлением 32 МПа (при содержании CO_2 150 - 250 $\text{см}^3/\text{м}^3$). В медноамиачной очистки вместо NaOH применяют разбавленный водный раствор аммиака NH_4OH . Регенерация выработанного раствора щёлочи проводится известью:



Процесс проходит в жидкой фазе при 90 – 95 °С и перемешивании. Оборудование регенерации щёлочи известью является громоздкой, а сам процесс не совсем подходит под современные санитарно - гигиенические требования (измельчение и гашение извести, транспортирование шлама в отвал и т. д.). Регенерацию выработанной щёлочи предполагается только при высоком расходе щёлочи и потребности привоза её со стороны. В других случаях водные растворы выработанной щёлочи стремятся использовать для дополнительных процессов нейтрализации и сбрасывают в специальные системы химически загрязнённых стоков. Для очистки 1000 м^3 газа тратится 0,15 - 1,6 кг 92% - ной каустической соды (в зависимости от концентрации CO_2 в исходном газе). Для регенерации выработанного раствора щёлочи тратится 9кг CaO и 30кг пара при Р - 0,5 Мпа [2].

1.3.3 Очистка газа от CO₂ методом низкотемпературной абсорбции метанолом

Метанол в диапазоне температур от -30° до -60° С и при давлении 1 - 3 МПа является хорошим абсорбентом не только двуокиси углерода, но и сероводорода, органических соединений серы, но и для других примесей, имеющих в газовой смеси. Двуокись углерода растворяется в метаноле намного лучше, чем в воде, и с понижением температуры и увеличением давления растворимость возрастает. Растворимость двуокиси углерода в метаноле при температуре -60° С в 75 раз лучше чем растворимость в воде при 25° С. В условиях низких температур при промывке газа метанолом расход абсорбента на очистку единицы объёма газа значительно меньше, чем при водной очистке от двуокиси углерода. Соответственно благодаря этому в процессе абсорбции уменьшаются энергетические расходы. При низкотемпературной абсорбции потери водорода также уменьшаются по сравнению с их потерями при водной промывке газа под давлением. Это связано не только с сокращением удельного расхода абсорбента, но и с уменьшением растворимости водорода в метаноле при понижении температуры. Низкотемпературный процесс абсорбции наиболее рационально осуществлять при 1 - 3 МПа. Наименьший предел низкотемпературного процесса абсорбции составляет 0,5 МПа. Преимущество этого метода эффективно, если одновременно удалить из газа смеси некоторых примесей при их удовлетворительно большом начальном содержании. Несмотря на необходимость применения холодильной машины, энергетические расходы в описанном процессе не превышают расхода энергии при промывке газа водой [33].

1.3.4 Очистка газа растворами этаноламинов

Основной особенностью процесса очистки газа от диоксида углерода водным раствором МЭА, раствором поташа и активированным АСТ.

Производства аммиака на крупных агрегатах, очистку газа от диоксида углерода осуществляют хемосорбцией водным раствором моноэтаноламина (МЭА) или водным раствором поташа, активированным АСТ. Процесс поташной очистки проводят в агрегатах, оборудование для которых закуплено у иностранных фирм. В отечественных агрегатах для очистки применяют моноэтаноламиновый раствор. При разработке процесса очистки ГИАП были учтены все новейшие достижения в области технологии и аппаратурного оформления абсорбционных процессов [8].

В следующей за очисткой технологической стадии происходит каталитическое гидрирование остаточного диоксида углерода. При этом на гидрирование одного объема CO_2 тратится четыре объема водорода (целевой продукт), и образуется метан, являющийся балластом, он выдувается на стадии синтеза с продувочными газами. Поэтому желательно на стадии жидкостной очистки добиться возможно низкой концентрации CO_2 . При химической абсорбции молекулы газа, растворенного в жидкости, вступают во взаимодействие с активным компонентом абсорбента. Растворимость газа при хемосорбции зависит от физической растворимости газа и константы равновесия химической реакции при условиях очистки.

Поскольку при хемосорбции происходит полное или частичное связывание абсорбируемого компонента в химическое соединение, градиент концентрации у поверхности раздела фаз выше, чем при физической абсорбции. В результате этого возрастает скорость поглощения.

Метод хемосорбционной очистки обладает рядом особенностей по сравнению с физической абсорбцией:

- возможность абсорбции при низком парциальном давлении извлекаемого газа вследствие более высокой поглотительной способности раствора;
- относительно малая циркуляция раствора и соответственно небольшой расход энергии на перекачку сорбента;

- регенерацию осуществляют, как правило, путем нагревания (иногда в сочетании со сбросом давления), при этом расход тепла на десорбцию относительно велик;

- возможность проведения весьма тонкой очистки;

-увеличение коррозии и протекание побочных реакций, обусловленных применением повышенных температур и щелочных реагентов – сильных и слабых электролитов.

Степень очистки газа при хемосорбции зависит как от равновесной абсорбционной емкости, так и от скорости абсорбционных процессов, кинетика которых определяется условиями тепло- и массообмена, температурой, парциальным давлением компонентов газовой смеси, степенью контакта фаз, свойствами абсорбата и абсорбента [19].

Хемосорбцию CO_2 в промышленности проводят при температуре $35^\circ - 100^\circ \text{C}$ и давлении 2,5-2,8 МПа, регенерацию – при $120^\circ - 135^\circ \text{C}$ под небольшим избыточным давлением. При проведении очистки абсорбция по условиям равновесия происходит тем полнее, чем ниже температура, однако скорость абсорбции выше при большой температуре.

Температуру абсорбции выбирают наиболее оптимальную на основании сопоставления термодинамических и кинетических факторов.

Протекающие реакции при очистке, являются экзотермическими и обратимыми, при повышении температуры раствора образующееся химическое соединение разлагается с выделением исходных компонентов 31.

Абсорбционная очистка газа – циклический процесс. После стадии абсорбции диоксид углерода поглощается растворителем, очищенный газ направляют на дальнейшую переработку, а насыщенный диоксидом углерода раствор регенерируют, что требует дополнительного расхода энергии. В связи с этим на стадии очистки большое значение имеет теплообмен, который должен быть решен наиболее оптимальным способом [1].

Основными характеристиками процесса абсорбции считаются: количество циркулирующего растворителя, линейная скорость газа,

соотношение жидкость: газ, расход энергии на регенерацию и циркуляцию газа. Самыми значительными показателями процесса очистки газа от диоксида углерода производства аммиака на крупных агрегатах являются также масса и габариты важнейших установок и теплообменного оборудования, высокое качество их работы и непременно достигаемая степень очистки газа, так как применяемые аппараты являются самыми громоздкими в производстве аммиака [16].

Абсорбционный процесс очистки газов в большинстве случаев определяется свойствами растворителей. Ниже приводятся основные характеристики, которые следует учитывать при выборе растворителя.

Абсорбционная емкость (количество вещества, которое способен поглотить абсорбент) и ее связь с давлением и температурой. От абсорбционной емкости зависят главные показатели процесса: циркуляция абсорбента, расход тепла на десорбцию газа, условия регенерации, габариты аппаратов и др [47].

Селективность растворителя характеризуется отношением растворимостей извлекаемого газа и наиболее близкого к нему по растворимости компонента очищаемого газа. От селективности зависят потери менее растворимых газов, особенности технологической схемы и некоторые расходные коэффициенты.

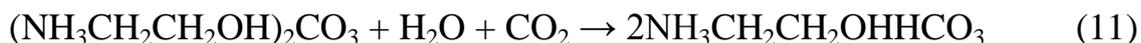
Давление насыщенных паров растворителя при температуре абсорбции должно быть незначительным, чтобы избежать потерь абсорбента, а температура кипения достаточно высока. Широкое распространение получили растворители, температура кипения которых составляет 170–200° С до 13,33 Па (0,1 мм. рт. ст.).

Габариты аппаратуры и расход энергии влияет на вязкость растворителя и скорость массо-теплопередачи, а, следовательно, на перекачивание растворителя. Растворители с низкой вязкостью наиболее предпочтительны.

Чтобы к минимуму свести даже весьма медленные побочные реакции, растворители должны быть термодинамически устойчивы, потому что они могут оказывать коррозионное действие и влияет на срок службы абсорбента.

Коррозионная активность должна быть минимальной.

В процессе очистки газа 19-21% - ным раствором моноэтаноламина протекают следующие реакции:



Температура процесса лежит в интервале 35°-60° С. Процесс регенерации раствора протекает при снижении давления и подъема температуры, в результате выделяются диоксид углерода и вода.

Реакции приведенные между CO_2 и МЭА можно рассматривать как схему, определяющую существенную способность получения в качестве конечного продукта как бикарбоната моноэтаноламина, так и карбоната.

Степень карбонизации раствора (α) повышается при поглощении диоксида углерода, которая выражается в молях CO_2 на моль МЭА. Допустимая при этих условиях термодинамическое равновесие определяет, степень карбонизации раствора. При снижении концентрации МЭА в растворе, уменьшении температуры и повышении парциального давления CO_2 равновесная степень карбонизации увеличивается. Однако влияние этих факторов невелико: даже при значительном их изменении количество CO_2 в растворе может уменьшаться или увеличиваться не более, чем 1,2 – 1,5 раза. В промышленности при извлечении CO_2 из газа раствором МЭА с концентрацией 2,5 - 3,3 моль/м³ под давлением 2,45 – 2,94 МПа (25 – 30 кгс/см²) может быть достигнута степень карбонизации $\alpha = 0,65 – 0,75$.

Степень очистки газа от CO_2 определяется его равновесной концентрацией (равновесным парциальным давлением) над раствором МЭА.

Эта величина тем ниже, чем меньше температура и степень карбонизации раствора. В промышленности содержание CO_2 в газе после очистки составляет 50 – 300 см³/м³.

Повышение концентрации МЭА раствора при одинаковой степени карбонизации приводит к возрастанию равновесного давления CO_2 над раствором (или при заданной концентрации CO_2 в растворе соответственно уменьшается степень карбонизации), при этом повышается абсолютное количество поглощенного CO_2 . Таким образом, увеличивая концентрацию МЭА, можно уменьшить количество циркулирующего раствора [27].

ГЛАВА 2. РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ МОДЕРНИЗАЦИИ СИСТЕМЫ ОЧИСТКИ КОНВЕРТИРОВАННОГО ГАЗА ОТ CO₂

2.1 Описание технологической схемы

Рассмотрим стадию очистки конвертированного газа от CO₂, проектировщик технологической и строительной части проекта – фирма «Кемико», США.

Очистка конвертированного газа от CO₂ поташным раствором по методу «Бенфилд» протекает по следующей реакции:



В качестве поглотителя используется горячий раствор поташа, активированный диэтаноломином и содержащий ингибитор коррозии V₂O₅, в составе: K₂CO₃ - 24-30%, АСТ - 2,0-3,5 %, V₂O₅ - не менее 0,4 %.

Очистка конвертированного газа осуществляется по 2-х поточной схеме по регенерированному раствору.

Таблица 2 – Состав конвертированной парогазовой смеси до и после отделения очистки от CO₂

	На входе в отделение очистки газа от CO ₂	После очистки газа от очистки газа от CO ₂
CO ₂	17,43%	0,05%
CO	0,49%	0,58%
H ₂	61,44%	74,38%
N ₂	19,95%	24,15%
Ar	0,24%	0,3%
CH ₄	0,46%	0,55%

Конвертированный газ под давлением до 27,5 МПа (27 кгс/см²) с температурой до 99°С подается в абсорбер (поз.Ф-451), орошаемый раствором поташа. Замер температуры газа на входе в абсорбер (поз.ТI-1000-18) вынесен в ЦПУ.

Абсорбция CO₂ происходит в аппарате с насадкой из металлических

колец Палля при температуре верха абсорбера не более 75°C , низа до 116°C . В соответствии с принятой двухпоточной схемой абсорбер разделен на 2 секции: нижнюю и верхнюю.

Конвертированный газ, содержащий до 17,5 % CO_2 проходит в начале нижнюю секцию, заполненную тремя слоями насадки из металлических колец Палля, а затем верхнюю с 2-мя слоями насадки из металлических колец Палля и очищается до остаточного содержания CO_2 не более 500 атм.

Очищенный от CO_2 газ направляется на метанирование. Содержание CO_2 в газе после абсорбера контролируется в ЦПУ газоанализатором AR-4001.

Верхняя секция абсорбера орошается бедным раствором поташа.

Здесь раствор насыщается CO_2 и поступает в нижнюю секцию, где смешивается с полубедным раствором поташа, поступающим из средней части регенератора (поз. F-452).

Расход раствора поташа, поступающего на орошение абсорбера (оба потока) регулируется автоматически – поз. FIC-4010, FIC-4009.

Уровень раствора в абсорбере регулируется автоматически поз. LIC-4005 с блокировкой закрытия клапана LV-4005 и отсекателя HCV-309, установленного на линии выхода насыщенного раствора из абсорбера.

Соппротивление насадки в абсорбере контролируется в ЦПУ поз. PDI-4002. Насыщенный раствор поташа выходит из нижней секции абсорбера с температурой не более 116°C и поступает на регенерацию. Замер температуры насыщенного раствора поз. TI-1000-22 вынесен на ЦПУ.

Регенерация раствора осуществляется в регенераторе при давлении не более 0,06 Мпа ($0,6\text{ кгс/см}^2$). Регенератор подобно абсорберу также разделен на 2 секции. Полубедный раствор поташа, составляющий 900-1200 $\text{м}^3/\text{час}$, выводится после верхней секции регенератора, заполненной тремя слоями насадки из металлических колец Палля, при температуре не более 116°C и насосом (J-452A/B) подается на орошение верхней секции абсорбера. Замер температуры раствора после верхней секции регенератора поз. TI-1000-24

вынесен в ЦПУ. Бедный раствор поташа, составляющий 270-320 м³/ч, выводится после нижней секции регенератора, заполненной двумя слоями насадки из металлических колец Палля при температуре н/б 123° С.

Замер температуры раствора поз.ТI-1000-23 вынесен в ЦПУ. Далее раствор насосом (J-451A/B) прокачивается через воздушный холодильник E-456 и с температурой не более 75° С поступает на орошение верхней секции абсорбера. Температура раствора поташа после воздушного холодильника регулируется автоматически ТIС-4012. Сопротивление насадки в регенераторе и температура парогазовой среды после регенератора контролируется в ЦПУ (PDI-4034,ТI-1000-19).Замер уровней в регенераторе вынесен в ЦПУ (LI-4038, LI-4037). Предусмотрено автоматическое включение резервных насосов (J-451B, J-452B) по предминимальным расходам раствора на абсорбер F-451.

Давление в системе регенератора поддерживается регулятором PIS-4033 после сепаратора G-453.

Давление пара после конденсационной турбины насоса J-452A перед конденсатором E-452 регулируется в ЦПУ PIS-0185.

Тепло, необходимое для регенерации раствора поташа, подводится в трех кипятильниках. В кипятильники (E-451 A/B) тепло подводится в парогазовой смеси, поступающей после конвертора СО II ступени с температурой не более 270°С, в кипятильник (E-452) – от отпарного газа, поступающего с температурой до 134°С. Уровень в кипятильнике (E-452) регулируется подачей флегмы поз. LC-4053.

Минимальный уровень в кипятильнике (E-452) сигнализируется в ЦПУ LAL-4053. Конденсат из кипятильника (E-452) подается регулятором расхода FIC-4052 в сепаратор холодильника СО₂ (G-453).

Конвертированная парогазовая смесь после газовых кипятильников с температурой 130°-145° С поступает в холодильник газа (E-463).

Углекислый газ выводится из верхней части регенератора с температурой не выше 100° С и давлением не более 0,04 Мпа (0,4 кгс/см²),

охлаждается до 57° С в воздушном холодильнике CO₂ (E-453), проходит сепаратор (G-453) для отделения от конденсата и поступает на выхлоп в атмосферу или к потребителю.

На отводе CO₂ к потребителю установлены электродвигжки поз. HCV-3 с дистанционным управлением из ЦПУ с блокировкой закрытия ее по повышению содержания горючих газов выше 1,2 % и автоматический газоанализатор.

Температура после холодильника CO₂ (E-453) регулируется автоматически поз. TIC-4025. Уровень в сепараторе (G-453) регулируется автоматически по месту LC-4027 подачей флегмы в регенератор (F-452).

Сигнализация максимального и минимального уровня вынесены в ЦПУ. Конденсат после сепаратора возвращается в цикл раствора насосом (J-453 A, B) для поддержания баланса воды в системе [приложение 1].

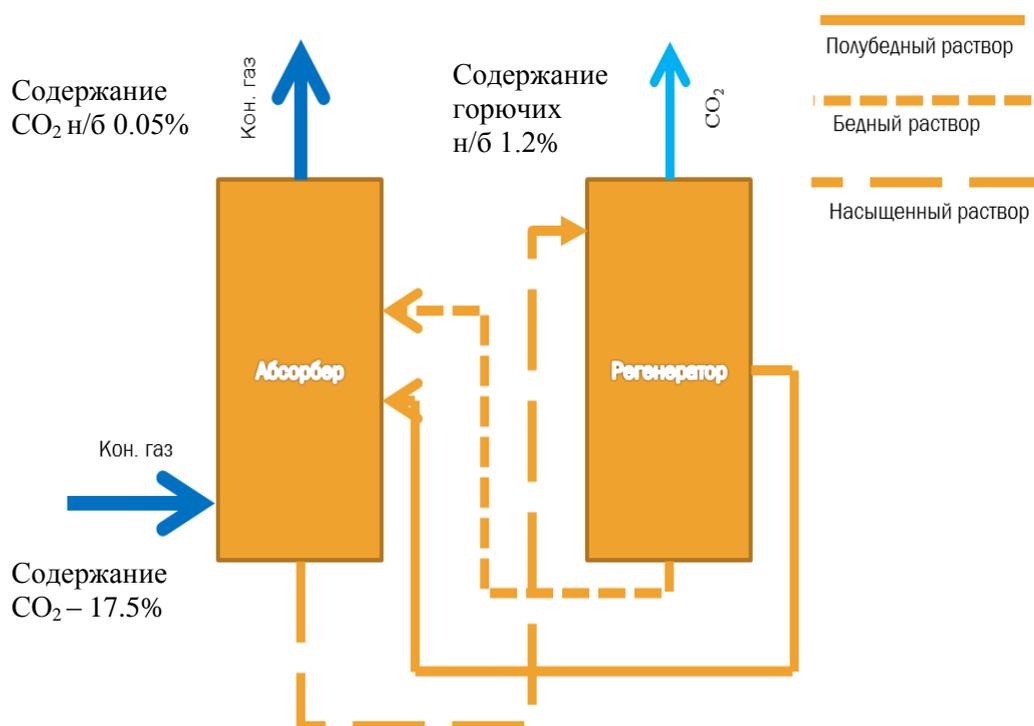


Рисунок 1 – Технологическая схема очистки газа от CO₂

2.2 Материальный баланс

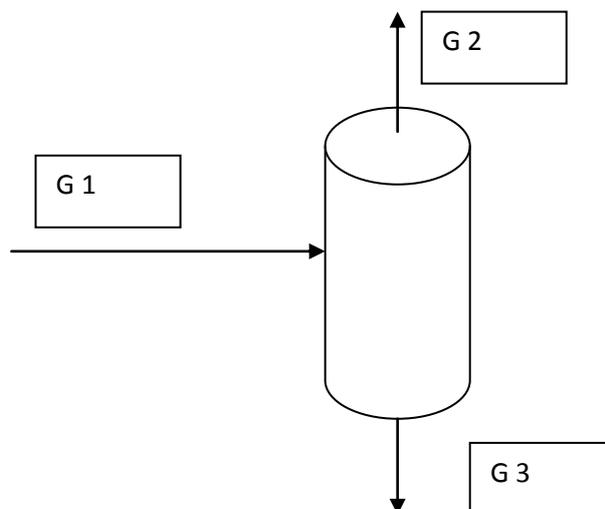


Рисунок 2 - Схема материальных потоков

Материальный баланс:

$$G 1 = G 2 + G 3 \quad (13)$$

Таблица 3 - Состав фракции CO₂ после очистки перед разделением на «грязную» и «чистую» фракции

	входящий поток газа кг/час	массовый состав фракции CO ₂ после очистки (G 1) кг/час	массовый состав конвертированного газа кг/час
CH ₄	763,71	6,11	757,60
N ₂	60378,42	48,30	60330,12
CO ₂	63587,22	56783,39	6803,83
CO	4939,95	24,70	4915,25
H ₂	13165,76	6582,88	6582,88
Ar	1091,00	8,73	1082,27
H ₂ O	74022,30	7357,82	66664,48
всего	217948,35	70811,92	147136,42

Таблица 4 -Основные материальные потоки после сепарации

	входящий поток газа после очистки (G 1) кг/час	массовый состав фракции CO ₂ после сепарации (G 2) кг/час	массовый состав конденсата (G 3) кг/час
CH ₄	6,110	0,005	6,105
N ₂	48,300	0,386	47,914
CO ₂	56783,400	50707,576	6075,824
CO	24,700	0,124	24,577
H ₂	6582,880	3291,440	3291,440
Ar	8,730	0,007	8,723
H ₂ O	7357,820	731,367	6626,453
всего	70811,940	54730,905	16081,035

Расчет произведен при температуре потока 57 С и давлении 0,1 МПа

Проверка расчета:

70811,94=54730,905+16081,035 (погрешность расчета равна 0) [28].

2.3 Модернизированный процесс очистки от CO₂

конвертированного газа поташным раствором по методу «Бенфилд»

Очистка конвертированного газа от CO₂ поташным раствором по методу «Бенфилд» протекает по следующей реакции:



В качестве поглотителя используется горячий раствор поташа, активированный АСТи содержащий ингибитор коррозии V₂O₅, в составе: K₂CO₃ – 24-30%, АСТ – 2,0-3,5 %, V₂O₅ – не менее 0,4 %.

Очистка конвертированного газа осуществляется по 2-х поточной схеме по регенерированному раствору.

Конвертированный газ под давлением до 27,5 Мпа (27 кгс/см²) с температурой до 99° С подается в абсорбер (поз.Ф-451), орошаемый раствором поташа. Замер температуры газа на входе в абсорбер (поз.ТІ-1000-18) вынесен в ЦПУ.

Абсорбция CO_2 происходит в аппарате с насадкой из металлических колец Палля при температуре верха абсорбера не более 75°C , низа до 116°C . В соответствии с принятой двухтопочной схемой абсорбер разделен на 2 секции: нижнюю и верхнюю.

Конвертированный газ, содержащий до 17,5 % CO_2 проходит в начале нижнюю секцию, заполненную тремя слоями насадки из металлических колец Палля, а затем верхнюю с 2-мя слоями насадки из металлических колец Палля и очищается до остаточного содержания CO_2 не более 500 атм.

Очищенный от CO_2 газ направляется на метанирование. Содержание CO_2 в газе после абсорбера контролируется в ЦПУ газоанализатором AR-4001.

Верхняя секция абсорбера орошается бедным раствором поташа.

Здесь раствор насыщается CO_2 и поступает в нижнюю секцию, где смешивается с полубедным раствором поташа, поступающим из средней части регенератора (поз. F-452).

Расход раствора поташа, поступающего на орошение абсорбера (оба потока) регулируется автоматически – поз. FIC-4010, FIC-4009.

Уровень раствора в абсорбере регулируется автоматически поз. LIC-4005 с блокировкой закрытия клапана LV-4005 и отсекателя HCV-309, установленного на линии выхода насыщенного раствора из абсорбера.

Сопротивление насадки в абсорбере контролируется в ЦПУ поз. PDI-4002. Насыщенный раствор поташа выходит из нижней секции абсорбера с температурой не более 116°C и поступает на регенерацию. Замер температуры насыщенного раствора поз. TI-1000-22 вынесен на ЦПУ.

Регенерация раствора осуществляется в регенераторе при давлении не более 0,06 Мпа ($0,6 \text{ кгс/см}^2$). Регенератор подобно абсорберу также разделен на 2 секции. Полубедный раствор поташа, составляющий 900-1200 $\text{м}^3/\text{час}$, выводится после верхней секции регенератора, заполненной тремя слоями насадки из металлических колец Палля, при температуре не более 116°C и насосом (J-452A/B) подается на орошение верхней секции абсорбера. Замер

температуры раствора после верхней секции регенератора поз.ТІ-1000-24 вынесен в ЦПУ. Бедный раствор поташа, составляющий 270-320 м³/ч, выводится после нижней секции регенератора, заполненной двумя слоями насадки из металлических колец Палля при температуре не более 123°С.

Замер температуры раствора поз.ТІ-1000-23 вынесен в ЦПУ. Далее раствор насосом (J-451A/B) прокачивается через воздушный холодильник E-456 и с температурой не более 75°С поступает на орошение верхней секции абсорбера. Температура раствора поташа после воздушного холодильника регулируется автоматически ТІС-4012. Сопротивление насадки в регенераторе и температура парогазовой среды после регенератора контролируется в ЦПУ (PDI-4034,ТІ-1000-19).Замер уровней в регенераторе вынесен в ЦПУ (LI-4038, LI-4037). Предусмотрено автоматическое включение резервных насосов (J-451B, J-452B) по минимальным расходам раствора на абсорбер F-451. Давление в системе регенератора поддерживается регулятором PІС-4033 после сепаратора G-453. Давление пара после конденсационной турбины насоса J-452A перед конденсатором E-452 регулируется в ЦПУ PІС-0185.

Тепло, необходимое для регенерации раствора поташа, подводится в трех кипятильниках. В кипятильники (E-451 A/B) тепло подводится в парогазовой смеси, поступающей после конвертора СО II ступени с температурой не более 270°С, в кипятильник (E-452) – от отпарного газа, поступающего с температурой до 134 °С. Уровень в кипятильнике (E-452) регулируется подачей флегмы поз. LC-4053.

Минимальный уровень в кипятильнике (E-452) сигнализируется в ЦПУ LAL-4053. Конденсат из кипятильника (E-452) подается регулятором расхода FIC-4052 в сепаратор холодильника СО₂ (G-453).

Конвертированная парогазовая смесь после газовых кипятильников с температурой 130°-145°С поступает в холодильник газа (E-463).

Модернизация процесса очистки конвертированного газа от диоксида углерода, агрегата аммиака по части реконструкции регенератора поз. F-452 с целью разделения углекислоты на два потока.

Для этого необходимо заварить все окна на центральной трубе, вырезать окна в сепарирующем устройстве, врезать тангенциальный переход для равномерного распределения раствора входящего в регенератор, просверлить дополнительные отверстия в перфорированной тарелке и установить второй сепаратор G – 453А [Приложение 3,4,5].

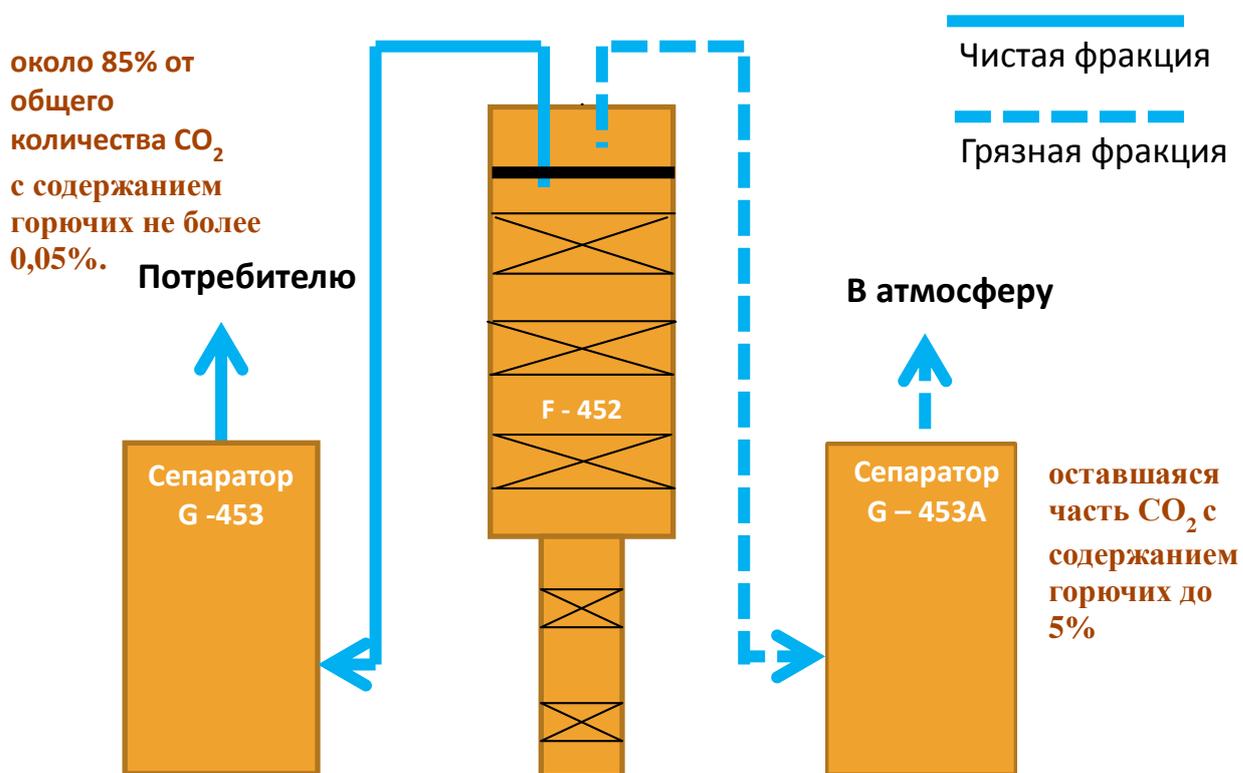


Рисунок 3 – Схема выдачи CO₂ после реконструкции регенератора

После изменения в конструкции газы десорбции выводятся из регенератора двумя потоками: «чистая» и «грязная» фракции. «Чистая» фракция, составляющая около 85% от общего количества CO₂, выводится из регенератора ниже точки ввода насыщенного раствора с температурой не более 100°С и давлением не более 0,4 кгс/см², поступает в центральную

трубу охлаждается в воздушном холодильнике поз. Е-453 до температуры не более 57°C, проходит сепаратор G-453 для отделения конденсата и через электрозадвижку HCV-3 поступает к потребителю с содержанием горючих не более 0,05%. Температура CO₂ после Е-453 регулируется автоматически регулятором ТИС- 4025.

«Грязная» фракция – оставшаяся часть CO₂ с содержанием горючих до 5% – проходит установленное сепарирующее устройство и с температурой 96 – 100 °С, давлением 0,4 кгс/см² выводится из верхней части регенератора поз. F-452, через имеющиеся фланцы, но неиспользуемый до этого. Далее «грязная» фракция CO₂ охлаждается в воздушном холодильнике поз. Е-453 до температуры 57-70°C, поступает во вновь установленный сепаратор поз. G-453А для отделения от конденсата (флегмы) и через клапан PV-4033 поступает на выхлоп в атмосферу.

Контроль за качеством отдувки осуществляется изменением количества «грязной» фракции и содержания горючих в «чистой» фракции CO₂. Сепараторы G-453, G-453А соединены уравнивающей линией 65КН-150, по которой конденсат из сепаратора G-453А поступает в сепаратор G-453 и далее на всас насосов поз. J-453.

Аппарат воздушного охлаждения горизонтальный одноходовой. Состоит из 10 – секций труб, разделенных пополам для чистой и грязной фракции CO₂ [Приложение 6].

Регенератор состоит из 2-х частей, внутри имеется насадка из колец «Палля». В верхней части имеется 3 слоя насадки, а в нижней части 2 слоя. Каждый слой загружается на колосниковую решетку, выполняющую роль распределительной тарелки. Вверху каждой части имеется устройство для распределения раствора. В верхней части регенератора над распределением раствора установлено сепарирующее устройство из листов нержавеющей стали для отделения раствора от грязной фракции CO₂ [Приложение 2].

Эти изменения приведут к увеличению перепада давления в регенераторе, так как регенерация раствора протекает тем лучше, чем больше

перепад давления в верхней и нижней части регенератора. Следовательно, регенерация раствора будет качественнее, очистка будет лучше работать, а конвертированный газ будет содержать меньше диоксида углерода. Если очистка будет справляться, то можно понизить концентрацию раствора поташа, это приведет к уменьшению коррозии аппаратуры, и к уменьшению вводимых реагентов, что скажется на экономии. Также с изменением конструкции стадии очистки понизится температура в кубе регенератора. Отложение раствора происходит под воздействием повышенных рабочих температур стадии десорбции. Продукты отложения откладываются на теплообменном оборудовании, что снижает поверхность теплообмена. Следовательно, раствор не будет получать достаточного тепла для регенерации. Если температура в кубе понизится, то и уменьшится температура раствора, поступающего на абсорбцию, а процесс абсорбции происходит лучше, чем выше давление и ниже температура.

2.4 Конструктивный расчет сепаратора

Для реализации процесса отделения жидкой фазы от газового потока учитывая расход смеси и диаметр частиц капельной влаги $d=80\text{мкм}$ выберем сепаратор циклонного типа ЦН.

Принимаем соотношение $\Delta p/\rho_r=740$

Предварительно определим условную скорость в сепараторе, учитывая что $\zeta_0 = 160$ [34]

$$\omega_y = \sqrt{\frac{2\Delta p}{\rho_r \zeta_0}} = \sqrt{740 * 2 / 160} = 3,04 \text{ м/с} \quad (15)$$

Рассчитаем плотность газа

$$\rho = \sum_{i=1}^0 x_i * \rho_i \quad (16)$$

$$\rho = 0,84 \text{ кг/м}^3$$

$$D = \sqrt{\frac{V}{0,785 \omega_u}} = \sqrt{\frac{70812}{0,84 * 3600 * 3,04}} = 2,78 \text{ м} \quad (17)$$

Принимаем диаметр аппарата 3 м

Гидравлическое сопротивление сепаратора

$$\Delta p = \frac{\omega^2 \zeta_0 \rho r}{2} = \frac{3,04^2 * 160 * 0,84}{2} = 621 \text{ Па} \quad (18)$$

Значение этой величины невелико поэтому аппарат данной конструкции применим.

2.5 Прочностные расчеты основного оборудования

Расчет плоского кольцевого круглого днища (перфорированной тарелки)

В данной тарелки сверлится дополнительно $n = 9525$ отверстий $\varnothing = 6$ мм с шагом 26 мм. Общее количество отверстий $n = 10645$. Необходимо рассчитать на прочность ослабленную перфорированную тарелку. Днище укрепляется снизу десятью радиальными ребрами.

Исходные данные:

Материал днища – сталь 03Х18Н11;

Расчетная температура – 100 0С;

Расчетный диаметр D_v – 360 см.;

Количество радиальных ребер – 10.

Расчетное давление (перепад давлений) – 0,03 кгс/см²

Толщина плоского круглого днища аппарата, работающего под внутренним избыточным давлением рассчитывают по формуле:

$$S_1 > S_{1p} + C \quad (19)$$

где S_{1p} – расчетная толщина стенки днища, см

C – прибавка для компенсации коррозии

C_1 – прибавка для компенсации коррозии, см

$$C_1 = 0,1 \text{ см}; C_3 = 0; C = C_1 + C_2 + C_3$$

C_2 – прибавка для компенсации минусового допуска, см

$$C_2 = 0,06 \text{ см.}$$

$$C = 0,1 + 0,06 + 0 = 0,16 \text{ см.}$$

$$S_{1p} = KK_0 Dp \sqrt{\frac{p}{\phi}}, \quad (20)$$

где K - безразмерный коэффициент

$$K = 0,5$$

$$Dp = d \quad S_{1p} = KK_0 d \sqrt{\frac{\delta}{\phi[\delta]}}, \quad (21)$$

где $Dp = 360$ см.; z – число радиальных ребер; $z = 10$

$$d = \frac{360 \cdot \sin \frac{180}{10}}{1 + \sin \frac{180}{10}} = \frac{360 \cdot \sin 18^\circ}{1 + \sin 18^\circ} = 85 \text{ см.}$$

K_0 – коэффициент ослабления плоского днища отверстия

$$K_0 = \sqrt{\frac{1 - \sum \left(\frac{d_i}{Dp} \right)^3}{1 - \sum \left(\frac{d_i}{Dp} \right)}} \quad (22)$$

Коэффициент K_0 определяют для наиболее ослабленного сечения. Максимальную сумму длин хорд отверстий в наиболее ослабленном диаметральной сечении днища.

$$\sum d_i = \max \{ (d_1 + d_2) (b_2 + b_3) \} \quad (23)$$

$d_i = 0,6$ см – диаметр отверстий в днище.

$$\sum d_i = 18c_i \quad (24)$$

$$K_0 = \sqrt{\frac{1 - \sum \left(\frac{18}{85}\right)^3}{1 - \frac{18}{85}}} = \sqrt{1,257} = 1,12$$

$P = 0,03$ кгс/см² – расчетное давление

$\varphi = 0,9$ - коэффициент прочности сварного шва

$[\delta] = 1330$ кгс/см² для стали 03X18H11 при температуре 100 °С

$$S_{1p} = 0,5 \cdot 1,12 \cdot 85 \sqrt{\frac{0,03}{0,9 \cdot 1330}} = 0,238 \text{ см.}$$

Исполнительная толщина днища (необходимая).

$$S = 0,238 + 0,16 = 0,398 \text{ см}$$

Толщина перфорированной тарелки $S = 0,6$ см.

Следовательно данная толщина удовлетворяет условию прочности

$S < S_{map}$ [9].

Расчет обечайки, нагруженной внутренним избыточным давлением.

Исходные данные:

Материал обечайки – сталь 20;

Расчетный диаметр – 320 см.;

Расчетная температура – 71 °С;

Расчетная давление – 1,76 кгс/см².

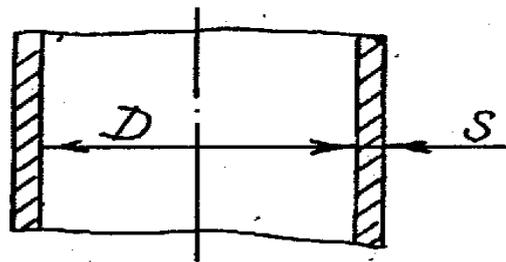


Рисунок 4 - Эскиз обечайки

Исполнительную толщину стенки обечайки следует рассчитывать по формуле:

$$S \geq Sp + C, \text{ см} \quad (25)$$

где, Sp – расчетная толщина стенки обечайки, см.

C – сумма прибавок к расчетной толщине стенки, см.

$$C = C_1 + C_2 + C_3 \quad (26)$$

где, C_1 - прибавка для компенсации коррозии. $C_1 = 0,63$ см.

C_2 – прибавка для компенсации минусового допуска.

$$C_2 = 0,08 \text{ см. } C_3 = 0$$

$$C = C_1 + C_2 = 0,63 + 0,08 = 0,71 \text{ см.}$$

$$Sp = \frac{p \cdot D}{2[\delta]\varphi_p - p}, \text{ см} \quad (27)$$

где p – расчетное внутреннее избыточное давление

$$p = 1,76 \text{ кгс/см}^2$$

$D = 320$ см – расчетный внутренний диаметр аппарата

$[\delta]$ - допускаемое напряжение при расчетной температуре, кгс/см²,

для стали 20 при $t_p = 71$ °C, $[\delta] = 1438$ кгс/см²

φ_δ - расчетный коэффициент прочности сварного шва, $\varphi_\delta = 0,9$

$$Sp = \frac{1,76 \cdot 320}{2 \cdot 1438 \cdot 0,9 - 1,76} = 0,218 \text{ см}$$

$$S = 0,218 + 0,71 = 0,928 \text{ см}$$

Конструктивно принимаем исполнительную толщину равной:

$$S = 1,4 \text{ см}$$

3. Условие применение расчетных формул:

$$\frac{S - c}{D} \leq 0,1 \text{ для обечаек;}$$

$$\frac{1,4 - 0,71}{320} = 0,00216 < 0,1$$

Рассчитаем напряжение при гидроиспытании

$$\delta \bar{\alpha} = \sqrt{\frac{Pr(D + S - c)}{2\varphi(S - c)}}, \quad (28)$$

где P_r – давление гидроиспытания, кгс/см²

$$P_r = 1,25P \cdot \frac{[\delta]_{20}}{[\delta]_t}, \text{ но не менее } 2 \quad (29)$$

где, P – расчетное давление, кгс/см²,

$[\delta]_{20}$ - допускаемое напряжение для материала обечайки при температуре

$$t = 20 \text{ } ^\circ\text{C}, [\delta]_{20} = 1470 \text{ кгс/см}^2$$

$[\delta]_t$ - допускаемое напряжение для материала обечайки при расчетной температуре, кгс/см²

$$t = 71 \text{ } ^\circ\text{C}; [\delta]_t = 1438 \text{ кгс/см}^2$$

$$P_r = 1,25 \cdot 1,76 \cdot \frac{1470}{1438} = 2,25 \text{ кгс/см}^2$$

Принимаем $P_r = 2,25 \text{ кгс/см}^2$

$$\delta \tilde{\alpha} = \frac{2,25(320 + 1,4 - 0,71)}{2 \cdot 0,9(1,4 - 0,71)} = 581 \text{ кгс/см}^2$$

Условие гидроиспытания

$$\delta \tilde{\alpha} \leq \delta \tilde{\alpha} \tilde{\alpha} \tilde{\alpha} \quad (30)$$

где $\delta \tilde{\alpha} \tilde{\alpha} \tilde{\alpha}$ - допускаемое напряжение при гидроиспытании, кгс/см²

$\delta \Gamma^{20}$ – минимальное значение предела текучести при температуре 20 °С, кгс/см² для стали 20.

$$\Delta z. \delta \alpha \alpha = \frac{2200}{1,1} = 2000 \text{ кгс/см}^2$$

$$581 < 2000$$

Условие гидроиспытания выполнено.

Расчет эллиптического днища, нагруженного внутренним избыточным давлением

Исходные данные: (поз. 15)

Материал днища – сталь 20;

Расчетный диаметр – 320 см.;

Расчетная температура – 71 °С;

Расчетное давление – 1,76 кгс/см².

Исполнительную толщину стенки эллиптического днища следует рассчитывать по формуле:

$$S_1 \geq S_{1p} + C, \text{ см} \quad (31)$$

где, C – сумма прибавок к расчетной толщине стенки, см.

$$C = 0,71 \text{ см.}$$

$$S_{1p} = \frac{P \cdot R}{2\varphi \cdot [\delta] - 0,5p} \quad (32)$$

где, P – расчетное давление, кгс/см²; $P = 1,76$ кгс/см²

R – радиус кривизны в вершине днища

$$R = \frac{D^2}{4H}, \quad (33)$$

где, $R = D$ – для эллиптических днищ с $H = 0,25D$, $R = B = 320$ см.

$\varphi = 1,0$ – коэффициент прочности сварного шва

$[\delta] = 1438$ кгс/см² для стали 20 при $tp = 71$ °С

$$S_{1p} = \frac{1,76 \cdot 320}{2 \cdot 1,0 \cdot 1438 - 0,5 \cdot 1,76} = 0,196 \text{ см.}$$

Конструктивно принимаем исполнительную толщину равной $S_1 = 1,4$ см.

Условие применение расчетных формул для эллиптических днищ

$$0,002 \leq \frac{S_1 - c}{D} \leq 0,1$$

$$0,2 \leq \frac{I}{D} \leq 0,5$$

$$0,002 < \frac{1,4 - 0,71}{320} = 0,00216 < 0,1$$

$$0,2 < \frac{80}{320} = 0,25 < 0,5$$

Условие выполняется

Рассчитаем напряжение при гидроиспытании:

$$\delta\ddot{\alpha} = \frac{P\ddot{\alpha}[R + 0,5(S_1 - C)]}{2\varphi(S_1 - C)}, \text{ кгс/см}^2 \quad (34)$$

где, P_g – давление гидроиспытания, кгс/см²

$$P_2 = 1,25P \frac{[\delta]_{20}}{[\delta]} = 1,25 \cdot 1,76 \cdot \frac{1470}{1438} = 2,25 \text{ кгс/см}^2$$

$$R = D = 320 \text{ см.}$$

$$S_1 = 14 \text{ см.}; \varphi = 1,0; C = 0,71 \text{ см.}$$

$$\delta \tilde{\alpha} = \frac{2,25 [320 + 0,5(1,4 - 0,71)]}{2 - 1,0(1,4 - 0,71)} = 523 \text{ кгс/см.}$$

Условие гидроиспытания:

$$\Delta \delta_{г} \leq \delta_{г.доп.} \quad (35)$$

где, $\delta_{г.доп.}$ – допускаемое напряжение при гидроиспытании, кгс/см²

$$\delta_{г.доп.} = \frac{\delta \tilde{\alpha}^{20}}{1,1} \quad (36)$$

$\delta \tilde{\alpha}^{20}$ – минимальное значение предела при температуре 20 °С, кгс/см²

для стали 20 $\delta \tilde{\alpha}^{20} = 2200 \text{ кгс/см}^2$

$$\delta_{г.доп.} = \frac{2200}{1,1} = 2000 \text{ кгс/см}^2$$

$$523 < 2000$$

Условие гидроиспытания выполнено. [10]

Расчет обечайки (нагруженной внутренним избыточным давлением).

Исходные данные:

Материал обечайки – сталь 20;

Расчетный диаметр – 50,6 см;

Расчетная температура – 71 °С;

Расчетное давление – 1,76 кгс/см².

Исполнительная толщина стенки обечайки

$$S \geq S_p + C, \quad (37)$$

где, S_p – расчетная толщина стенки обечайки, см.

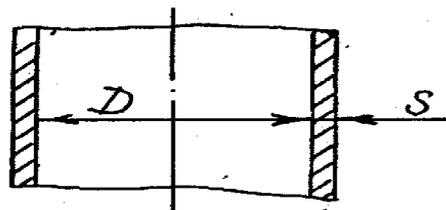


Рисунок 5 - Эскиз обечайки

C – сумма прибавок к расчетной толщине стенки, см.

$$C = 0,71 \text{ см.}$$

$$S_p = \frac{P \cdot D}{2[\delta]\varphi_p - p} \quad (38)$$

$$P = 1,76 \text{ кгс/см}^2; \varphi_p = 0,9; [\delta] = 1438 \text{ кгс/см}^2; D = 50,6 \text{ см.}$$

$$S_p = \frac{1,76 \cdot 50,6}{2 \cdot 1438 \cdot 0,9 - 1,76} = 0,0344 \text{ см.}$$

$$S = 0,0344 + 0,71 = 0,7444 \text{ см.}$$

Конструктивно принимаем $S = 1,2$ см

Расчет обечайки, нагруженной внутренним избыточным давлением

Исходные данные:

Материал обечайки – сталь 20;

Расчетный диаметр – 60,6 см;

Расчетная температура – 71 °С;

Расчетное давление – 1,76 кгс/см².

Рассчитаем исполнительную толщину стенки обечайки:

$$S \geq S_p + C, \text{ см.}$$

где, S_p – расчетная толщина стенки обечайки

C – сумма прибавок к расчетной толщине стенки, $C = 0,71$ см.

$$S_p = \frac{P \cdot D}{2[\delta]\varphi_p - p}, \text{ см}$$

$$P = 1,76 \text{ кгс/см}^2, \varphi_p = 0,9$$

$$[\delta] = 1438 \text{ кгс/см}^2, D = 60 \text{ см.}$$

$$S_p = \frac{1,76 \cdot 60,6}{2 \cdot 1438 \cdot 0,9 - 1,76} = 0,041 \text{ см.}$$

$$S = 0,041 + 0,71 = 0,751 \text{ см.}$$

Конструктивно принимаем $S = 1,2$ см. [11]

Расчет обечайки, укрепление отверстий

Исходные данные: (поз.14).

Диаметр внутренний обечайки – 320 см.

Толщина стенки исполнительная – 1,4 см.

Толщина стенки расчетная – 0,218 см.

Определение наибольшего допустимого диаметра одиночного отверстия, не требующего дополнительного укрепления в сосудах и аппаратах, работающих под внутренним давлением.

$$d_0 = 2 \left(\frac{S - c}{S_R} - 0,8 \right) \cdot \sqrt{D_R (S - c)} \quad (39)$$

где, S – исполнительная толщина стенки обечайки, см.

S_R – расчетная толщина стенки обечайки

D_R – расчетный внутренний диаметр, см.

Для цилиндрических обечаек:

$$D_R = D = 320 \text{ см.}$$

где, D – внутренний диаметр цилиндрической обечайки, см. $D = 320$ см.

C – прибавка к расчетной толщине для компенсации коррозии, см.

$$C = C_1 + C_2 + C_3 \quad (40)$$

где, C_1 – прибавка для компенсации коррозии

$$C_1 = 0,63 \text{ см}; C_2 = 0,08 \text{ см}; C_3 = 0$$

$$C = 0,63 + 0,08 = 0,71 \text{ см.}$$

$$S_R = 0,218 \text{ см}; S = 1,4 \text{ см.}$$

$$D_0 = 2 \left(\frac{1,4 - 0,71}{0,218} - 0,8 \right) \sqrt{320(1,4 - 0,71)} = 70,63 \text{ см.}$$

Если расчетный диаметр одиночного отверстия удовлетворяет условию, то дальнейших расчетов укрепления отверстий не требуется.

$$D_R \leq d_0 \quad (41)$$

Расчетный диаметр отверстия в стенке обечайки:

$$D_R = d + 2C_s \quad (42)$$

$$d = 50,6 \quad C_s = C = 0,71 \text{ см.}$$

$$d_R = 50,6 + 2 \cdot 0,71 = 52,02 \text{ см.}$$

$$52,02 < 70,63$$

Укрепление отверстия $\varnothing 506$ мм не требуется.

В обечайке имеется отверстие $d = 60,6$ см. – внутренний диаметр штуцера.

$$d_R = d + 2C_s, \quad (43)$$

где, C_s – сумма прибавок к расчетной толщине, см.

$$C_s = 0,71 \text{ см.}$$

$$d_R = 60,6 + 2 \cdot 0,71 = 62,02 \text{ см.}$$

$$62,60 < 70,63$$

Укрепление отверстия $\varnothing 606$ мм. не требуется.

Условие применения формул для расчета укрепления отверстий в цилиндрических обечайках:

$$d_R = 52,02 \text{ см.}$$

$$\frac{d_R - 2C_s}{D} \leq 1,0, \quad \frac{52,02 - 2 \cdot 0,71}{320} \leq 1,0$$

$$0,158 < 1,0$$

$$d_R = 62,02 \text{ см.}$$

$$\frac{62,02 - 2 \cdot 0,71}{320} \leq 1,0, \quad 0,189 < 1,0$$

$$\frac{s - c}{D} \leq 0,1, \quad \frac{1,4 - 0,71}{320} \leq 0,1$$

$$0,00215 < 0,1$$

Условия применения формул в данном случае выполнены [12].

Расчет днища, укрепление отверстий

Исходные данные: (поз.15)

Диаметр днища внутренний – 320 см.

Толщина исполнительная – 1,4 см.

Толщина расчетная – 0,196 см.

Определение наибольшего допустимого диаметра одиночного отверстия, не требующего дополнительного укрепления, в сосудах и аппаратах, работающих под внутренним давлением.

$$d_0 = 2 \left(\frac{S_1 - C}{S_{1R}} - 0,8 \right) \sqrt{D_R (S_1 - C)} \quad (44)$$

где, S_1 – исполнительная толщина стенки днища, $S_1 = 1,4$ см.

S_{1R} – расчетная толщина стенки днища, $S_{1R} = 0,196$ см.

D_R – расчетный внутренний диаметр, см.

Для эллиптических днищ:

$$D_R = 2D \sqrt{1 - 3 \left(\frac{\delta}{D} \right)^2} \quad (45)$$

где, x – расстояние от центра укрепляемого отверстия до оси эллиптического днища, $x = 0$.

$$D_R = 2D = 2 \cdot 320 = 640 \text{ см.}$$

C – прибавка для компенсации коррозии и минусового допуска, $C = 0,71$ см.

$$d_0 = 2 \left(\frac{1,4 - 0,71}{0,196} - 0,8 \right) \sqrt{640 (1,4 - 0,71)} = 114,3 \text{ см.}$$

Если расчетный диаметр одиночного отверстия удовлетворяет условию, то дальнейших расчетов не требуется.

$$d_R = d + 2Cs$$

где, d – внутренний диаметр штуцера, $d = 60,6$

$$Cs = 0,71 \text{ см.}$$

$$d_R = 60,6 + 2 \cdot 0,71 = 62,02 \text{ см.}$$

$$62,02 < 114,3$$

Укрепление отверстия $\varnothing 606$ в днище не требуется.

Условие применения формул для расчета укрепления отверстий в эллиптическом днище:

$$\frac{d_R - 2Cs}{D} \leq 0,6 \quad (46)$$

$$\frac{62,02 - 2 \cdot 0,71}{320} \leq 0,6$$

$$0,189 < 0,6$$

$$\frac{S-C}{D} \leq 0,1, \quad \frac{1,4-0,71}{320} \leq 0,1$$

$$0,00215 < 0,1$$

Условия применения формул в данном случае выполнены.

Определение расстояния между опорой и осью сварного соединения днища с корпусом

$$H = h'' + h' \quad (47)$$

где, H – расстояние между опорой и осью сварного соединения эллиптического днища с корпусом

h'' – высота борта, выбирается по ГОСТу, $h'' = 60 \text{ мм.} = 6 \text{ см.}$

h' – расстояние от опоры до цилиндрической части днища, определяется по формуле:

$$h' = \frac{hb+S}{D_p} \sqrt{D_p^2 - D^2} \quad (48)$$

$$hb = 800 \text{ мм.}$$

$$D_p = D + 2S = 320 + 2 \cdot 1,4 = 322,8 \text{ см.}$$

$$h' = \frac{80+1,4}{322,8} \sqrt{322,8^2 - 320^2} = 10,7 \text{ см.}$$

$$H = 10,7 + 6 = 16,7 \text{ см.}$$

Округляем до ближайшего табличного значения, $H = 180 \text{ мм.}$

ГЛАВА 3. АНАЛИЗ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ

Экологическая защита воздушного бассейна включает минимизацию и не превышение предельно-допустимых концентраций (ПДК) в атмосфере всех ингредиентов, которые выбрасываются газоперерабатывающими объектами. В ограничения входят также обозначение граничных размеров санитарно-защитных зон (СЗЗ), которые должны обеспечить необходимые параметры состояния воздушной среды за пределами СЗЗ.

В процессе эксплуатации газоперерабатывающими объектами основными загрязняющими атмосферный воздух веществами являются продукты сгорания углеводородов в факеле, а также незначительное количество паров реагентов в случае его использования.

В соответствии с п. 2 ст. 19 Федерального Закона «Об охране окружающей среды», п.1 ст.30 Федерального Закона «Об охране атмосферного воздуха», «Положением о нормативах выбросов вредных (загрязняющих) веществ в атмосферный воздух и вредных физических воздействий на него» (п.8), п.1.6, п.1.7, п.2.2, п.3.2 ГОСТа17.2.3.02-78 предприятия, имеющие стационарные источники выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух, обязаны разработать предельно допустимые и временно согласованные выбросы. Проект нормативов предельно допустимых выбросов загрязняющих веществ в атмосферу (проект ПДВ) является одним из основных документов по охране атмосферного воздуха на предприятии. Нормативы ПДВ устанавливаются по предприятию в целом и по каждому источнику выбросов с учетом существующих и планируемых производственных мощностей объекта при условии соблюдения требований (нормативов) загрязнения атмосферного воздуха [60].

Все источники загрязнения атмосферы, подлежащие контролю, делятся на 2 категории:

I категория – источники, которые должны контролироваться систематически: организованные выбросы (факела, дымовые трубы котельной);

II категория – источники, которые могут контролироваться эпизодически: неорганизованные выбросы (сепараторы, емкости и т.д.).

Согласно технического регламента производства выбросы общие с технологического процесса и дымовых газов составляют:

Общее количество выбросов парниковых газов:

$$G_{\text{общ}} = 54,73 * 8640 = 470678 \text{ кг /год}$$

Сокращение количество парниковых газов за счет внедрения проекта:

$$G_{\text{сокр}} = 470678 - 70600 = 400078 \text{ кг /год}$$

$$(G_{\text{сокр}} * 100) / G_{\text{общ}} = 85,4 \%$$

В данной работе было рассмотрено снижение экологической нагрузки на воздушный бассейн, он составил уменьшение вредных выбросов парниковых газов (CO_2) на 85,4% [36].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данной работе была рассмотрена модернизация процесса очистки конвертированного газа от диоксида углерода, по части реконструкции регенератора с целью разделения на два потока: «чистая» и «грязная» фракция.

Проведены и представлены:

1) Анализ существующих способов и систем очистки технологических газов от диоксида углерода, оптимизированы все параметры проведения данного процесса.

2) Исследование технологического процесса и модернизация отделения очистки газа от CO_2 ОАО «Тольяттиазот».

3) Технологические и конструкционные расчеты вспомогательного оборудования для определения параметров оборудования и основных размеров, подтверждающие работоспособность и надежность конструкции.

4) Анализ экологической эффективности работы.

Проведенные исследования и расчеты позволяют сделать вывод об возможности проведения модернизации и эффективности принятых решений.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Абсорбция газов / В. М. Рамм. - Москва : Химия, 1966. - 767 с.
2. Азотная промышленность/Ф.А, Несвижский, В.В. Харламов Реф. Сб. 1977.
3. Александров И.А./ Ректификационные и абсорбционные аппараты: Методы расчета и основы конструирования - М.: Химия, - 296 с.
4. Альбом технологических схем и процессов переработки нефти и газа/ под редакцией Б.И. Бондоренко. – М. Химия, 1983 – 128с.
5. Андреев Ф.А. Карган С.И.[Козлов Л.И. Приставка В.Ф.] Технология связанного азота. - М., 2008.
6. Андреев Ф.А. Технология связанного азота/ Андреев Ф.А., Каргин С.И., Козлов Л.И., Приставка В.Ф., М.: Химия 1966, - 500 с.
7. Белов С.В. Охрана окружающей среды. - М: Высш. шк., 1991.
8. Вахтин А.К. Меры безопасности при ликвидации стихийных бедствий и производственных аварий, - М: Энергоатомиздат, 1984.
9. Ведерников М.И. Производство аммиака из природного газа / Ведерников М.И.,: Техника 1970, - 232 с.
10. Горина Л.Н. Обеспечение безопасных условий труда на производстве. – Учеб. пособие. – Тольятти: ТолПИ, 2000.
11. ГОСТ 25822-83 [СТ СЭВ 3649-82]. Сосуды и аппараты. Аппараты воздушного охлаждения. Нормы и методы расчета на прочность. - Изд. офиц. ; введ. 01.01.84. - Москва : Изд-во стандартов, 1983. - 19 с.
12. ГОСТ 8050-85. Двуокись углерода газообразная и жидкая. Технические условия. - Изд. офиц.; введ. 01.01.87. - Москва : Изд-во стандартов, 1995. - 33 с.
13. ГОСТ 9931-85. Корпуса цилиндрические стальных сварных сосудов и аппаратов. Типы, основные параметры и размеры: [Взамен ГОСТ 9931-79]. - Изд. офиц. ; введ. 01.01.87 ; переизд. (окт. 1987 г.) с изм. №1. - Москва : Изд-во стандартов, 1988. - 21 с.

14. Государственная система промышленных приборов и средств автоматизации/Под ред. Б.Н. Мельников. Каталог. М.: ЦНИИТЭИ приборостроения, 1979.
15. Долин П.А. Основы техники безопасности в электроустановках, М: Энергоиздат, 1984.
16. Дытнерский Ю. И. «Процессы и аппараты химической технологии»: В 2-х кн.: Кн. 1. Теоретические основы процессов химической технологии. Гидромеханические и тепловые процессы и аппараты. 2-е изд. - М.: Химия, 1995. Кн. 2. Массообменные процессы и аппараты. - М.: Химия, 1995.
17. Жаворонков Н.М. «Справочник азотчика» 2-е изд., М., Химия, 1986.
18. Инженерно-экологический справочник : учеб. пособие для вузов: [в 3 т.]. Т. 1 / А. С. Тимонин ; Моск. гос. ун-т инж. экологии. - Калуга : Изд-во Н. Бочкаревой, 2003. - 914 с
19. Инструкция по технике безопасности ОАО «Тольяттиазот», 2006.
20. Инструкция по электро- и пожаробезопасности ОАО «Тольяттиазот»
21. К.Ф.Павлов, П.Г. Романков, А.А.Носков. Примеры и задачи по курсу процессов и аппаратов химической технологии. Л.: Химия, 1987.
22. Кузнецов Л.Д. (ред) «Синтез аммиака», Химия 1982- 292с.
23. Курс технологии связанного азота/В.И. Атрощенко, А.М. Алексеев М.: «Химия», 1968.
24. Лейбуш А.Г. Производство технологического газа для синтеза аммиака метанола из углеводородных газов. М. Химия, 1971 – 288с.
25. Марочник сталей и сплавов/ под общей редакцией В.Г. Сорокина: Машиностроение, 1989. – 640 с.
26. Машины и аппараты химических производств и нефтегазопереработки : учебник / И. И. Поникаров, М. Г. Гайнуллин. - Изд. 2-е, перераб. и доп. ; Гриф МО. - Москва : Альфа-М, 2006. - 605 с.

27. Машины и аппараты химических производств/ под ред. И. И. Чернобыльского. - 3-е изд., перераб. и доп. - Москва : Машиностроение, 1975. - 454 с
28. Общая химическая технология : Материальный баланс химико-технологического процесса: учеб. пособие для вузов / И. М. Кузнецова, Х. Э. Харлампики, Н. Н. Батыршин. - Гриф УМО. - Москва: Логос, 2007. - 263 с.
29. Общий курс процессов и аппаратов химической технологии: учеб. для вузов по спец. "Хим. технология". В 2 кн. Кн. 2 / В. Г. Айнштейн [и др.] ; под ред. В. Г. Айнштейна. - Москва : Химия, 2000. - 1758, [1] с.
30. Общий курс процессов и аппаратов химической технологии: учебник. В 2 кн. Кн. 2 / В. Г. Айнштейн [и др.] ; под ред. В. Г. Айнштейна. - Москва : Логос : Высш. шк., 2003. - 1758 с.
31. Опоры цилиндрические и конические вертикальных аппаратов. ГОСТ 26-467-84.
32. Основные процессы и аппараты химической технологии : примеры и справочные таблицы / А. Г. Касаткин. - Москва ; Ленинград : Гос. науч.-техн. изд-во химич. лит., 1941. - 253 с.
33. Основные процессы и аппараты химической технологии/Под ред. А.Г. Касаткин. М. – Л.: «Химия»,1973.
34. Основы конструирования и расчета химической аппаратуры/А.А. Лащинский, А.Р. Толчинский, справ. Москва, Ленинград 1963.
35. Основы химической технологии/Под ред. И.П. Мухленова, А.Е. Горштейн М.: Высш.шк., 1991.
36. Оценка воздействия на окружающую среду. Журнал/Под ред. А.А.Зрянин, №3, 2006.
37. Очистка технологических газов. Изд. 2-е, пер. и доп/Под ред. Т.А.Семенова, И.Л. Лейтеса М.: «Химия» 1977.
38. Под общей редакцией Н.А. Янковского. «Аммиак. Вопросы технологии» 2001 – 497с.

39. Примеры и задачи по общей химической технологии : учеб. пособие для вузов / В. И. Игнатенков, В. С. Бесков. - Гриф МО. - Москва : ИКЦ "Академкнига", 2006. - 198 с.
40. Производство аммиака/Под ред. В.П. Семенова М.: Химия, 1985.
41. Промышленная очистка газов = Industrial gas cleaning / В. Страус ; пер. Ю. Я. Косого. - Москва : Химия, 1981. - 615, [1] с.
42. Процессы и аппараты химической и нефтехимической технологии : учеб. для вузов / А. Н. Плановский, П. И. Николаев. - Изд. 2-е, перераб. и доп. - Москва : Химия, 1972. - 493 с.
43. Процессы и аппараты химической технологии: учеб. пособие для вузов / А. А. Захарова [и др.] ; под ред. А. А. Захаровой. - Гриф УМО. - Москва : Академия, 2006. - 522 с.
44. Равдель, А.А. Краткий справочник физико-химических величин / Равдель, А.А., Пономарева А.М., Спб.: Иван Федоров 2003, - 240 с.
45. Регламент ОАО «Тольяттиазот», «Технология производства аммиака фирмы «Кемико» 1996.
46. Семенов В.П. Производство аммиака / Семенов В.П., Киселев Г.Ф., Орлов А.А., Семенова Т.А., М.: Химия, 1985, - 368 с.
47. Сибикин, Ю.Д. Электробезопасность при эксплуатации электроустановок промышленных предприятий /Ю.Д. Сибикин, М.Ю. Сибикин; учебник для нач. проф. Образования. – 2-е изд., испр. и доп. – М.: Издательский центр «Академия», 2003. – 240с.
48. Сосуды и аппараты стальные сварные. Общие технические условия ГОСТ 26-291-87.
49. Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность. ГОСТ 14249-80.
50. Справочник азотчика: Физико-химические свойства газов и жидкостей. Производство технологических газов. Очистка технологических газов. Синтез аммиака. - 2-е изд., переработка/Под редакцией Е.Я. Мельников, М.: Химия 1986, - 512 с.

51. Степанов, А.В. Получение водорода и водородосодержащих газов /Степанов А.В, Киев: Наукова думка 1982, - 312 с.
52. Теоретические основы химической технологии: учеб. пособие для сред. проф. образования / Ю. А. Москвичев, А. К. Григоричев, О. С. Павлов. - Гриф МО. - Москва : Академия, 2005. - 270, [1] с.
53. Теоритические основы и технология синтеза аммиака. Под общей редакцией профессора А.М. Николаева. 1969 – 260с.
54. Тепло - массообмен в промышленных установках: тематич. сб. трудов промтеплоэнергетического факультета. № 3 / [ред. кол.: Л. А. Бровкин (отв. ред.) и др.]. - Иваново : ИЭИ, 1975. - 165 с
55. Технология конструкционных материалов : учеб. пособие / Г. М. Гаврилов, О. Г. Романова. - Тольятти : ТолПИ, 1993. - 139 с.
56. Технология минеральных удобрений и кислот/Под ред. А.А. Соколовского М.: «Химия» 1971.
57. Технология минеральных удобрений: Учебник для вузов. 6-е изд., перераб./Под ред. М.Е. Позин Л.: «Химия», 1989.
58. Учебное. пособие для вузов / Г. С. Ландсберг. - 6-е изд., стер.; Гриф МО. - Москва : Физмат лит, 2003. - 848 с.
59. Химическое оборудование в коррозионностойком исполнении: справочник / И. Я. Клинов [и др.]. - Москва : Машиностроение, 1970. - 591 с.
60. Экология : учеб. для вузов / Г. В. Стадницкий. - 8-е изд. ; Гриф МО. - Санкт-Петербург : Химиздат, 2004. - 287 с.