

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Тольяттинский государственный университет»

Институт химии и энергетики

(наименование института полностью)

Кафедра «Химическая технология и ресурсосбережение»

(наименование)

18.03.02 Энерго- и ресурсосберегающие процессы в химической технологии, нефтехимии
и биотехнологии

(код и наименование направления подготовки, специальности)

Рациональное природопользование, рециклинг и утилизация отходов

(направленность (профиль) / специализация)

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА **(БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА)**

на тему Выделение аммиака из танковых и продувочных газов агрегатов аммиака АМ-76
производства ПАО «ТольАТ»

Студент

Н.А. Мидюков

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

Ю. Н. Шевченко

(ученая степень, звание, И.О. Фамилия)

Тольятти 2021

Аннотация

Бакалаврскую работу выполнил: Мидюков Николай Александрович.

Тема работы: Выделение аммиака из танковых и продувочных газов агрегатов аммиака АМ-76 производства ПАО «ТоАЗ».

Руководитель: Шевченко Юлия Николаевна.

Бакалаврская работа выполнена на 62 страницах, включает 8 рисунков, 12 таблиц, использовано 35 источников литературы.

Объектом исследования является цех 07А по производству аммиака ПАО «ТольяттиАзот».

В первой части проанализирована технологическая схема синтеза аммиака, характеристики танковых и продувочных газов, определены возможности модернизации.

Во второй части описана предлагаемая установка по выделению аммиака из танково-продувочных газов, даны ее технические характеристики.

В третьей части представлен расчет материального баланса скруббера высокого давления (основного аппарата). Проведен конструктивный расчет скруббера. Представлено экологическое обоснование процесса.

Содержание

Введение.....	4
1 Анализ производства аммиака.....	6
1.1 Теоретические основы синтеза аммиака.....	8
1.2 Технологическая схема синтеза аммиака.....	9
1.3 Описание технологического процесса и схем АХУ.....	17
1.4 Энергетическое обеспечение производства аммиака.....	21
2 Предложение технического решения по выделению аммиака.....	25
2.1 Описание предлагаемой установки по выделению аммиака из танково-продувочных газов агрегатов аммиака АМ-76.....	26
2.2 Технические характеристики предлагаемой установки выделения аммиака из продувочных и танковых газов цикла синтеза.....	29
3 Расчетная часть.....	38
3.1 Материальный баланс скруббера 1124-D.....	39
3.2 Конструктивный расчет скруббера 1124-D.....	50
Заключение.....	55
Список используемой литературы и используемых источников.....	57
Приложение А Технологическая схема.....	62

Введение

Основная производственная деятельность ПАО «ТольяттиАзот» связана с выпуском: аммиака (агрегаты «Кемико» - 4 единицы, агрегаты «АМ-76» - 3 единицы), карбамида (2 агрегата), жидкой углекислоты, мебели, полиэтиленовой плёнки, фритты, базальтового волокна, огнеупоров, карбамидоформальдегидного концентрата (КФК) (по 5 ниткам), карбамидоформальдегидной смолы (КФС).

«На данное время в странах СНГ эксплуатируется около 40 агрегатов аммиака. Существующие агрегаты работают уже по 30-40 лет и требуют серьезных вложений для стабилизации своей работы, модернизации и для повышения энергетической эффективности. Большинство действующих аммиачных агрегатов построены в 70-80-е годы. Их проектная мощность составляла 1360 т/сутки, а удельная норма расхода газа – 1250 м³ /т.

Любое химическое производство является потенциально опасным объектом, оказывающим влияние на окружающую среду при производстве продукции. В современном мире ресурсосбережение является гарантом экологизации производства, снижения экологических рисков» [2]- [5].

При сжигании танковых и продувочных газов в атмосферу выбрасываются углекислый газ, окислы азота, водород. Эти газы влияют на формирование фотохимического смога в г.о.Тольятти.

Оксиды азота ($\text{NO}_x = \text{NO}, \text{NO}_2$) – токсичные вещества, оказывающие негативное воздействие не только на жизнь и здоровье людей, но и на окружающую среду в целом.

«Необходимость очистки продувочных газов от аммиака перед их глубокой переработкой связана с тем, что его присутствие в газовой смеси препятствует нормальной работе систем газоразделения» [5]. В случае попадания на мембраны он вызывает их необратимое уплотнение; в криогенных системах аммиак может переходить в твердое состояние; в

адсорбционных установках наличие аммиака в перерабатываемом газе снижает активность адсорбентов.

Переработка продувочных газов синтеза аммиака позволяет вернуть в цикл не прореагировавшие реагенты (водород, аммиак, азот и др.) и уносимые с продувочными газами товарные продукты, повысить экологическую и пожарную безопасность соответствующих производств.

При сжигании газовых выбросов в атмосферу выбрасываются оксиды азота. В настоящее время считается общепризнанным, что появление фотохимического смога в промышленных городах обусловлено высокой концентрацией в тропосфере формальдегида и оксидов азота [1].

Цель – снижение антропогенной нагрузки, путем переработки танково-продувочных газов с выделением аммиака.

В рамках поставленной цели решались следующие задачи:

- проанализировать существующий процесс синтеза аммиака; определить составы танковых, продувочных газов и возможное технологическое решение по их использованию;
- предложить принципиальную технологическую схему, обосновав аппаратную часть расчетами.

1 Анализ производства аммиака

«Все агрегаты производства аммиака на территории России, характеризуются сравнимыми показателями по уровню энергопотребления и воздействия на окружающую среду. Данное обстоятельство объясняется тем, что все они построены по однотипной технологической схеме, которая различается в основном аппаратным оформлением отдельных стадий технологического процесса и включает в себя» [19]:

- сжатие природного газа до давления не более 4,5 МПа [31];
- очистку от сернистых соединений (до содержания серы не выше $0,5 \cdot 10^{-4}$ %);
- паровоздушную двухступенчатую конверсию природного газа (до остаточного содержания метана не более 0,5 %);
- средне- и низкотемпературную конверсию оксида углерода (до содержания $0,5 \div 0,8$ об. %);
- очистку конвертированного газа от диоксида углерода (до не более 0,05 % в очищенном газе) одним из методов;
- метанирование остатков оксида и диоксида углерода (до их содержания $5 \div 10 \cdot 10^{-4}$ %);
- сжатие АВС до давления $20 \div 32$ МПа с промежуточным отбором части АВС на стадию сероочистки;
- синтез аммиака и выделение его из циркуляционного газа.

На рисунке 1 представлена блок-схема производства аммиака.

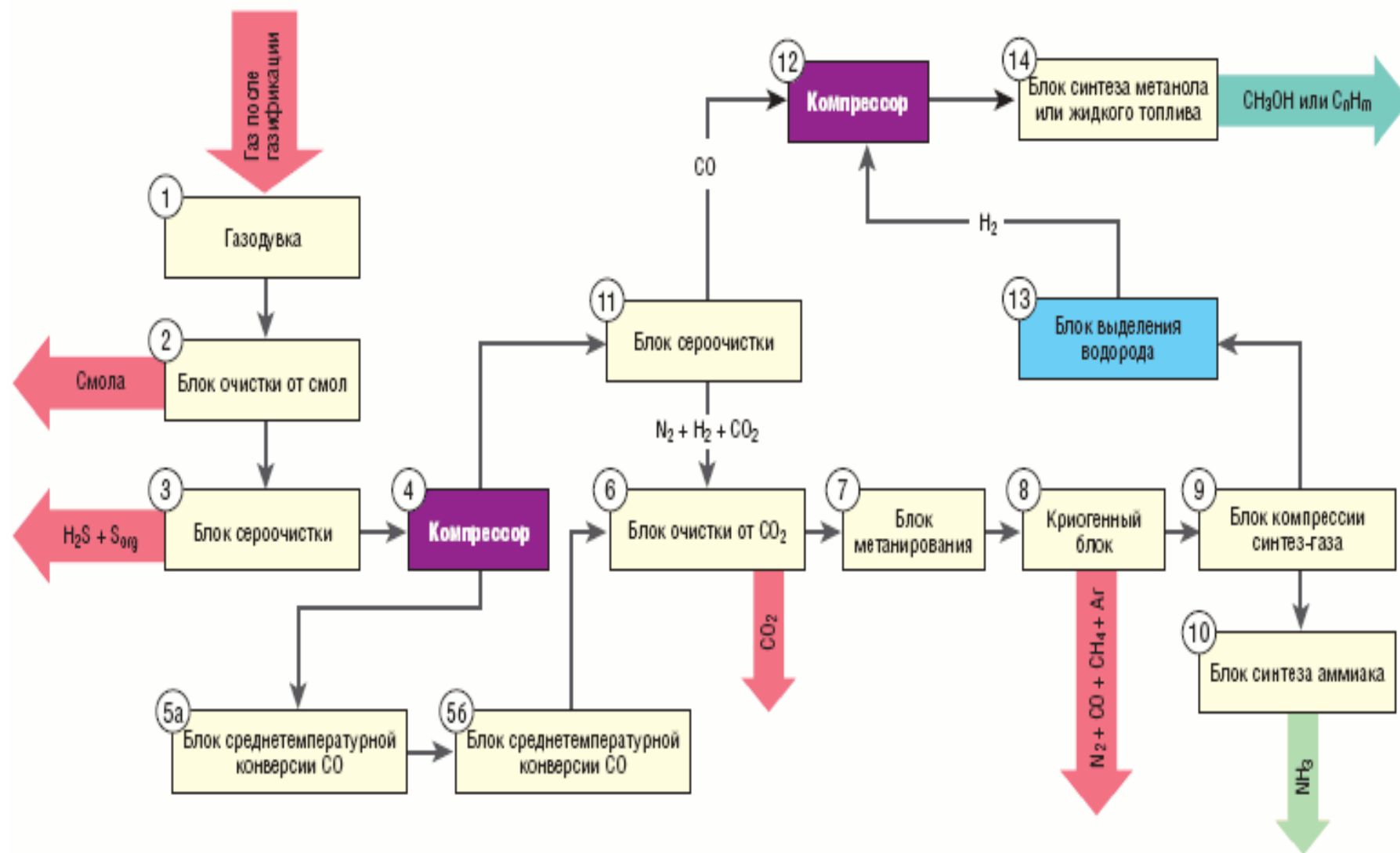


Рисунок 1 – Блок-схема технологии производства аммиака

1.1 Теоретические основы синтеза аммиака

Теоретические основы синтеза аммиака подробно изучены и освещены в технической литературе [5-8].

«Аммиак используется в качестве источника азота для производства удобрений в производстве пластмасс, взрывчатых веществ, гидразина, аминов, амидов, нитрилов и других органических азотных соединений, для производства красок и фармацевтических препаратов. Жидкий аммиак является важным растворителем, а также применяется в качестве хладагента (R-717)» [5].

«Синтез аммиака основан на обратимой экзотермической реакции:



Согласно принципу Ле-Шателье выход продукта будет увеличиваться при повышении давления и снижении температуры» [15].

Уравнение константы равновесия при выражении концентрации реагирующих веществ через их парциальные давления имеет вид:

$$K_p = \frac{P_{\text{N}_2} P_{\text{H}_2}^3}{P_{\text{NH}_3}^2}, \quad (2)$$

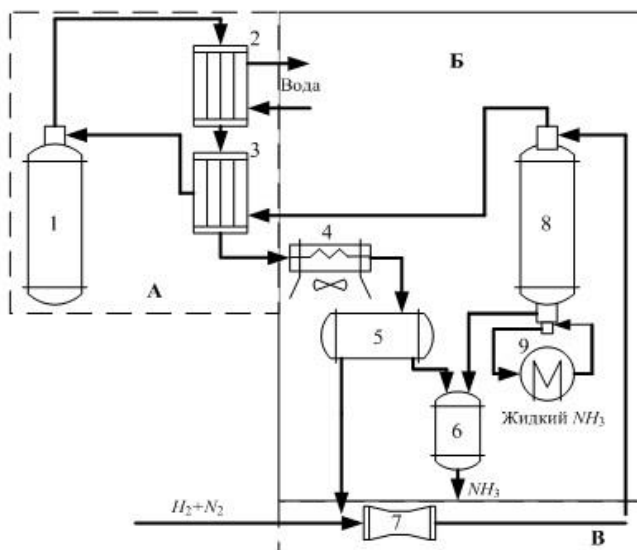
где P_{N_2} , P_{H_2} , P_{NH_3} -парциальное давление N_2 , H_2 , NH_3 » [5].

«Процесс с заметной скоростью протекает только в присутствии катализаторов» [9] - [10]. В соответствии с уравнением химической реакции соотношение водорода к азоту должно соответствовать 1:3, но исследования кинетики процесса, показали, что наивысшая скорость реакции синтеза аммиака в начальной стадии процесса соответствует соотношению реагентов 1:5. Это показывает, что скорость суммарного процесса катализа определяется стадией связывания азота с катализатором [33].

Азотоводородная смесь предварительно подогревается, кроме того, реакция протекает с выделением тепла, поэтому дополнительного подвода тепла не требуется [31].

Расход энергии на циркуляцию АВС через аппаратуру агрегата синтеза аммиака пропорционален объемной скорости, следовательно, он возрастает с увеличением объемной скорости газа. Расход энергии на сжатие свежей АВС возрастает незначительно с повышением давления [34].

На процесс синтеза большое влияние оказывает используемое при этом давление [5]. В принятой схеме, представленной на рисунке 2 процесс синтеза аммиака, ведется при давлении не более 320 кгс/см^2 и температуре не более 530°C .

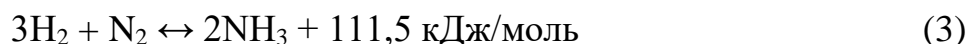


1-колонна синтеза аммиака; 2- водяной холодильник; 3-теплообменник; 4-воздушный сепаратор; 5-сепаратор; 6- циркуляционный компрессор; 8-конденсационная колонна; 9-испаритель

Рисунок 2 – Технологическая схема синтеза аммиака в колонне

1.2 Технологическая схема синтеза аммиака

В колонне синтеза аммиака на катализаторе (промотированное железо) при температурах 390 °С ÷ 530 °С протекает экзотермическая реакция образования аммиака из АВС:

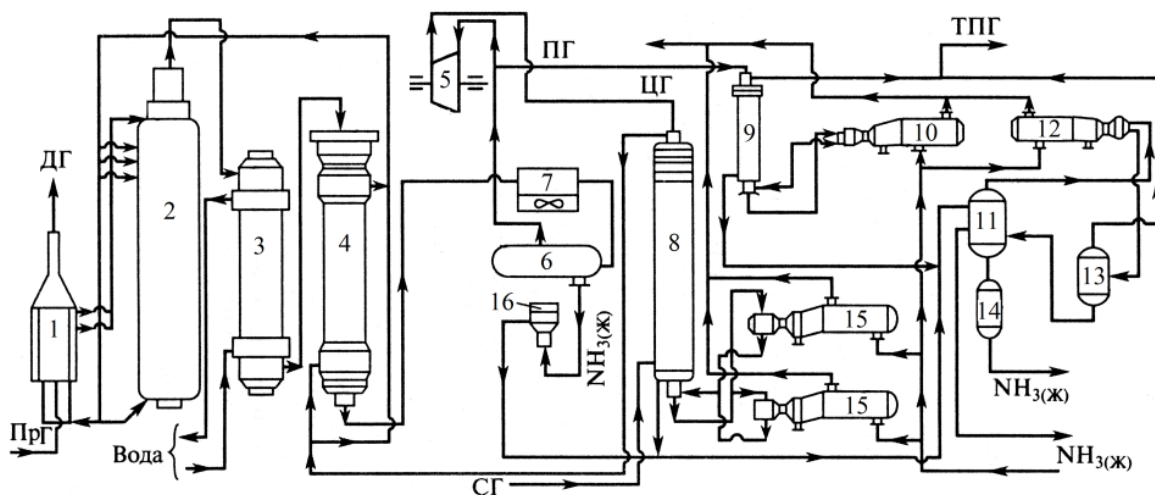


«Циркуляционный газ после колонны синтеза в зависимости от применяемой технологии выходит с температурой до 350 °С и содержанием аммиака до 19,9 %. Тепло реакции синтеза аммиака используется для нагрева питательной воды, подаваемой в котел-утилизатор для получения пара высокого давления. Конденсация аммиака производится в две ступени. При этом охлаждение газа проводят водой, воздухом, испаряющимся аммиаком. Сконденсировавшийся аммиак отделяется в сепараторе, а газ направляется на всас циркуляционного компрессора. Часть циркуляционного газа после первичного сепаратора постоянно выводится из системы, обеспечивая содержание инертных в газе на входе в колонну синтеза не более 18 об. %. Обеспечение аммиачным холодом агрегатов производится аммиачными компрессорными или абсорбционными холодильными установками. Продукционный аммиак может выдаваться потребителям как в жидком, так и в газообразном виде» [11]- [13].

«Свежая азотоводородная смесь (АВС), полученная в отделении риформинга затем сжимается в центробежном компрессоре, охлаждается в воздушном холодильнике до температуры 40–50°С и направляется в нижнюю часть конденсационной колонны. АВС барботирует через слой жидкого аммиака и смешивается с циркуляционным газом из испарителя жидкого аммиака» [2]. В колонне происходит дополнительная промывка АВС от следов влаги и углекислоты. Смесь свежего и циркуляционного газа нагревается

теплом встречного газа до температуры не выше 195°C и поступает в колонну синтеза [8].

«Принципиальная технологическая схема отделения синтеза унифицированного агрегата аммиака показана на рисунке 3» [5].



«1- подогреватель газа, 2 - колонна синтеза аммиака, 3 - подогреватель воды, 4 - выносной теплообменник, 5 - циркуляционное колесо компрессора, 6 - сепаратор жидкого аммиака, 7- блок аппаратов воздушного охлаждения (АВО), 8- конденсационная колонна, 9- конденсационная колонна продувочных газов, 10 - испаритель жидкого аммиака на линии продувочных газов, 11 - сборник жидкого аммиака, 12 - испаритель жидкого аммиака на линии танковых газов, 13 - сепаратор, 14 - промежуточная дренажная емкость, 15 - испарители жидкого аммиака, 16 - магнитный фильтр, ПрГ – газ природный, ДГ - дымовой газ, ПГ- продувочный газ, СГ - свежий газ, ЦГ- циркуляционный газ, ТПГ - танково-продувочные газы» [5]

Рисунок 3 - Принципиальная схема блока синтеза аммиака агрегата

Колонна синтеза представляет собой вертикальный аппарат высокого давления с обжатой горловиной. В корпусе высокого давления располагается насадка, состоящая из катализаторной коробки, теплообменника, расположенного на обжатой горловине и встроенного межполочного теплообменника (агрегат 6,7) [2]. Диаметр колонный -2,4 м, высота 31,43 м. Рабочая температура насадки 500-530°C. Разогрев корпуса аппарата – 200°C. Давление в аппарате- 320 кгс/см².

Колонна состоит из 4-х полок для агрегата 5 и 3-х полок для агрегатов 6,7. Полки колонны загружаются железным промотированным катализатором.

Между полок имеется встроенный теплообменник диаметром 1 м и высотой 6 м. Рабочее давление 300 кгс/см². Рабочая среда – азотоводородная смесь.

Второй встроенный теплообменник имеет диаметр 1 м, высоту 6,585 м.

В теплообменнике установлено 1920 шт трубок диаметром 12 мм длиной 7,664 м. Толщина стенок 1.5 мм. Общая площадь 475 м². Рабочее давление 300 кгс/см² изб. Рабочая среда – азотоводородоаммиачная смесь.

На рисунке 4 показан общий вид колонны синтеза аммиака.

«Синтез - газ поступает в колонну снизу, проходит по кольцевому зазору между корпусом колонны 15 и кожухом катализаторной коробки 3 и направляется в межтрубное пространство теплообменника 6, там он нагревается до 420 – 440°С. По трубкам пропускают конвертированный газ. Подогретый синтез-газ опускается вниз, последовательно проходя через четыре слоя катализатора 8, 10, 12, 14. Между полками подается холодный байпасный газ» [2].

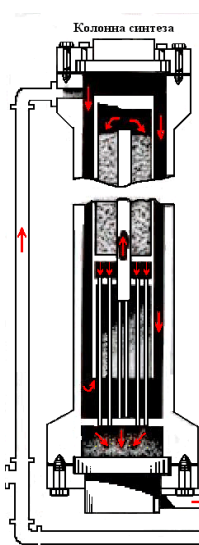


Рисунок 4 - Колонна синтеза аммиака

«Корпус катализаторной коробки изготовлен из хромоникелемолибденовой стали 10X18H12M2T, теплообменник – из стали 12X18H10T. Давление поддерживается не более 320 кгс/см², температура не выше 530°C» [2,4].

В результате синтеза аммиака после четырех слоев катализатора образуется конвертированный газ - азотоводородоаммиачная смесь, содержащая 14–16,5% NH₃. В результате реакции взаимодействия азота с водородом происходит разогрев газовой смеси. Конвертированный газ с температурой 500–530°C поднимается по центральной трубе 2 и поступает в трубки внутреннего теплообменника, где охлаждается до температуры 300–325°C. В межтрубном пространстве происходит нагрев сырьевой азотоводородной смеси.

«Конвертированный газ из колонны синтеза поступает в трубное пространство подогревателя питательной воды, где охлаждается до 240°C [2]. После чего конвертированный газ проходит водяной теплообменник и охлаждается до 55–75°C. Затем газ поступает в аппараты воздушного охлаждения, где охлаждается до температуры 21–43°C. При этом происходит частичная конденсация аммиака, который отделяется в сепараторе. Содержание NH₃ в газовой смеси снижается до примерно 11% об. – это так называемый циркуляционный газ. Для восполнения потерь давления в системе циркуляционный газ проходит через компрессор с температурой не выше 55°C поступает на вторичную конденсацию» [5]- [10].

Вторичная конденсационная колонна имеет встроенный теплообменник, испаритель жидкого аммиака и сепарационную часть. В теплообменнике циркуляционный газ охлаждается до температуры 18–25°C, а в испарителе жидкого аммиака - не выше (+3) °C за счёт аммиака, кипящего в межтрубном пространстве испарителя. Процесс кипения (испарения) аммиака при температуре около минус 12°C. Затем аммиак направляется на абсорбционно-холодильную установку.

После отделения в сепарационной части сконденсировавшегося аммиака циркуляционный газ смешивается со свежей азотоводородной смесью и возвращается в колонну синтеза.

Жидкий аммиак с температурой до 40°C очищается от катализаторной пыли в магнитных фильтрах, дросселируется с высокого давления до 18–20 кгс/см² и поступает в сборник готовой продукции. Туда же после дросселирования поступает и жидкий аммиак с температурой до минус 1,0°C из конденсационной колонны. «В сборнике жидкого аммиака после дросселирования идёт выделение растворенных в жидком аммиаке газов H₂, N₂, CH₄ и Ar. Так как эти, так называемые, танковые газы содержат около 33% аммиака, он конденсируется в трубном пространстве испарителя за счет охлаждения газов до температуры минус 25°C – минус 30°C, а затем отделяется в сепараторе.

Аммиак жидкий, выдаваемый из сборника готовой продукции, содержит растворенные газы в количестве 138 нм³ /час (CH₄ - 54% об.; H₂ - 30% об.; Ar - 6 % об.; N₂ - 10% об.)» [4]. Переохлажденный жидкий аммиак с температурой н/б минус 28°C насосом жидкого аммиака выдается в хранилище. В блоке синтеза аммиака нет сточных вод. Все образующиеся сливы жидкого аммиака и водные потоки от чистки оборудования, содержащие аммиак, собираются в дренажные емкости, подаются на склад и реализуются как аммиачная вода. Все газовые потоки зациркулированы, в результате чего выбросы в атмосферу минимальны. В атмосферу выделяются лишь газы от компрессионного оборудования с содержанием аммиак NH₃-42,195 мг/м³.

«Отработанные катализаторы реализуются для повторного использования. Современные химико-технологические процессы отличаются сложностью и большой скоростью протекания, а также чувствительностью к отклонению режимных параметров от нормальных. Отклонение параметров процесса от жестко заданных норм может привести не только к потере качества готовой продукции, порче сырья, вспомогательных веществ

(например, катализаторов), но и к аварийной ситуации, включая пожары, взрывы, выбросы большого количества вредных веществ в окружающую среду» [17]. Одним из заданий, которые стоят перед каждым производством, является неуклонное повышение качества продукции, совершенствования технологии производства, а также повышения надежности и безопасности оборудования. Технологические параметры процесса синтеза аммиака, обеспечивающие безопасность ведения процесса и получение качественной продукции представлены в таблице 1.

Таблица 1 - Технологические показатели синтеза аммиака [2,4]

Наименование стадии и потоков реагентов	Скорость подачи	Температура, °С	Давление, Мпа (кгс/см ³)	Другие показатели
Подача свежей азотоводородной смеси на синтез (перед конденсационной колонной)	-	-	не более 32,0 (320 кгс/см ²)	Содержание: Н ₂ -73 ÷ 74 % СО ₂ не более 5 ppm СО не более 10 ppm СН ₄ +Ar н/б 1,3 %
Циркуляционный газ на входе в колонну синтеза	не менее 750000 м ³ /ч	не более 195	не более 31,9 (319 кгс/см ²)	Содержание в %: NH ₃ н/б 4,7; Н ₂ :N ₂ - 2,9 ÷ 3,1 / 1; (СН ₄ +Ar) - 11 ÷ 18
Зона катализа колонны синтеза	-	не более 530	-	-
Температура стенок корпуса колонны синтеза	-	не более 250	-	-
Перепад давления газа между входом в колонну синтеза и выходом из подогревателя воды	-	-	5А - н/б 1,8 (18,0 кгс/см ²) 6А,7А - н/б 0,6 (6,0 кгс/см ²)	-
Выход газа из выносного теплообменника	-	55 ÷ 75	-	-
Выход газа из подогревателя питательной воды	-	-	-	Содержание в %: NH ₃ 14 - 16,5;
Конденсация аммиака в аппарате воздушного охлаждения	-	21 ÷ 43	-	-
Вторичная конденсация аммиака в конденсационной колонне и испарителе	-	-	-	-

Продолжение таблицы 1

Наименование стадии и потоков реагентов	Скорость подачи	Температура, °С	Давление, Мпа (кгс/см ³)	Другие показатели
а) выход азотоводородоаммиачной смеси из испарителя циркуляционного газа б) выход газообразного аммиака из испарителя	-	не более 3	-	Содержание Н ₂ – отсутствие
Давление в сборнике готовой продукции	-	-	1,8 ÷ 2,0 (18-20 кгс/см ²)	-
Подогреватель питательной воды а) вход питательной воды	-	102 ÷ 105	-	
б) выход питательной воды	-	290 ÷ 300	-	НН ₃ – отс.; электропроводность н/б 10 мкСм/см
Вымораживание аммиака из танковых и продувочных газов а) выход газообразного аммиака из испарителя на продувочных газах б) выход газообразного аммиака из испарителя на танковых газах	-	-28 ÷ - 33 - 28 ÷ - 33	-	Содержание Н ₂ – отсутствие Содержание Н ₂ - отсутствие
Количество газов постоянной продувки после вымораживания на сжигание	не более 8200 м ³ /ч	-	-	НН ₃ - не более 4 %
Количество жидкого аммиака после сборника готовой продукции	не более 62 т/ч	-	-	-

1.3 Описание технологического процесса и схем АХУ

В аммиачно-холодильных установках (АХУ) в качестве холодильного агента используется жидкий аммиак. Абсорбентом является, водоаммиачный раствор. Для всех АХУ выделяют следующие циклы [25-27]:

- цикл жидкого и газообразного аммиака;
- цикл крепкого и слабого водоаммиачного раствора;
- цикл оборотной воды;
- цикл питательной и увлажняющей воды;
- цикл теплоносителя;
- цикл переохлаждения продукционного аммиака.

Цикличность процессов обеспечивает более полное использование сырьевых компонентов и предполагает отсутствие постоянных выбросов в атмосферу и сбросов сточных вод [35].

Цикл газообразного и жидкого аммиака

«Жидкий аммиак используется в межтрубном пространстве испарителя, где кипит, снимая тепло охлаждаемого в трубном пространстве газа» [9]. «Пары аммиака, выходящие из испарителя, подогреваются в межтрубном пространстве переохладителя жидким аммиаком, поступающим по трубному пространству переохладителя из ресивера в испарители [19].

Подогретый газообразный аммиак поступает параллельно в среднюю часть межтрубного пространства элементов абсорбера, где поглощается слабым водоаммиачным раствором» [9].

«Образовавшийся крепкий водоаммиачный раствор из ресивера подается на выпаривание в генератор-ректификатор. Выпаривание происходит за счет тепла, поступающего в межтрубное пространство генератора-ректификатора. На насадке из колец Рашига и на ректификационных тарелках происходит частичное отделение водяных паров из выпаривающегося аммиака крепким водоаммиачным раствором» [9].

«Из генератора-ректификатора газообразный аммиак с некоторой примесью паров воды поступает в дефлегматор, где происходит окончательная конденсация водяных паров. Тепло(энергия) дефлегмации отводится холодным крепким водоаммиачным раствором. Газообразный аммиак из межтрубного пространства дефлегматора очищенный до концентрации 99,8% вес. поступает на охлаждение в аппарат воздушного охлаждения (АВО), где конденсируется» [19].

Цикл крепкого и слабого водоаммиачного раствора

«Крепкий водоаммиачный раствор, поступающий на выпаривание в генератор-ректификатор, орошает насадку из колец Рашига, а затем пройдя винтовые направляющие завихрители, пленкой стекает по внутренней поверхности теплообменных трубок» [20]. Кипение раствора осуществляется в процессе стекания его вниз, за счет поступающего в межтрубное пространство теплоносителя.

«Слабый водоаммиачный раствор собирается в нижней части генератора-ректификатора и оттуда направляется в верхний элемент абсорбера, затем стекает вниз и постепенно насыщается парами аммиака, образующимися в испарителе и поступающими параллельно в межтрубное пространство. Образовавшийся крепкий раствор водоаммиачный, собирается в ресивере крепкого раствора» [21].

Из ресивера крепкого раствора крепкий водоаммиачный раствор, пройдя трубное пространство дефлегматора и теплообменник подогревается, за счет теплообмена со слабым водоаммиачным раствором, идущим из генератора-ректификатора, и подается в верхнюю часть генератора-ректификатора. Для очистки от механических примесей применяются фильтры.

Цикл оборотной воды

Охлаждающая вода из водооборотного цикла предназначена для снятия тепла, выделяющегося в процессе абсорбции газообразного аммиака слабым водоаммиачным раствором.

Цикл питательной и увлажняющей воды

В аппараты воздушного охлаждения для снижения температуры окружающего воздуха, подается газовый конденсат давлением не менее 6 кгс/см². Питательная вода давлением не менее 4 кгс/см² подается в ресиверы крепкого водоаммиачного раствора для приготовления раствора.

Цикл теплоносителя

В АХУ в качестве теплоносителя используется водяной пар давлением 3,5 или 7 кгс/см² и температурой 145–180°С. Пар подается в межтрубное пространство теплообменника и в змеевик нижней части генератора ректификатора. Пар конденсируется, отдавая свое тепло водоаммиачному раствору, а конденсат с температурой не выше 145°С через отделитель парового конденсата возвращается в паровой цикл в емкость. В качестве теплоносителей используются также парогазовая смесь и пар давлением 3,5 кгс/см² в верхних теплообменниках, в нижние теплообменники генераторов-ректификаторов подается неочищенный конвертированный газ.

Парогазовая смесь давлением не выше 1,6 кгс/см² и температурой не выше 128°С подается из отпарной колонны одновременно в межтрубное пространство верхних кипятильников двух генераторов-ректификаторов. Отдав свое тепло водоаммиачному раствору, парогазовая смесь с температурой не менее 122°С вместе со сконденсировавшейся влагой направляется в сепаратор.

В сепараторах происходит отделение газовой части от конденсата. Газовая часть сбрасывается в атмосферу, а конденсат подается в отпарную колонну газового конденсата.

Водяной пар давлением 3,5 кгс/см² и температурой 148–150 °С подается в верхние кипятильники генераторов-ректификаторов. Неочищенный конвертированный газ давлением не выше 28 кгс/см² и температурой 140–180°С после кипятильников МДЭА (МЭА) очистки поступает параллельно в межтрубное пространство нижних кипятильников двух генераторов-ректификаторов [9].

После теплообмена с водоаммиачным раствором неочищенный конвертированный газ с температурой 123–140 °С выходит из кипятильников и направляется через сепаратор в межтрубное пространство теплообменников генератора-ректификатора. Конвертированный газ, охладившись в кипятильниках генератора-ректификатора до температуры 107 °С, через сепаратор направляется на дальнейшее охлаждение.

Цикл переохлаждения продукционного аммиака

«При работе без рекуперации холода в переохладителях продукционный аммиак с температурой 10-20°С вместе с растворенными в нем инертными газами из сборника жидкого аммиака поступает в сепаратор-расширитель, где за счет снижения давления не выше 1,96 кгс/см² происходит отделение инертных из продукционного аммиака и охлаждение его до температуры минус 10°С» [9].

«Инерты с испарившимся аммиаком направляются в абсорбер, где поглощается основная часть газообразного аммиака слабым водоаммиачным раствором. Остатки непоглощённого аммиака с инертными направляются в скруббер, насадка из металлических колец Рашига которого орошается охлажденным до температуры не более 20°С слабым водоаммиачным раствором» [9].

Охлаждение слабого водоаммиачного раствора происходит в переохладителе за счёт испарения в межтрубном пространстве жидкого аммиака.

Из скруббера насыщенный водоаммиачный раствор возвращается в процесс, а инертные газы с небольшим количеством аммиака выбрасываются в атмосферу [32]. Продукционный аммиак из сепаратора-расширителя через фильтр выдаётся в изотермическое хранилище.

Для рекуперации холода продукционный аммиак с температурой не более минус 28°С направляется в трубную часть переохладителя, где охлаждает аммиак жидкий, выходящий из сепаратора-расширителя до температуры не более минус 23 °С. «После переохладителя продукционный

жидкий аммиак с температурой не более минус 19°C поступает в трубную часть переохладителя производственного аммиака, где охлаждает производственный жидкий аммиак, выходящий из сборника жидкого аммиака до температуры минус 10°C. После этого производственный жидкий аммиак из трубной части переохладителя подаётся на склад жидкого аммиака с температурой не более 8°C» [9].

Избавление от инертов производственного жидкого аммиака происходит также, как и при работе без рекуперации холода в переохладителях.

1.4 Энергетическое обеспечение производства аммиака

«Высокопроизводительные агрегаты производства аммиака характеризуются наличием многочисленных материальных и энергетических потоков. Такой агрегат содержит 24 аппарата, преобразующих 25 материальных потоков, и 94 аппарата, преобразующих 115 энергетических потоков, 5 каталитических реакторов с 8 различными катализаторами, 11 основных рециркуляционных потоков сырья и продуктов реакций.

Современное производство аммиака предусматривает почти полную рекуперацию тепла экзотермических химических реакций: шахтной паровоздушной конверсии метана, конверсии оксида углерода, метанирования и синтеза аммиака [18].

За счет этого вся энергия, необходимая для процесса производства генерируется непосредственно в технологической схеме. Используется также тепло дымовых газов, выходящих из трубчатой печи» [9].

На рисунке 5 изображена условная схема распределения основных материальных потоков процесса синтеза аммиака.

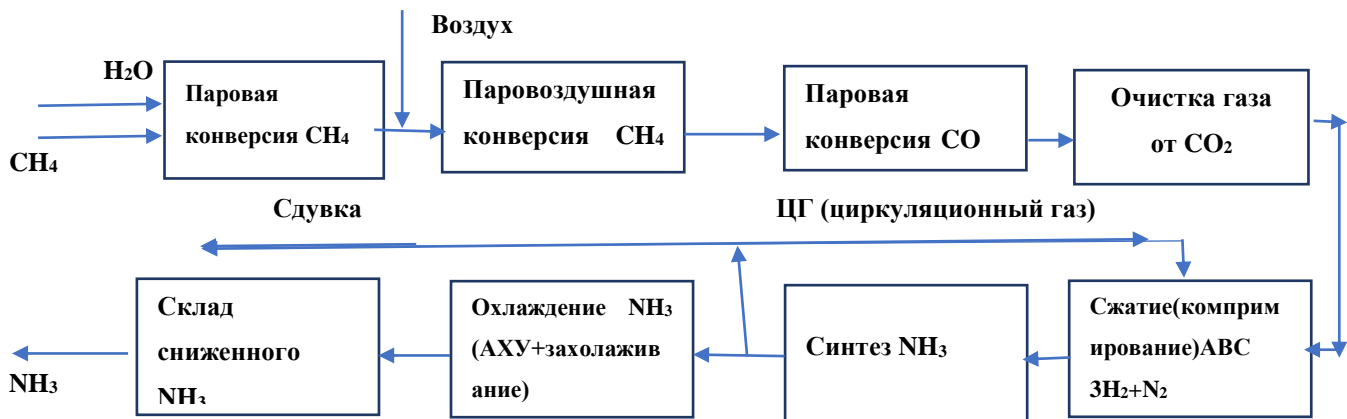
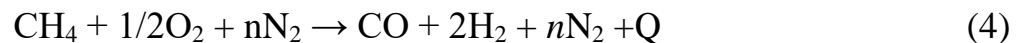


Рисунок 5 - Схема материальных потоков процесса синтеза NH_3

Эндотермической реакцией является только конверсия метана водяным паром с образованием оксида углерода [23].

Экзотермическими реакциями являются:

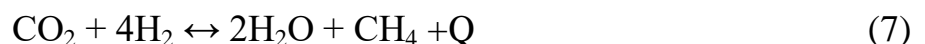
- частичная конверсия метана кислородом воздуха по реакции:



- конверсия CO водяным паром по реакции:



- очистка азотоводородной смеси от «следовых» количеств CO и CO_2 «метанированием» по реакциям:



Синтез аммиака также идет с выделением тепла [14].

В высокопроизводительном производстве аммиака обеспечивается практически полное использование тепла всех экзотермических реакций [24].

В процессе синтеза аммиака получается водяной пар с параметрами (давление 10 МПа, температура $\approx 300^\circ\text{C}$), что позволяет полностью соблюдать потребности производства NH_3 в технологическом паре и механической энергии.

Основные принципы, которые должны всегда учитываться при разработке концепции модернизации аммиачного агрегата:

- рециклинг материальных потоков;
- использование малотоксичных химических веществ и некоррозионных материалов;
- использование материалов и катализаторов с возможностью их повторного использования в технологическом процессе;
- повышение надежности аппаратов и оборудования;
- интегрирование и диверсификация производств;
- снижение энергетических затрат за счет модернизации существующих технологических циклов и режимов.

«Увеличение степени использования вторичных энергоресурсов можно, например, за счет использования тепла дымовых газов для нагрева воздуха или других технологических потоков путем снижения их температуры на выходе с 230 до 190°C » [27].

«Для снижения расхода углеводородного сырья «необходимо осуществлять сбор и разделение «продувочных» и резервуарных «танковых» газов, содержащих около 60% H_2 , полученного конверсией углеводородного сырья, и 7% аргона. Водород после разделения следует направить для смешения с циркулирующим потоком синтез газа (H_2+N_2), либо на сжигание в печь риформинга агрегата аммиака, а выделенный аммиак на выдачу потребителю, аргон - на получение «технического аргона»» [28].

Описанные совершенствования могут дать экономию энергетических затрат в виду того, что в данное время танковые и продувочные газы, поступающие из отделения синтеза и содержащие в себе до 8% NH_3 , просто сжигаются в печи риформинга что приводит к увеличенному содержанию

окислов азота NO, NO_x и CO в дымовых газах за счет плохого горения аммиака, увеличению вредных выбросов в атмосферу. Отчасти это нивелируется гомогенной очисткой дымовых газов от окислов азота, но в связи с увеличением нагрузки производства, естественным износом оборудования не всегда удается добиться корректных результатов анализа, соответствующего нормам [16].

Выводы по разделу 1

Анализ технологического процесса синтеза аммиака определил направление оптимизации процесса с позиции ресурсосбережения – необходимость очистки продувочных газов от аммиака перед их глубокой переработкой.

При сжигании газовых выбросов в атмосферу выбрасываются оксиды азота [16]. В настоящее время считается общепризнанным, что появление фотохимического смога в промышленных городах обусловлено высокой концентрацией в тропосфере формальдегида и оксидов азота [1]. Следовательно, назревает острая необходимость в очистке газовых выбросов.

Необходимость очистки продувочных газов от аммиака перед их глубокой переработкой связана с тем, что его присутствие в газовой смеси препятствует нормальной работе систем газоразделения. В случае попадания на мембраны он вызывает их необратимое уплотнение; в криогенных системах аммиак может переходить в твердое состояние; в адсорбционных установках наличие аммиака в перерабатываемом газе снижает активность адсорбентов [6].

2 Предложение технического решения по выделению аммиака

В процессе производства аммиака на отделении синтеза образуются танковые и продувочные газы общим объёмом до 10000м³/ч (продувочных газов примерно 60%, таковых 40%) от каждого агрегата аммиака АМ-76 (№ 5,6,7), которые идут на сжигание в печь риформинга, либо сбрасываются на факельную установку для утилизации.

В своем составе они имеют:

1 Продувочные газы после конденсационной колонны 611 представляют собой газовую смесь, состоящую из следующих компонентов в % об:

Таблица 2 - Состав продувочных газов после конденсационной колонны

Вещество	% об
H ₂	56,04
N ₂	18,57
CH ₄	14,77
Ar	8,3
NH ₃	2,32

2 Танковые газы после сепаратора 614 представляют собой газовую смесь следующего состава в % об.:

Таблица 3 - Состав танковых газов после сепаратора

Вещество	% об
H ₂	43,4
N ₂	14,47
CH ₄	31,85
Ar	4,98
NH ₃	Не более 6,4

Как мы видим из представленного состава порядка 60% это водород, который отлично горит и может быть использован как экологичный вид

топлива в этих печах без образования дополнительных объёмов окислов азота (NO) и оксида углерода (CO) в дымовых газах. Около 30% это метан и от 6 до 8% это аммиак, который плохо горит и при сгорании дает нам ненужный дополнительный объём этих самых окислов азота и оксида углерода которые являются вредными для экологии веществами.

«В патентной и технической литературе описаны разнообразные способы выделения аммиака из продувочных и танковых газов: в качестве топлива после отделения аммиака; выделение аммиака и водородной фракции с использованием отходящего газа в качестве топлива; разделение смеси газов с получением чистого аргона, водородной фракции, метановой фракции и аммиака в виде водного раствора.

В соответствии с этим предлагается к внедрению установка по выделению аммиака из танково-продувочных газов, с выдачей аммиака потребителю, а водород направить на смешение с природным газом, идущим на топливо в печь риформинга в чистом виде, подробное описание предлагаемой установки представлено далее» [29]- [30].

2.1 Описание предлагаемой установки по выделению аммиака из танково-продувочных газов агрегатов аммиака АМ-76

Предлагаемая стадия выделения аммиака предназначена для утилизации аммиака, содержащегося в продувочных, танковых газах цикла синтеза и газах инертной сдувки сборника хладагента 1149-D.

Принципиальная схема процесса представлена на рисунке 6.

Процесс выделения аммиака осуществляется методом водной абсорбции в скрубберах насадочного типа с последующей разгонкой аммиачной воды и выделением жидкого аммиака.

Продувочные газы после сепаратора 1146-D поступают в аммиачный скруббер высокого давления 1124-D, представляющий собой колонну с двумя слоями насадки, в которой осуществляется промывка газа водой и

выделение аммиака в виде водного раствора (аммиачной воды). Отмытые от аммиака продувочные газы поступают в установку выделения водорода 1130-L.

Аналогичным образом дроссельные (танковые) газы из сборника аммиака 1147-D смешиваются с отходящими газами из сборника хладагента 1149-D и поступают в аммиачный скруббер низкого давления 1123-D, представляющий собой колонну с двумя слоями насадки.

Отмытые от аммиака танковые газы выводятся из верхней части скруббера и выдаются в топливную систему печей риформинга действующих агрегатов аммиака АМ-76 №№ 5А; 6А; 7А для сжигания в горелках печей.

Водный раствор аммиака выводится из нижней части скруббера и подается циркуляционным насосом низкого давления 1160-J/А в линию аммиачного водного раствора из скруббера 1124-D. Смешанный раствор подогревается в теплообменнике 1161-С отходящим потоком дистилляционной колонны 1125-D, после чего поступает в колонну 1125-D, в которой осуществляется дистилляция водного раствора аммиака.

В отпарной секции колонны расположены два слоя насадки, в ректификационной секции – один слой. Подвод тепла, необходимого для дистилляции, обеспечивается кипятильником дистилляционной колонны 1160-С, в качестве теплоносителя в кипятильнике используется пар среднего давления. Орошение колонны осуществляется жидким аммиаком, подаваемым насосом производного теплого аммиака 1113-J/А. Пары аммиака из верхней части колонны поступают в конденсатор аммиака 1127-С. Сконденсировавшийся аммиак поступает в сборник 1149-D. Отмывочная вода из нижней части колонны используется для подогрева водного раствора аммиака в подогревателе 1161-С. После этого вода разделяется на два потока: первый поток подается на орошение скруббера аммиака низкого давления 1123-D, второй поток подается циркуляционными насосами высокого давления 1161-J/А на орошение скруббера высокого давления 1124-D.

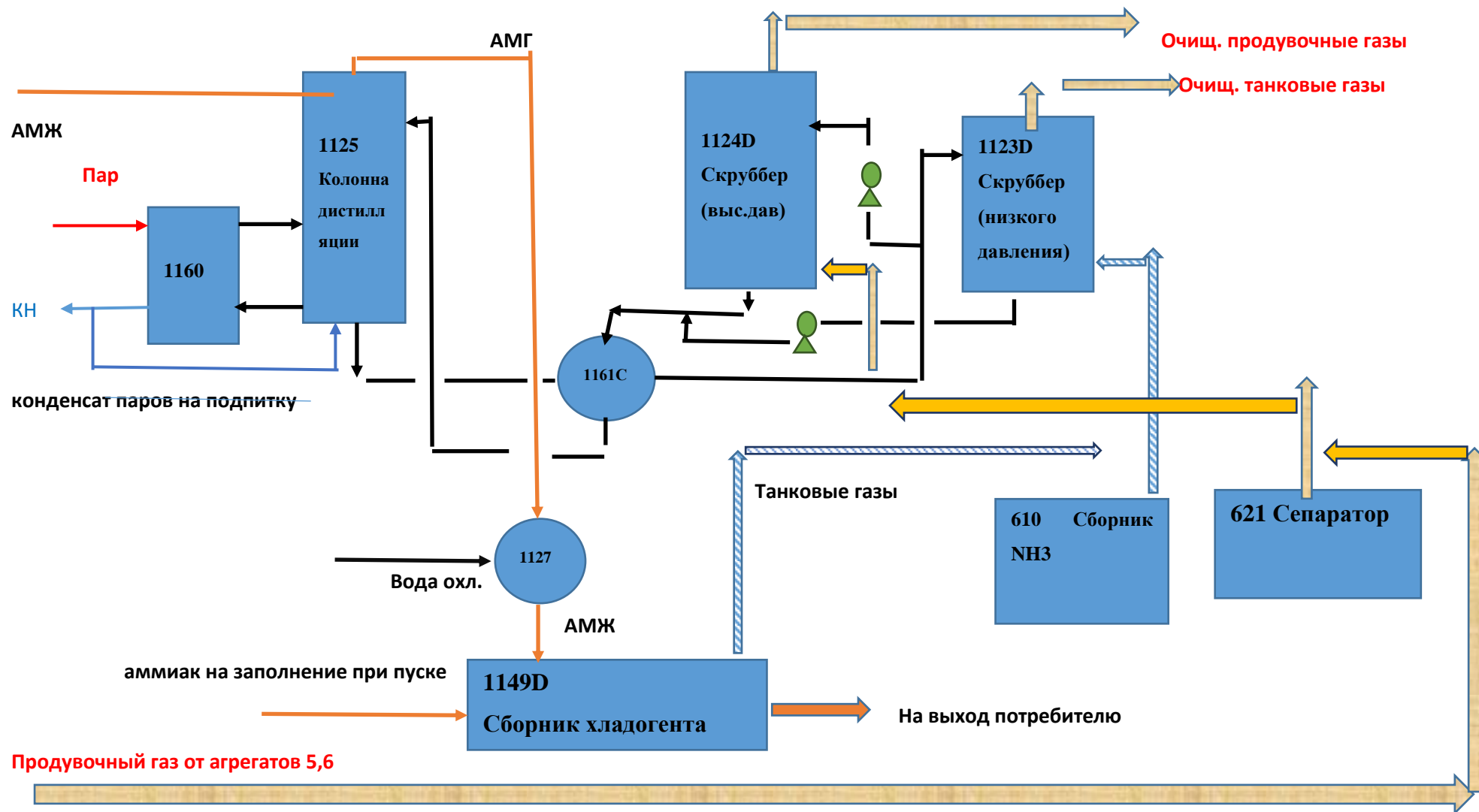


Рисунок 6 –Принципиальная схема предлагаемого технологического процесса

Таблица 4- Перечень потребителей электроэнергии

Позиция электроприемника	Наименование позиции оборудования	Режим работы	Потребляемая мощность, кВт/ч		Номинальная мощность, кВт/ч	Число часов работы в год	Годовой расход электроэнергии, кВт/ч
			Единицы	Общая			
1160-J/JA	Циркуляционный насос низкого давления	Постоянно	0,7	0,7	1,1	8000	5600
1161-J/JA	Циркуляционный насос высокого давления	Постоянно	13,2	13,2	18,5	8000	105600
1113-J/JA	Насос теплопродукционного аммиака	Постоянно	23,2	23,2	30	8000	185600
1115-J/JA	Насос парового конденсата	Постоянно	0,4	0,4	0,75	8000	3200

2.2 Технические характеристики предлагаемой установки выделения аммиака из продувочных и танковых газов цикла синтеза

Аммиачный скруббер высокого давления 1124-D.

Скруббер представляет собой колонный аппарат насадочного типа с каплеотбойником.

Расход продувочных газов поддерживает регулятор с сигнализацией максимального 23009 кг/ч и минимального 11504 кг/ч значений. Установка регулятору задается в размере 23% от общего расхода продувочных газов, поступающих в установку из действующих агрегатов АМ-76, после выделения из них аммиака в сепараторе 1146-D. Заданное значение расхода

устанавливается регулятору и может меняться оператором в диапазоне от 0% до 50%.

Температуру продувочных газов перед скруббером контролирует датчик температуры, давление – датчик давления с сигнализацией максимального $194,4 \text{ кгс/см}^2$ (изб.) и минимального $159,0 \text{ кгс/см}^2$ (изб.) значений, перепад давления на насадке скруббера измеряется с сигнализацией максимального значения $0,25 \text{ кгс/см}^2$ (изб.). Необходимо предусмотреть отбор пробы для аналитического контроля состава продувочных газов, поступающих в скруббер. Для предотвращения повышения давления выше расчетного на линии подачи продувочных газов в скруббер необходимо предусмотреть предохранительные клапаны с давлением начала открытия 140 кгс/см^2 (изб.).

Орошение скруббера производится регенерированной аммиачной водой из дистилляционной колонны 1125-D после ее предварительного охлаждения до $32 \text{ }^\circ\text{C}$ в подогревателе аммиачной водой, поступающей в дистилляционную колонну. Промывочная вода подается на орошение скруббера циркуляционными насосами высокого давления.

Давление в скруббере поддерживает регулятор с разделенным диапазоном с сигнализацией максимального значения 135 кгс/см^2 (изб.). Регулятор управляет дросселирующими регулирующими клапанами в двухпозиционной системе регулирования. При выходном сигнале регулятора в диапазоне 0 – 50% клапан на линии подачи продувочных газов в топливную сеть агрегатов АМ-76 будет открыт от 0 до 100%. При выходном сигнале в диапазоне 50 – 100% клапан остается открытым, а часть потока сбрасывается в факельный коллектор, который открывается от 0 до 100%.

Расход продувочных газов в топливную сеть действующих агрегатов АМ-76 №№ 5А, 6А, 7А контролирует контроллер.

Водный раствор аммиака выводится из нижней части скруббера, охлаждается в подогревателе аммиачной воды 1161-С и направляется на

регенерацию в дистилляционную колонну 1125-D. Температуру раствора на выходе из скруббера контролирует датчик.

Очищенные от аммиака продувочные газы направляются в установку выделения водорода 1130-L. Расход поддерживает регулятором. На линии выдачи очищенных от аммиака продувочных газов необходимо установить быстродействующий отсечной клапан. При отключении установки выделения водорода 130L закрывается.

Аммиачный скруббер низкого давления 1123-D.

В скруббере 1123-D осуществляется выделение аммиака из танковых газов и инертной сдувки сборника хладагента.

Технические характеристики:

Скруббер представляет собой колонный аппарат насадочного типа с каплеотбойником.

Параметры процесса:

Давление: $P_{\text{раб.}} = 14,6 \text{ кгс/см}^2$ (изб.); $P_{\text{расч.}} = 16,1 \text{ кгс/см}^2$ (изб.).

Температура: $T_{\text{раб. верх/низ.}} = 32,3/47,2 \text{ }^\circ\text{C}$; $T_{\text{расч. макс./мин.}} = 75/\text{минус } 30 \text{ }^\circ\text{C}$.

Среда: аммиачная вода, танковые газы.

Материал - сталь ASTM A 516 Gr70.

Аппарат изолируется, толщина изоляции 50 мм.

Танковые газы из сборника аммиака 1147-D объединяются с отходящими газами из сборника хладагента 1149-D системы аммиачного охлаждения и поступают в скруббер аммиака низкого давления 1123-D, представляющий собой колонну с двумя слоями насадки.

Содержащийся в газе аммиак абсорбируется в скруббере регенерированной аммиачной водой, подаваемой на орошение. Регенерированная аммиачная вода поступает из дистилляционной колонны 1125-D после охлаждения до $32 \text{ }^\circ\text{C}$ (по ТИ 11661) в подогревателе аммиачной воды 1161-C.

Расход воды на орошение поддерживает регулятор с сигнализацией максимального и минимального значений.

Давление продувочных газов на входе в скруббер контролирует датчик с сигнализацией максимального $16,4 \text{ кгс/см}^2$ (изб.) и минимального $12,5 \text{ кгс/см}^2$ (изб.) значений. Для предотвращения повышения давления выше расчетного предусмотрены предохранительные клапаны. Перепад давления на насадке скруббера контролируется датчиком.

Водный раствор аммиака выводится из нижней части скруббера и подается циркуляционными насосами низкого давления 1160-J/JA в линию водного аммиачного раствора из скруббера высокого давления 1124-D. Объединенный поток водно-аммиачного раствора подогревается в подогревателе 1161-C отходящим потоком регенерированной воды из колонны 1125-D и поступает в дистилляционную колонну 1125-D.

Температуру раствора на выходе из скруббера будет контролировать датчик с сигнализацией максимального значения $57 \text{ }^\circ\text{C}$.

Отмытые от аммиака танковые газы выводятся из верхней части скруббера и выдаются в топливную систему печей риформинга агрегатов АМ-76 №№ 5А; 6А; 7А, после объединения с продувочными газами после скруббера 1124-D. На выходе из скруббера предусмотрен отбор пробы для аналитического контроля содержания аммиака в танковых газах.

Дистилляционная колонна 1125-D.

Дистилляционная колонна 1125-D предназначена для разгонки аммиачной воды, образующейся в результате абсорбции аммиака в скрубберах высокого и низкого давления, и выделения из аммиачного раствора паров аммиака.

Дистилляционная колонна представляет собой царговый колонный аппарат насадочного типа с каплеотбойником.

Параметры процесса:

Давление: $P_{\text{раб.}} = 18,9 \text{ кгс/см}^2$ (изб.); $P_{\text{расч.}} = 21,0 \text{ кгс/см}^2$ (изб.)/вакуум..

Температура: Траб. верх/куб.= 65/211 °С; Трасч. макс./мин. = 240/минус 30 °С.

Среда: аммиачная вода, аммиак газообразный

Материал – сталь ASTM A 516 Gr70.

Аппарат изолируется, толщина изоляции 120 мм.

Принцип работы:

Объединенный поток водно-аммиачного раствора из скрубберов высокого и низкого давления 1124-D, 1123-D подогревается до 155 °С отходящим потоком колонны 1125-D в теплообменнике 1161-C и поступает в дистилляционную колонну 1125-D, в которой осуществляется отгонка из раствора абсорбированного аммиака и отделение инертных газов. Водный раствор аммиака поступает в отпарную секцию колонны, в состав которой входят два слоя насадки. Температура раствора составляет 155 °С.

Подвод тепла, необходимого для дистилляции раствора, обеспечивается кипятильником 1160-C, в котором в качестве теплоносителя используется пар среднего давления 41,6 кгс/см² (изб.). Нагрузку кипятильника будет устанавливать регулятор, управляемый клапаном на линии подачи пара в кипятильник (с сигнализацией максимального 2128 кг/ч и минимального 1596 кг/ч значений).

Паровой конденсат из кипятильника отводится в сборник парового конденсата 1187-D.

Давление в нижней части колонны контролирует датчик с сигнализацией максимального значения 20 кгс/см² (изб.), перепад давления в колонне – датчик с сигнализацией максимального значения 0,25 кгс/см² (изб.).

Температура между вторым и третьим слоем насадки в отпарной секции колонны контролируется с сигнализацией максимального 232 °С и минимального 165 °С значений [16].

Флегма (жидкий аммиак) подается насосом теплого производственного аммиака в ректификационную секцию колонны, в состав которой входит

один слой насадки. Флегма движется в колонне навстречу парам, поднимающимся из куба, в результате контакта потоков высококипящие примеси (H_2O), содержащиеся в парах, частично переходят во флегму и возвращаются в кубовую часть колонны.

Давление в верхней части колонны поддерживает регулятор с сигнализацией максимального значения $20,8 \text{ кгс/см}^2$ (изб.). Предусмотрен сброс паров аммиака в факельный коллектор. Для предотвращения превышения расчетного давления на линии выхода паров аммиака из колонны предусмотрены предохранительные клапаны PRV 1125DA, PRV 1125DB с давлением начала открытия $21,0 \text{ кгс/см}^2$ (изб.).

Температуру паров аммиака на выходе из колонны поддерживает регулятор, управляющий клапаном на линии подачи флегмы (теплого продукционного аммиака) в колонну с сигнализацией максимального $78 \text{ }^\circ\text{C}$ и минимального $52 \text{ }^\circ\text{C}$ значений [3].

Пары аммиака и инертные газы из верхней части колонны поступают в водяной конденсатор аммиака 1127-С, в котором конденсируется основная часть газообразного аммиака. Сконденсировавшийся аммиак поступает в сборник 1149-Д. Предусмотрен отбор пробы для аналитического контроля состава газа на выходе из колонны.

Регенерированная аммиачная вода из кубовой части колонны с температурой $211 \text{ }^\circ\text{C}$ нагревает в подогревателе 1161-С аммиачную воду, поступающую на разгонку в дистилляционную колонну. Температура регенерированной воды после подогревателя составляет $32 \text{ }^\circ\text{C}$. В пусковой период для заполнения системы в колонну подается питательная вода из агрегатов АМ-76 №№ 5А, 6А, 7А.

В процессе эксплуатации подпитка колонны осуществляется паровым конденсатом из кипятильника 1160-С через клапан. Уровень в колонне поддерживает регулятор (с сигнализацией максимального 1900 мм и минимального 300 мм от тангенциальной линии аппарата значений), управляющий клапаном на линии подпитки.

Регенерированная вода после подогревателя 1161-С разделяется на два потока и подается на орошение скрубберов: первый поток поступает в верхнюю часть скруббера аммиака низкого давления 1123-D, второй поток подается циркуляционными насосами высокого давления 1161-J/JA в верхнюю часть скруббера высокого давления 1124-D.

Опорожнение оборудования и трубопроводов в случае аварийного отсечения блока № 4 предлагается осуществлять в резервуары E/1, E/2, E/3, E/4 действующего цеха № 13 ПАО «Тольяттиазот». Для этого необходимо предусмотреть новый трубопровод до точки подключения к действующему коллектору выдачи водного раствора аммиака в цех № 13 из агрегатов АМ-76 №№ 5А, 6А, 7А. На каждом из этапов необходимо проводить отбор проб.

Сброс газовой фазы при отсечении блока № 4 осуществляется в факельную установку через ручную арматуру.

На территории установки выделения аммиака из продувочных и танковых газов предусмотрены газовые детекторы, сигнализирующие образование опасных концентраций водорода и аммиака в воздухе рабочей зоны. Сигналы от детекторов поступают в систему ПАЗ.

Таблица 5 – Характеристики технологического оборудования предлагаемой схемы

Позиция	Наименование и техническая характеристика	Параметры работы (среда, производительность, температура, давление)
123-D	Аммиачный скруббер низкого давления Тип – вертикальная цилиндрическая насадочная колонна с каплеотбойником Материал: сталь ASTM A 516 GR70 Материал: нержавеющая сталь Аппарат изолируется, толщина изоляции 50 мм	Давление: $P_{расч.} = 16,1 \text{ кгс/см}^2$ (изб.); $P_{раб.} = 14,6 \text{ кгс/см}^2$ (изб.) Температура: $T_{расч. (макс./мин.)} = 75$ /минус 30 °С; $T_{раб.} = 32,3$ (верх) ÷ $47,2$ (низ) °С; Среда: аммиачная вода, танковые газы

Продолжение таблицы 5

Позиция	Наименование и техническая характеристика	Параметры работы (среда, производительность, температура, давление)
124-D	<p>Аммиачный скруббер высокого давления</p> <p>Тип – вертикальная цилиндрическая насадочная колонна с каплеотбойником</p> <p>Материал: сталь ASTM A 516 GR70</p> <p>Материал: нержавеющая сталь</p> <p>Аппарат изолируется, толщина изоляции 60 мм</p>	<p>Давление: $P_{расч.} = 140,0 \text{ кгс/см}^2$ (изб.);</p> <p>$P_{раб.} = 129,9 \text{ кгс/см}^2$ (изб.)</p> <p>Температура:</p> <p>$T_{расч. (макс./мин.)} = 65$ /минус 30 °С;</p> <p>$T_{раб.} = 1,5$ (низ) ÷ 36,6 (верх) °С;</p> <p>Среда: аммиачная вода, продувочный газ</p>
125-D	<p>Дистилляционная колонна</p> <p>Тип – вертикальная цилиндрическая насадочная колонна с каплеотбойником</p> <p>Материал: сталь ASTM A 516 GR70</p> <p>Насадки: Тип – slotted rings</p> <p>Материал: нержавеющая сталь</p> <p>Аппарат изолируется, толщина изоляции 120мм</p>	<p>Давление: $P_{расч.} = 21,0 \text{ кгс/см}^2$ (изб.) /вакуум;</p> <p>$P_{раб.} = 18,9 \text{ кгс/см}^2$ (изб.)</p> <p>Температура:</p> <p>$T_{расч. (макс./мин.)} = 240$ /минус 30°С $T_{раб.} = 65$ (верх) ÷ 211 (низ) °С; Среда: аммиачная вода, аммиак газообразный</p>
160-C	<p>Кипятильник дистилляционной колонны</p> <p>Тип – одноходовой горизонтальный кожухотрубчатый теплообменный аппарат с неподвижными трубными решетками.</p> <p>Тип по ТЕМА.</p> <p>Материал корпуса и труб – низкотемпературная углеродистая сталь. Аппарат изолируется, толщина изоляции 150 мм</p>	<p>Трубное пространство:</p> <p>Давление: $P_{расч.} = 23 \text{ кгс/см}^2$ (изб.) / вакуум;</p> <p>$P_{раб.} = 18,97 \text{ кгс/см}^2$ (изб.)</p> <p>Температура:</p> <p>$T_{расч. (макс./мин.)} = 240$ /минус 30°С;</p> <p>$T_{раб. (вход/выход)} = 210,57/211,09$ °С</p> <p>Среда: аммиачная вода</p> <p>Межтрубное пространство:</p> <p>Давление: $P_{расч.} = 49,0 \text{ кгс/см}^2$ (изб.) /вакуум;</p> <p>$P_{раб.} = 41,6 \text{ кгс/см}^2$ (изб.)</p> <p>Температура:</p> <p>$T_{расч. (макс./мин.)} = 425$ /минус 30°С;</p> <p>$T_{раб. (вход/выход)} = 385 /252,85$ °С</p> <p>Среда: пар среднего давления</p>
161-C	<p>Подогреватель аммиачной воды</p> <p>Тип – аппарат «труба в трубе»</p> <p>Материал корпуса и труб – низкотемпературная углеродистая сталь</p> <p>Аппарат изолируется</p>	<p>Трубное пространство:</p> <p>Давление: $P_{расч.} = 23,0 \text{ кгс/см}^2$ (изб.);</p> <p>$P_{раб.} = 18,97 \text{ кгс/см}^2$ (изб.)</p> <p>Температура:</p> <p>$T_{расч. (макс./мин.)} = 240$ /минус 30°С;</p> <p>$T_{раб. (вход/выход)} = 211,1/33$ °С</p> <p>Среда: аммиачная вода</p> <p>Межтрубное пространство:</p> <p>Давление: $P_{расч.} = 24,5 \text{ кгс/см}^2$ (изб.) /вакуум;</p> <p>$P_{раб.} = 22,2 \text{ кгс/см}^2$ (изб.)</p> <p>Температура:</p> <p>$T_{расч. (макс./мин.)} = 185$ /минус 30°С;</p> <p>$T_{раб. (вход/выход)} = 16,3 /155,8$ °С</p> <p>Среда: аммиачная вода</p>

Продолжение таблицы 5

Позиция	Наименование и техническая характеристика	Параметры работы (среда, производительность, температура, давление)
160- J/JA	Циркуляционный насос НД Тип – горизонтальный центробежный электронасос	$Q_{рас.}=1,9 \text{ м}^3/\text{ч}$; $N= 1,1 \text{ кВт}$ $P_{нагн.}=20,83 \text{ кгс/см}^2(\text{изб.})$; $T=47 \text{ }^\circ\text{C}$; Среда: аммиачная вода
161- J/JA	Циркуляционный насос ВД Тип – горизонтальный центробежный электронасос	$Q_{рас.}=3,2 \text{ м}^3/\text{ч}$; $N=18,5 \text{ кВт}$ $P_{нагн.}=132,15 \text{ кгс/см}^2(\text{изб.})$; $T=32 \text{ }^\circ\text{C}$; Среда: аммиачная вода
127-J	Насос выдачи некондиционной аммиачной воды	$Q=12,5 \text{ м}^3/\text{ч}$; $N=11,0 \text{ кВт}$ $H=50,0 \text{ м ст.ж.}$; $T_{раб.}=5 \div 25 \text{ }^\circ\text{C}$; Среда: аммиачная вода/ ливневые стоки

Выводы по разделу 2:

Из представленного состава порядка 60% это водород, который отлично горит и может быть использован как экологичный вид топлива в этих печах без образования дополнительных объёмов окислов азота (NO) и оксида углерода (CO) в дымовых газах. Около 30% это метан и от 6 до 8% это аммиак, который плохо горит и при сгорании дает нам ненужный дополнительный объём этих самых окислов азота и оксида углерода которые являются вредными для экологии веществами.

Предложена принципиальная технологическая схема выделения аммиака их танковых и продувочных газов.

Определены характеристики технологического оборудования.

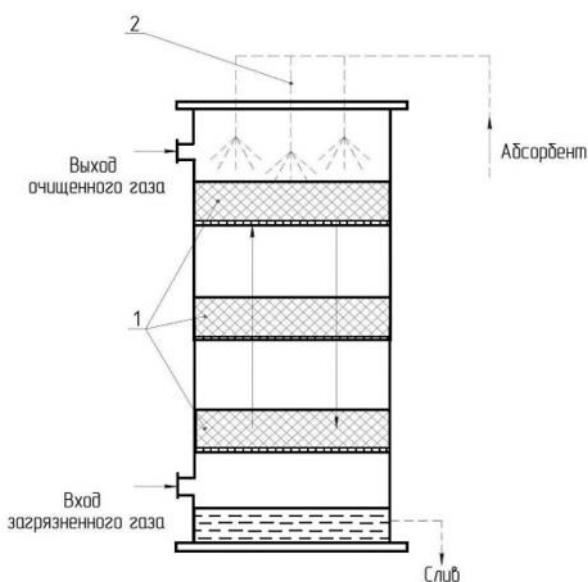
Определены ориентировочные энергетические потребности производства. Основным энергопотребляющим оборудованием установки очистки продувочных газов от аммиака являются водяные насосы.

3 Расчетная часть

Отмывка продувочных и танковых газов от аммиака осуществляется методом водной абсорбции в скрубберах 1123-D и 1124-D.

«Мокрый способ очистки основан на взаимодействии газа с водой или специальной жидкостью. Грязный газ заходит через воздухопровод внутрь корпуса. Далее при помощи аэродинамических сил он закручивается. Вода подается через насосную станцию, проходит через трубопровод, форсунки и смачивает газ» [2-3].

Общий принцип работы абсорберов схож для всех очистных аппаратов и представлен на рисунке 7.



1 - слой насадок; 2- вход абсорбента

Рисунок 7 - Схема мокрой очистки газов

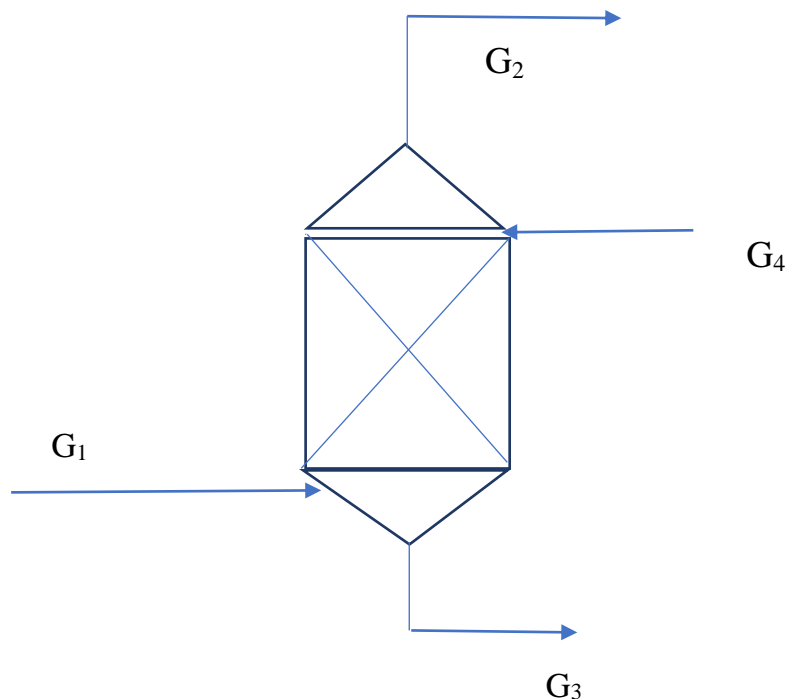
Принцип действия:

- подающийся абсорбент преобразуется в мелкодисперсное облако при помощи форсунок;
- происходит орошение насадки (рисунок 6) и стенок камеры абсорбера;

- снизу подается отработанный газ;
- газ, проходя противотоком с жидкостью, вступает в селекцию с реагентом на поверхности насадок;
- очищенный газ, выбрасывается в атмосферу или идет на повторную очистку;
- отработанная жидкость сливается или применяется во вторичном производстве, прямая зависимость циклов от степени активности абсорбента;
- полученная при этом аммиачная вода подвергается разгонке в дистилляционной колонне 1125-D.

Пары аммиака, выделяющиеся из аммиачного раствора в процессе разгонки, конденсируются в водяном конденсаторе и поступают в сборник аммиачного хладагента, входящий в состав системы охлаждения и конденсации аммиака.

3.1 Материальный баланс скруббера 1124-D

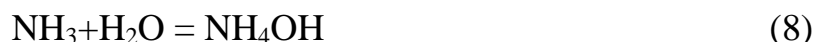


G_1 -входящая газовая смесь; G_2 -выходящая газовая смесь;
 G_3 -выходящая вода из кубовой части; G_4 -входящая вода на орошение

Рисунок 8 – Схема материальных потоков скруббера

Продувочные газы цикла синтеза аммиака промываются водой в аммиачном скруббере высокого давления 1124-D, представляющем собой колонну с двумя слоями насадки. Содержащийся в продувочных газах аммиак абсорбируется из газовой смеси промывочной водой и выделяется из газа в виде водного раствора.

При растворении аммиака в воде протекают химические реакции:



При 25°C константы равновесия этих реакций соответственно составляют:

$$K_1 = 0,5;$$

$K_2 = 6,5 \cdot 10^{-5}$. Из этого следует, что аммиак находится в растворе преимущественно в виде NH_4OH , лишь в очень малой степени диссоциированного на ионы.

Скруббер представляет собой колонный аппарат насадочного типа с каплеотбойником.

Производительность установки по входящей смеси газа $18575 \text{ м}^3/\text{ч}$.

Продувочные газы представляют собой газовую смесь, состоящую из следующих компонентов в % об:

Таблица 6 - Состав продувочных газов после конденсационной колонны

Вещество	% об
H_2	56,04
N_2	18,57
CH_4	14,77
Ar	8,3
NH_3	2,32

Температурный режим выбран на основе технологического регламента.

Давление в скруббере $P = 180,0 \text{ кгс/см}^2$

Температура рабочая максимальная: $T_{\text{раб. верх/низ.}} = 36,6/1,5 \text{ } ^\circ\text{C}$

Температура расчетная максимальная

$T_{\text{расч. макс./мин.}} = 65/\text{минус } 30 \text{ } ^\circ\text{C}$.

Плотность смеси : $99,33 \text{ кг/м}^3$.

Начальная концентрация компонентов в поступающем абсорбенте

$X_{\text{н}} = 0$

Расчет проводится в следующей последовательности [22]:

Определим количество и состав поступающего на очистку конвертированного газа:

$$V_i = (V \cdot n_i)/100, \quad (10)$$

где V_i - объем расхода газовой смеси, $\text{м}^3/\text{ч}$;

V - объем расхода компонента газовой смеси, $\text{м}^3/\text{ч}$;

n_i - концентрация компонента газовой смеси, % об.

$$m_i = \frac{V_i \cdot M_i}{22,4}, \quad (11)$$

где m_i - расход по массе компонента газовой смеси, $\text{м}^3/\text{ч}$;

V_i - объем расхода компонента газовой смеси, $\text{м}^3/\text{ч}$;

M_i - масса (молярная) компонента газовой смеси, кг/кмоль .

Подставим данные из таблицы 6 в формулы (10), (11):

Водород:

$$V_{\text{H}_2} = \frac{18575 \cdot 56,04}{100} = 10409,43 \text{ м}^3/\text{ч}$$

$$m_{\text{H}_2} = \frac{10409,43 \cdot 2}{22,4} = 929,41 \text{ кг/ч}$$

Азот:

$$V_{N_2} = \frac{18575 \cdot 18,57}{100} = 3449,38 \text{ м}^3/\text{ч}$$

$$m_{N_2} = \frac{3449,38 \cdot 28}{22,4} = 4311,73 \text{ кг/ч}$$

Метан:

$$V_{CH_4} = \frac{18575 \cdot 14,77}{100} = 2743,53 \text{ м}^3/\text{ч}$$

$$m_{CH_4} = \frac{2743,53 \cdot 16}{22,4} = 1959,66 \text{ кг/ч}$$

Аргон:

$$V_{Ar} = \frac{18575 \cdot 8,3}{100} = 1541,73 \text{ м}^3/\text{ч}$$

$$m_{Ar} = \frac{1541,73 \cdot 40}{22,4} = 2753,09 \text{ кг/ч}$$

Аммиак:

$$V_{NH_3} = \frac{18575 \cdot 2,32}{100} = 430,94 \text{ м}^3/\text{ч}$$

$$m_{NH_3} = \frac{430,94 \cdot 17}{22,4} = 327,05 \text{ кг/ч}$$

Плотность: $99,33 \text{ кг/м}^3$

Определим:

$$G = p \cdot V \tag{12}$$

Подставим данные в формулу (3.1.3):

Водород:

$$G_{H_2} = 99,33 \cdot 10409,43 = 1033968,68 \text{ кг/ч}$$

Азот:

$$G_{N_2} = 99,33 \cdot 3449,38 = 342626,92 \text{ кг/ч}$$

Метан:

$$G_{CH_4} = 99,33 \cdot 2743,53 = 272514,83 \text{ кг/ч}$$

Аргон:

$$G_{Ar} = 99,33 \cdot 1541,73 = 153140,04 \text{ кг/ч}$$

Аммиак:

$$G_{NH_3} = 99,33 \cdot 430,94 = 42805,27 \text{ кг/ч}$$

Определим:

$$y' = \frac{Gi \cdot 100}{G_{\text{общ}}} \quad (13)$$

Подставим данные в формулу (3.1.4):

Водород:

$$y'_{H_2} = \frac{1033968,68 \cdot 100}{1845054,75} = 56,04\%$$

Азот:

$$y'_{N_2} = \frac{342626,92 \cdot 100}{1845054,75} = 18,57\%$$

Метан:

$$y'_{CH_4} = \frac{272514,83 \cdot 100}{1845054,75} = 14,77\%$$

Аргон:

$$y'_{Ar} = \frac{153140,04 \cdot 100}{1845054,75} = 8,3\%$$

Аммиак:

$$y_{NH_3} = \frac{42720,84 \cdot 100}{1845054,75} = 2,32\%$$

Таблица 7 - Состав и количество поступающей газовой смеси

Компоненты	Концентрация компонентов об., % об.	M, кг/кмоль	V _H , м ³ /ч	G _H , кг/ч	y _H , % массо	M _{ср} , кг/кмоль
H ₂	56,04	2	10409,43	1033968,68	56,04	929.41
N ₂	18,57	28	3449,38	342626,92	18,57	4311,73
CH ₄	14,77	16	2743,53	272514,83	14,77	1959.66
Ar	8,3	40	1541,73	153140,04	8,3	2753,09
NH ₃	2,32	17	430,94	42805,27	2,32	327,05
Итого	100		18575,00	1845054,75	100	10280,98

Проведем аналогичные расчеты для выходящей газовой смеси. Содержание компонентов взято ориентировочно, на основе анализа технической документации. Сухой массовый расход 17973 м³/ч.

Таблица 8 - Состав продувочных газов после скруббера

Вещество	% об
H ₂	57,38
N ₂	19,02
CH ₄	15,11
Ar	8,39
NH ₃	0,1

Подставим данные из таблицы 8 в формулы выше:

Водород:

$$V_{H_2} = \frac{17973 \cdot 57,38}{100} = 10312,9 \text{ м}^3/\text{ч}$$

$$m_{H_2} = \frac{10312,9 \cdot 2}{22,4} = 920,76 \text{ кг/ч}$$

Азот:

$$V_{N_2} = \frac{17973 \cdot 19,02}{100} = 3418,46 \text{ м}^3/\text{ч}$$
$$m_{N_2} = \frac{3418,46 \cdot 28}{22,4} = 4273,07 \text{ кг/ч}$$

Метан:

$$V_{CH_4} = \frac{17973 \cdot 15,11}{100} = 2715,72 \text{ м}^3/\text{ч}$$
$$m_{CH_4} = \frac{2715,72 \cdot 16}{22,4} = 1939,8 \text{ кг/ч}$$

Аргон:

$$V_{Ar} = \frac{17973 \cdot 8,39}{100} = 1507,93 \text{ м}^3/\text{ч}$$
$$m_{Ar} = \frac{1507,93 \cdot 40}{22,4} = 2692,74 \text{ кг/ч}$$

Аммиак:

$$V_{NH_3} = \frac{17973 \cdot 0,1}{100} = 17,97 \text{ м}^3/\text{ч}$$
$$m_{NH_3} = \frac{17,97 \cdot 17}{22,4} = 13,64 \text{ кг/ч}$$

Плотность: $63,98 \text{ кг/м}^3$.

Подставим данные в формулу (3.1.3):

Водород:

$$G_{H_2} = 63,98 \cdot 10312,9 = 659819,34 \text{ кг/ч}$$

Азот:

$$G_{N_2} = 63,98 \cdot 3418,46 = 218713,07 \text{ кг/ч}$$

Метан:

$$G_{\text{CH}_4} = 63,98 \cdot 2715,72 = 173751,77 \text{ кг/ч}$$

Аргон:

$$G_{\text{Ar}} = 63,98 \cdot 1507,93 = 96477,36 \text{ кг/ч}$$

Аммиак:

$$G_{\text{NH}_3} = 63,98 \cdot 17,97 = 1149,72 \text{ кг/ч}$$

Подставим данные в формулу (3.1.4):

Водород:

$$y_{\text{H}_2} = \frac{659819,34 \cdot 100}{1149912,54} = 57,38\%$$

Азот:

$$y_{\text{N}_2} = \frac{218713,07 \cdot 100}{1149912,54} = 19,02\%$$

Метан:

$$y_{\text{CH}_4} = \frac{173751,77 \cdot 100}{1149912,54} = 15,11\%$$

Аргон:

$$y_{\text{Ar}} = \frac{96477,36 \cdot 100}{1149912,54} = 8,39\%$$

Аммиак:

$$y_{\text{NH}_3} = \frac{1149,72 \cdot 100}{1149912,54} = 0,1\%$$

Таблица 9- Состав и количество выходящей газовой смеси

Компоненты	Концентрации компонентов ω_n , % об.	M, кг/кмоль	V_n , м ³ /ч	G_n , кг/ч	y_n , % массо	$M_{нсп}$, кг/кмоль
H ₂	57,38	2	10312,9	659819,34	57,38	920,76
N ₂	19,02	28	3418,46	218713,07	19,02	4273,07
CH ₄	15,11	16	2715,72	173751,77	15,11	1939,8
Ar	8,39	40	1507,93	96477,36	8,39	2692,74
NH ₃	0,1	17	17,97	1149,72	0,1	13,64
Итого	100		17973	1149912,54	100	9840,01

Расчет количества поглощаемого аммиака [13]:

Исходные данные:

- Количество перерабатываемой смеси – $V = 18575,00 \text{ м}^3/\text{ч} = 5,16 \text{ м}^3/\text{с}$.
- Начальная концентрация аммиака в газовой смеси – $\bar{y}_n = 2,32 \text{ масс. \%}$.
- Конечная концентрация аммиака в газовой смеси – $\bar{y}_k = 0,1 \text{ масс. \%}$.
- Избыток абсорбента 10%, $\varepsilon = \frac{100+10}{100} = 1,1$.
- Давление абсорбции 1600 кПа.
- Температура абсорбции – $t = 11 \text{ }^\circ\text{C}$.
- Начальная концентрация аммиака в абсорбенте – $\bar{x}_n = 0 \text{ масс. \%}$.

Определение количества поглощаемого аммиака водой заключается в следующем.

Количество поглощаемого аммиака NH₃ определяется по формуле:

$$G_{NH_3} = \frac{V \cdot y_n \cdot M_{NH_3} \cdot \alpha}{22,4}, \frac{\text{кг}}{\text{с}}, \quad (14)$$

где y_n – начальная концентрация NH₃ в газе, выраженная молях, $\frac{\text{кмоль NH}_3}{\text{кмоль смеси}}$;

M_{NH_3} – молекулярная масса аммиака, $\frac{\text{кг}}{\text{кмоль}}$;

α – коэффициент извлечения аммиака ;

22,4 – объем, занимаемый 1 кмоль газа м³.

Начальная концентрация аммиака в газовой смеси определяется по формуле:

$$y_H = \frac{\frac{\bar{y}_H}{M_{NH_3}}}{\frac{\bar{y}_H}{M_{NH_3}} + \frac{100 - \bar{y}_H}{M_{\text{возд}}}}, \frac{\text{кмоль } NH_3}{\text{кмоль смеси}}, \quad (15)$$

где $\bar{y}_H = 2,32$ масс. % - начальная концентрация аммиака в газе;

M – молекулярная масса вещества $\frac{\text{кг}}{\text{кмоль}}$, молекулярная масса аммиака - $M_{NH_3} = 17 \frac{\text{кг}}{\text{кмоль}}$ и молекулярная масса воздуха - $M_{\text{возд}} = 29 \frac{\text{кг}}{\text{кмоль}}$.

$$y_H = \frac{\frac{2,32}{17}}{\frac{2,32}{17} + \frac{100 - 2,32}{29}} = 0,039, \frac{\text{кмоль } NH_3}{\text{кмоль смеси}}$$

Коэффициент извлечения аммиака рассчитывается по формуле:

$$\alpha = \frac{\bar{y}_H - \bar{y}_K}{\bar{y}_H}, \quad (16)$$

$$\alpha = \frac{2,32 - 0,1}{2,32} = 0,957.$$

Тогда количество поглощаемого аммиака равно:

$$G_{NH_3} = \frac{5,16 \cdot 0,039 \cdot 17 \cdot 0,957}{22,4} = 0,146 \frac{\text{кг}}{\text{с}} = 525,6 \text{ кг/ч}$$

Определение расхода воды (абсорбента):

Расход воды определяется по формуле:

$$L = \frac{G_{NH_3} \cdot \varepsilon}{\bar{X}_K^* - \bar{X}_H}, \frac{\text{кг}}{\text{с}}, \quad (17)$$

где $\overline{X}_H, \overline{X}_K^*$ – начальная и конечная концентрации M_{NH_3} в абсорбенте, выраженные в относительных массовых единицах, $\frac{\text{кг } NH_3}{\text{кг } H_2O}$ ($\overline{X}_H = 0$).

Конечная концентрация аммиака в абсорбенте определяется по формуле:

$$\overline{X}_K^* = \frac{M_{NH_3} \cdot x_K^*}{M_{H_2O} \cdot (1 - x_K^*)}, \frac{\text{кг } NH_3}{\text{кг } H_2O}, \quad (18)$$

где x_K^* – мольная доля аммиака в абсорбенте, равновесная с начальной концентрацией аммиака в газе, $\frac{\text{кг } NH_3}{\text{кг } (NH_3 + H_2O)}$; определяется по формуле:

$$x_K^* = \frac{y_H \cdot \Pi}{K}, \frac{\text{кг } NH_3}{\text{кг } (NH_3 + H_2O)}, \quad (19)$$

где K – коэффициент Генри для водных растворов.

Значения константы Генри (K) определяют по таблицам в справочной литературе [7].

Для водного раствора аммиака при $t = 11$ °C коэффициент Генри $K = 0,823$ атм = 83,4 кПа;

Π – давление абсорбции = 1600 кПа.

Определяем равновесную мольную долю аммиака в абсорбенте по формуле:

$$x_K^* = \frac{0,039 \cdot 1600}{83,4} = 0,75 \frac{\text{кмоль аммиака}}{\text{кмоль } (NH_3 + H_2O)}$$

Определяем конечную равновесную концентрацию в абсорбенте по формуле:

$$\overline{X}_K^* = \frac{17 \cdot 0,75}{18 \cdot (1 - 0,75)} = 2,83 \cdot 10^{-3}, \frac{\text{кг } NH_3}{\text{кг } H_2O}$$

Определяем расход абсорбента по выражению:

$$L = \frac{G_{NH_3} \cdot \varepsilon}{\bar{X}_K^* - \bar{X}_H} = \frac{0,146 \cdot 1,1}{2,83 \cdot 10^{-3}} = 2102,4 \frac{\text{кг}}{\text{ч}}$$

Действительная концентрация аммиака в абсорбенте на выходе из абсорбера определяется по формуле [13]:

$$\bar{X}_K = \frac{G_{NH_3}}{L}. \quad (20)$$

Тогда действительная концентрация аммиака в абсорбенте на выходе из абсорбера составит [13]:

$$\bar{X}_K = \frac{0,146}{2102,4} = 0,25 \frac{\text{кг} NH_3}{\text{кг} H_2O}$$

Таблица 10 - Состав и количество входящей воды на орошение

Компонент	М	% масс	Кг/ч	кМоль/ч	% моль
H ₂ O	18	100	2102,4	116,8	100

3.2 Конструктивный расчет скруббера 1124-D

Скорость газовой смеси для колец Палля 25X25X0,6 (мм).

Определение диаметра [27] (м):

$$D = \sqrt{\frac{4 * \frac{G}{\omega * \rho_{г}}}{\pi}} \quad (21)$$

где G – объем газа, кг/с;

ω - рабочая скорость газа м/с;

$\rho_{г}$ – плотность потока (входящих продувочных газов) кг/м³;

$\rho_{\Gamma} = 99,33 \text{ кг/м}^3$;

По рассчитанным данным (из таблицы 10) $G = 1845054,75 \text{ кг/ч}$.

Переведем в кг/с.

$G = 512,515 \text{ кг/с}$.

Подставим все значения в формулу (3.2.1):

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot \frac{512,515}{1,3 \cdot 99,33}}{3,14}} = 1,09$$

По каталогу принимаем стандартную колонну диаметром $D = 1$.

Принимаем диаметр 1 метр. Пересчет рабочей скорости при стандартном диаметре (м/с): $\omega = V / (0,785 \cdot D^2) = 1,15 \text{ м/с}$

Площадь поперечного сечения скруббера:

$$S = \frac{\pi \cdot D^2}{4} \quad (22)$$

Подставляем данные в формулу:

$$S = \frac{3,14 \cdot 1^2}{4} = 0,76 \text{ м}^2$$

Объем слоя насадки, необходимый для создания заданной поверхности массопередачи F при коэффициенте смоченности насадки ψ :

$$V_{\text{н}} = \frac{F}{\sigma \cdot \psi} \quad (23)$$

где σ - удельная поверхность насадки $\text{м}^2/\text{м}^3$; $\sigma = 215 \text{ м}^2/\text{м}^3$

ψ - коэффициент смоченности насадки.

Смачивание насадки зависит от способа подачи орошения. С возрастанием числа точек орошения увеличивается смоченная и активная поверхности, достигая максимума при бесконечно большом числе точек орошения [3, 11].

Подставляем данные в формулу (3.2.3): $V_H = 7$ м

Требуемая высота насадки определяется по формуле:

$$H_H = \frac{V_H}{S} \quad (24)$$

Подставляем рассчитанные данные в формулу (3.2.4):

$$H_H = \frac{7}{0,76} = 9,2$$

Выбираем два слоя $9,2/2 = 4,6$ м.

Определяем поверхность насадки (m^2):

$$F = V_H \cdot \delta \quad (25)$$

$$F = 7 \cdot 220 = 1540 \text{ м}^2$$

Общая высота абсорбера определяется по формуле:

$$H_K = H + h_v + h_n + h_p \quad (26)$$

где h_v , h_n - высота сепарационного пространства над насадкой и расстояние между днищем и насадкой, м (данные из таблицы 14);

h_p - высота промежутка между секциями насадки

$$H_K = 9200 + 600 + 1500 + 3200 = 14500.$$

Таблица 11 – «Зависимость высоты сепарационного пространства над насадкой и расстоянием между днищем колонны и насадкой от диаметра колонны» [24].

Диаметр колонны, мм	h_b , мм	h_n , мм
400 - 1000	600	1500
1200 - 2200	1000	2000
2400 и более	1400	2500

Таким образом, сведем все расчётные данные в таблицу 12.

Таблица 12 – Конструкционные параметры скруббера

Тип аппарата		Абсорбер насадочный поверхностный
Габариты аппарата		$D_{вн}=1000$ мм; Высота цилиндрической части $H_{ц}=14500$ мм
Объём		$V = 11,02$ м ³
Параметры процесса	Давление расчетное в аппарате	$P_{расч.} = 180,0$ кгс/см ² (изб.)
	Температура рабочая мах	Траб. верх/низ. = 36,6/1,5 °С
	Температура расчетная мах	Трасч. макс./мин. = 65/минус 30 °С.
Рабочая среда в аппарате	-	аммиачная вода, продувочные газы
Тип насадки	-	Тип насадки – кольца Палля. Высота слоя – 2x4600 мм. Материал насадки – нержавеющая сталь.

Продолжение таблицы 12

Материал		сталь ASTM A 516 Gr70 Аппарат изолируется, толщина изоляции 60 мм
Потребление вспомогательных материалов		Замена прокладочных материалов, насадок периодическая при ремонте или капремонте
Образование стоков		При работе абсорбера стоки не образуются
Образование отходов		Отработанные насадки

Выводы по разделу 3:

Проведен расчет материального баланса основного аппарата – скруббера высокого давления, показавший:

- производительность установки по входящей смеси газа (продувочные газы) 18575 м³/ч;
- общий объем поглощаемого аммиака в количестве 525,6 кг/ч.
- концентрация аммиака в абсорбенте на выходе 25%;
- расход абсорбента $2102,4 \frac{\text{кг}}{\text{ч}}$.

Проведен конструктивный расчет основного аппарата (скруббера):

- габариты аппарата: Dвн=1000 мм; высота цилиндрической части Нц=14500 мм;
- тип насадки – кольца Палля. Высота слоя (двухнасадочный скруббер) – 2x4600 мм. Материал насадки – нержавеющая сталь.

Заключение

В данной бакалаврской работе для решения поставленных задач был проведен анализ существующей технологической схемы синтеза аммиака. Определены объемы танковых и продувочных газов, состав.

Анализ технологического процесса синтеза аммиака определил направление оптимизации процесса с позиции ресурсосбережения – необходимость очистки продувочных газов от аммиака перед их глубокой переработкой.

Необходимость очистки продувочных газов от аммиака перед их глубокой переработкой связана с тем, что его присутствие в газовой смеси препятствует нормальной работе систем газоразделения. В случае попадания на мембраны он вызывает их необратимое уплотнение; в криогенных системах аммиак может переходить в твердое состояние; в адсорбционных установках наличие аммиака в перерабатываемом газе снижает активность адсорбентов.

Предложена схема выделения аммиака из танковых и продувочных газов агрегатов аммиака АМ-76 производства ПАО «ТоАЗ». Подобрано аппаратное сопровождение, определены технические характеристики основного оборудования. Сделана предварительная оценка энергетических затрат.

Проведен расчет материального баланса основного аппарата – скруббера высокого давления, показавший:

- производительность установки по входящей смеси газа (продувочные газы) $18575 \text{ м}^3/\text{ч}$;
- общий объем поглощаемого аммиака в количестве $525,6 \text{ кг/ч}$.
- концентрация аммиака в абсорбенте на выходе 25% ;
- расход абсорбента $2102,4 \frac{\text{кг}}{\text{ч}}$.

Проведен конструктивный расчет основного аппарата (скруббера):

- габариты аппарата: $D_{вн}=1000$ мм; высота цилиндрической части $H_{ц}=14500$ мм;
- тип насадки – кольца Палля. Высота слоя – 2×4600 мм. Материал насадки – нержавеющая сталь.

Описанные совершенствования могут дать экономию энергозатрат в виду того, что в данное время танковые и продувочные газы, поступающие из отделения синтеза и содержащие в себе до 8% NH_3 , просто сжигаются в печи риформинга что приводит к увеличенному содержанию окислов азота NO , NO_x и CO в дымовых газах за счет плохого горения аммиака, увеличению вредных выбросов в атмосферу.

Таким образом рассмотренную к внедрению установку можно считать перспективной и современной альтернативой простому сжиганию ТПГ в печах или на факельной установке. Она позволит сделать производство аммиака более экологичным, экономичным и производительным что в свою очередь будет большим плюсом для экономики предприятия.

Список используемой литературы и используемых источников

1. Афанасьев С.В., Сергеев С.П., Лавренченко Г.К., Копытин А.В./ Технологические варианты переработки продувочных газов производства аммиака Химическая техника №10/2016 с.25-30.
2. Брук Л. Г. Основы химической технологии: учебное пособие / Л. Г. Брук, Е. В. Егорова, О. Л. Каляя. — Москва: РТУ МИРЭА, 2019. — 126 с.— Текст: электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/171500> (дата обращения: 15.10.2021).
3. Ветошкин А. Г. Аппаратурное оформление процессов защиты атмосферы от газовых выбросов: учебное пособие / А. Г. Ветошкин. — 2-е изд., испр. и доп. - Москва ; Вологда : Инфра-Инженерия, 2020. - 248 с. : ил., табл. - ISBN 978-5-9729-0510-2. - Текст : электронный. - URL: <https://znanium.com/catalog/product/1167694> (дата обращения: 15.10.2021).
4. Вязьмин А. В. Расчеты химико-технологических процессов: теория и практика : учебно-методическое пособие / А. В. Вязьмин, Ю. Г. Пикулин. — Москва : РТУ МИРЭА, 2019. — 77 с. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/171501> (дата обращения: 15.10.2021).
5. ГОСТ 6221- 90Е Аммиак безводный сжиженный. Технические условия. М.: Стандартинформ. 2011.
6. Запорожец Е. П. Процессы и оборудование в технологиях подготовки и переработки углеводородных газов: монография / Е. П. Запорожец, Н. А. Шостак, Е. Е. Запорожец. - Москва ; Вологда : Инфра-Инженерия, 2021. - 600 с. - ISBN 978-5-9729-0723-6. - Текст : электронный. - URL: <https://znanium.com/catalog/product/1835966> (дата обращения: 15.10.2021).
7. Иваняков С.В. Коньгин С.Б. Гидродинамика насадочных аппаратов: метод. указ. / Сост. С.В. Иваняков, С.Б. Коньгин. – Самара; Самар. гос. техн. ун-т, 2020. – 44 с.: ил.

8. Ильин А. П. Производство азотной кислоты : учебное пособие / А. П. Ильин, А. В. Кунин. — 2-е изд., испр. — Санкт-Петербург : Лань, 2021. — 256 с. — ISBN 978-5-8114-1459-8. — Текст: электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/168557> (дата обращения: 15.10.2021).

9. Ильин А. П. Современные проблемы химической технологии неорганических веществ: учебное пособие / А. П. Ильин, А. А. Ильин. — Иваново: ИГХТУ, 2011. — 133 с. — Текст: электронный // Лань: электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/4522> (дата обращения: 06.10.2021).

10. Инструкция АМ-14 оператору отделения синтеза аммиака и АХУ. ПАО «Тольяттиазот», 2017, 218 с.

11. Информационно-технический справочник по наилучшим доступным технологиям ИТС 2-2015. Производство аммиака, минеральных удобрений и неорганических кислот. Дата введения 2016-07-01.

12. Каган А.М., Лаптев А.Г., Пушнов А.С., Фарахов М.И. Контактные насадки промышленных теплообменных аппаратов. Монография. Под ред. Лаптева А.Г. – Казань: Отечество, 2013, - 454 с.

13. 13 Калекин В. С. Процессы и аппараты химической технологии: гидромеханические и тепловые процессы : учебное пособие / В. С. Калекин. — Омск : ОмГТУ, 2017 — Часть 1 — 2017. — 212 с. — ISBN 5-8149-0249-3. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/149102> (дата обращения: 15.10.2021).

14. Козадерова О. А. Технология минеральных удобрений : учебное пособие / О. А. Козадерова, С. И. Нифталиев. — Воронеж : ВГУИТ, 2014. — 183 с. — ISBN 978-5-00032-070-9.— Текст: электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/72918> (дата обращения: 15.10.2021).

15. Лукманова А. Л. Процессы и аппараты химической технологии. Примеры и задачи: учебное пособие / А. Л. Лукманова. — Санкт-Петербург:

Лань, 2020. — 64 с. — ISBN 978-5-8114-4272-0.— Текст: электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/133888> (дата обращения: 03.02.2021).

16. Москвичев Ю. А. Теоретические основы химической технологии : учебное пособие для спо / Ю. А. Москвичев, А. К. Григоричев, О. С. Павлов. — 5-е изд., стер. — Санкт-Петербург : Лань, 2021. — 272 с. — ISBN 978-5-8114-7683-1.— Текст: электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/164717> (дата обращения: 10.07.2021).

17. Общая химическая технология. Основные концепции проектирования ХТС : учебник / И. М. Кузнецова, Х. Э. Харлампики, В. Г. Иванов, Э. В. Чиркунов. — 2-е изд., перераб. — Санкт-Петербург : Лань, 2021. — 384 с. — ISBN 978-5-8114-1479-6. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/168657> (дата обращения: 15.10.2021).

18. Орлов, Ю. Н. Процессы и аппараты в химической технологии и биотехнологии: практикум : учебное пособие / Ю. Н. Орлов. — Тольятти : ТГУ, 2021. — 94 с. — ISBN 978-5-8259-1514-2. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/172629> (дата обращения: 06.10.2021).

19. Очистка и рекуперация промышленных выбросов: методические указания / составители А. В. Бахтиярова, А. А. Багаев. — Санкт-Петербург : СПбГЛТУ, 2018. — 20 с. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/112718> (дата обращения: 10.07.2021).

20. Попов Ю. В. Термодинамические расчеты процессов химической технологии (теория и практика) : учебное пособие / Ю. В. Попов, С. Е. Латышова. — Волгоград : ВолгГТУ, 2020. — 180 с. — ISBN 978-5-9948-3922-5. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/174093> (дата обращения: 27.08.2021).

21. Постоянный технологический регламент № АМ-76-3Р производства аммиака мощностью 450 тыс. тонн в год. ПАО «Тольяттиазот», 2017. 766 с.

22. Расчет и проектирование массообменных аппаратов: учебное пособие / А. Н. Остриков, В. Н. Василенко, О. В. Абрамов, А. В. Логинов. — Санкт-Петербург : Лань, 2021. — 352 с. — ISBN 978-5-8114-1672-1. — Текст: электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/168739> (дата обращения: 06.11.2021).

23. Сосна М.Х., Голдобина М.А. Современное состояние и перспектива развития производства аммиака в России. / Нефтегазохимия, №4, 2018. С. 17-21.

24. Сосна М.Х., Касым О.Н. Основные тенденции в развитии технологии производства аммиака. / Нефтегазохимия, №4, 2017. С.17-20.

25. Таранцева К. Р. Процессы и аппараты химической технологии в технике защиты окружающей среды : учеб. пособие / К.Р. Таранцева, К.В. Таранцев. - М. : ИНФРА-М, 2019. - 412 с. - (Высшее образование: Бакалавриат). - www.dx.doi.org/10.12737/4323. - ISBN 978-5-16-009258-4 Текст : электронный. - URL: <https://znanium.com/catalog/product/983173> (дата обращения: 15.10.2021).

26. Титова, Л. М. Массообменные процессы в химической и пищевой технологии. Лабораторные и практические занятия: учебное пособие / Л. М. Титова, И. Ю. Алексанян, А. Х. Нугманов. — Санкт-Петербург : Лань, 2021. — 224 с. — ISBN 978-5-8114-1729-2. — Текст: электронный // Лань: электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/168725> (дата обращения: 13.10.2021).

27. Тихомирова А. В. Основы получения неорганических веществ и материалов в промышленности: курс лекций: учебное пособие / А. В. Тихомирова, Т. М. Шевченко. — Кемерово: КузГТУ имени Т.Ф. Горбачева, 2017. — 152 с. — ISBN 978-5-906969-19-4. — Текст: электронный // Лань:

электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/172552> (дата обращения: 15.10.2021).

28. Патент №2217669 России. МПК F 25 J 3/06. Способ утилизации аммиака из продувочных и танковых газов.

29. Патент №2372568 России. МПК. F 25 J 3/06. Способ извлечения аммиака из продувочных газов.

30. Пронин К.С. Проблема утилизации танковых и продувочных газов отделения синтеза производства аммиака / К.С. Пронин// Научный аспект № 3 2019- Самара,2019. -с.123-128.

31. Харлампида Х. Э. Общая химическая технология. Методология проектирования химико-технологических процессов: учебник / Х. Э. Харлампида. — 2-е изд., перераб. — Санкт-Петербург: Лань, 2021. — 448 с. — ISBN 978-5-8114-1478-9. — Текст: электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/169385> (дата обращения: 27.08.2021).

32. Химическая технология: учебное пособие / Н. В. Линов, В. В. Коваленко, М. В. Лызлова [и др.]. — Рязань: РГРТУ, 2016. — 80 с. — Текст: электронный // Лань: электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/168079> (дата обращения: 27.08.2021).

33. Krupp Uhde. A company of Thyssen Krupp Technologies [Электронный ресурс]: Chemie – mehr Effizienz, weniger Emissionen. URL: <https://www.thyssenkrupp.com/de/produkte/chemie> (дата обращения 05.09.2021).

34. Perry J.H. Chemical Engineers Handbook. Fourth Edition. Volume 2; edited by C.H. Chilton, S.D. Kirkpatrick. New York: Toronto: London: Sydney: McGRAW-HILL BOOK COMPANY, 2018. 504 с.

35. Jimenez S, Mico M., Arnaldos M. , Medina F. , Contreras S., State of the art of produced water treatment State of the art of produced water treatment//Chemosphere,2018 Volume 192,February 2019, pp 186-208.

Приложение А

Технологическая схема

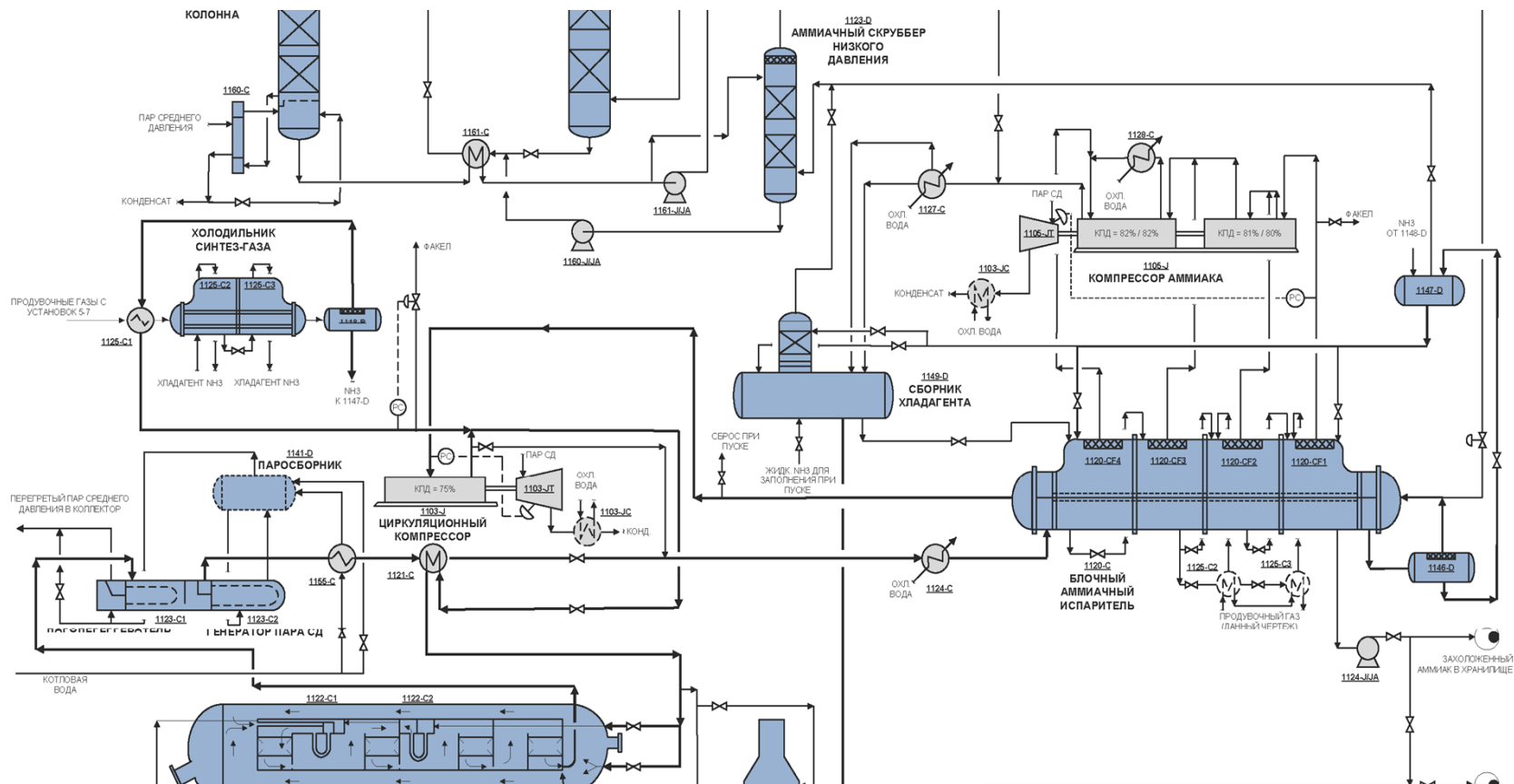


Рисунок А1 – Технологическая схема