

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)

18.03.01 Химическая технология  
(код и наименование направления подготовки, специальности)

Химическая технология органических и неорганических веществ  
(направленность (профиль) / специализация)

## **ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА (БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА)**

на тему Модернизация узла выдачи газообразного аммиака на производство слабой азотной кислоты ПАО «Куйбышевазот»

Студент

Т.З. Абдрахимов  
(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

Ю.В. Чариков

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

Тольятти 2021

## Аннотация

Бакалаврская работа состоит из 44 страниц, 4 рисунков, 5 таблиц, использовано 24 источника литературы.

Объектом исследования является цех №5 азотной кислоты на предприятии ПАО «КуйбышевАзот».

Цель работы - повышение сроков службы платиноидного катализатора, исключение вредных выбросов путем исключения из схемы устаревшего оборудования.

В приложениях представлены: фильтр-ресивер эскиз, общий вид газгольдера, схема узла подготовки и регулирования газообразного аммиака.

Пояснительная записка содержит пять разделов:

В первом разделе разобраны физико-химические основы процесса окисления аммиака до оксидов азота

В технологической части проведен анализ существующего узла подготовки аммиака. Предложен способ модернизации существующей схемы.

В расчетной части материального и теплового баланса цеха 5 стадии окисления аммиака до оксидов азота при оптимальных параметрах работы, расчет фильтра-ресивера и его насадки.

Выпускная квалификационная работа выполнена в текстовом редакторе Microsoft Word 2010. и представлена на электронном носителе.

## Содержание

Введение.....	4
1 Теоретическая часть.....	6
1.1 Химия процесса получения слабой азотной кислоты .....	6
1.2 Катализаторы применяемы в процессе получения азотной кислоты....	10
2 Технологическая часть .....	14
2.1 Фильтрация газообразного аммиака и воздуха и приготовление АВС. 14	
2.2 Окисление аммиака, охлаждение и промывка.....	14
2.3 Очистка отходящих газов.....	19
3 Недостатки производства .....	20
3.1 Недостатки мокрого газгольдера.....	21
3.2 Недостатки стадии механической очистки газообразного аммиака .....	22
3.3 Оптимизация узла подготовки, фильтрации и редуцирования газообразного аммиака .....	24
3.4 Описание технологического процесса после модернизации.....	24
4 Расчетная часть .....	27
4.1 Расчет материального баланса контактного аппарата после очистки газообразного аммиака .....	27
4.2 Расчет теплового баланса.....	31
4.3 Расчет фильтра-ресивера.....	34
4.4 Расчет фильтра-уловителя.....	37
Заключение .....	39
Список используемой литературы и используемых источников.....	40
Приложение А Общий вид мокрого газгольдера.....	42
Приложение Б Фильтр-ресивер .....	43
Приложение В Технологическая схема узла подготовки, фильтрации и редуцирования газообразного аммиака .....	44

## Введение

«Азотная кислота по объему производства занимает среди других кислот второе место после серной кислоты. Все возрастающий объем производства  $\text{HNO}_3$  объясняется огромным значением азотной кислоты и ее солей для народного хозяйства» [1,2].

«Основное количество азотной кислоты расходуется в производстве азотнокислых солей (нитратов) и сложных минеральных удобрений. Нитратный азот хорошо усваивается растениями и дает большой эффект при использовании в сельском хозяйстве.

Значительное количество азотной кислоты поступает на производство технических нитратов. Азотная кислота и жидкая четырехокись азота используются как окислители в ракетной технике. «Одним из важных исследований в истории развития химии было получение азотной кислоты контактным окислением аммиака» [2].

«В России И.И. Андреев, независимо от других исследователей, изучал возможность получения азотной кислоты контактным окислением аммиака и разработал этот процесс. За исключительно короткий срок он исследовал весь процесс получения азотной кислоты из аммиака сначала в лабораторных, а затем в полужаводских условиях и определил зависимость выхода оксидов азота на платине от скорости газа, температуры и состава аммиачно-воздушной смеси» [2]

«Производство азотной кислоты контактным окислением аммиака, осуществленное впервые в промышленных условиях В. Оствальдом и И.И. Андреевым, явилось большим достижением в развитии химической промышленности. Основным способ получения азотной кислоты из аммиака оказался более рентабельным, чем прямое взаимодействие атмосферного азота с кислородом» [3].

Актуальность темы:

- слабая азотная кислота занимает довольно широкий спрос среди химических предприятий и используется в нашем случае для получения аммонийной селитры. Аппараты и машины эксплуатируются 55 лет, не исключены проблемы экологического характера, так как некоторое оборудование невозможно отремонтировать без остановки производственного процесса, что нецелесообразно в непрерывном технологическом цикле.

Целью данной работы является повышение сроков службы платиноидного катализатора, то есть увеличение производительности путем оптимизации узла подготовки и фильтрации газообразного аммиака, а также исключение вредных выбросов путем исключения из схемы устаревшего оборудования.

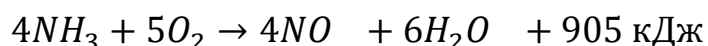
В процессе исследовательской деятельности были поставлены следующие задачи:

- проанализировать технологию производства слабой азотной кислоты;
- описать установку и предложить метод оптимизации;
- провести необходимые расчеты проектируемого оборудования.

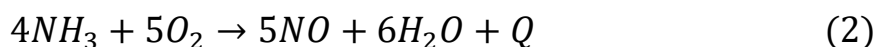
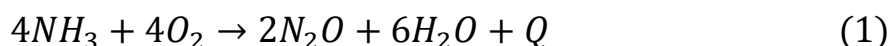
## 1 Теоретическая часть

### 1.1 Химия процесса получения слабой азотной кислоты

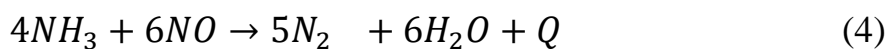
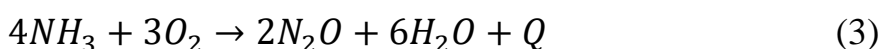
«Один из самых распространенных способов получения азотной кислоты считается: окисления газообразного аммиака по методу Кюльмана, что подразумевает контактное окисление аммиака на платиновой сетке под атмосферным давлением, а абсорбция азота в азотную кислоту под давлением» [1], не выше 4 кгс\см<sup>2</sup>. «Азотную кислоту получают по трем основным уравнениям реакции» [5]:



На этой стадии могут протекать следующие процессы:



Реакция окисления, проходящая в отсутствии катализатора:



Реакция окисления на платиновом катализаторе

Описанная гетерогенная реакция, является необратимой и экзотермической. В первых трех реакциях расход газообразного аммиака не имеет места быть, при повышении температуры в аппарате 750-800°С аммиак нчинает свое превращение на катализаторе, на котором происходит целенаправленное ускорение получения NO.

Использование платиновых катализаторов подразумевает высокую

скорость реакции превращения ( $10^{-4}$  сек)» [2]. Концентрация оксида азота на выходе составляет 97 % при соблюдении условий работы.

«Температура на поверхности платиновой сетки составляет:  $800^{\circ}\text{C}$  при атмосферном давлении и  $900^{\circ}\text{C}$  при повышенном. Высокая температура ведет к увеличению скорости реакции, а также ведет к внутренней диффузии катализатора и может быть главным фактором, ограничения протекания скорости реакции окисления аммиака, на сетке. Однако нужно следить, чтобы температура не превышала заданных параметров процесса катализа (от  $800-900^{\circ}\text{C}$ ), во избежание снижения выхода NO и повышении вероятности выхода элементарного азота по реакции 1.3. Когда технология производства работает по комбинированному методу, и контакт проходит при атмосферном давлении, аммиак окисляется при температуре от  $800-840^{\circ}\text{C}$ . В таком диапазоне температур, побочные реакции практически не происходят» [5], [18].

«На общую скорость протекания процесса и температуру так же влияет состав газовой смеси. уравнение реакции (1.3) показывает нам, что: на 1 моль  $\text{NH}_3$  расходуется 1,25 моль  $\text{O}_2$ , но при этом соотношении веществ на выходе оксид азота (II) не превышает показателей 66 %, а этого мало. Реакция идет в избытке кислорода, соотношение  $\text{O}_2:\text{NH}_3 = 1.8 - 2.1$ ; газ, поступающий на катализатор, имеет в своем составе» [1]:

$\text{NH}_3 - 11-11,5 \%$ ;

$\text{O}_2 - (9,5 - 10,5 \%) \text{ NH} 20 \%; \text{N}_2 - 70 \%$ .

«Окисление протекает автотермично, если содержание аммиака в газовой смеси достигает примерно 11,1 %. Если учесть, что, при обычной температуре смесь аммиака с воздухом взрывоопасна в интервале 16-27 %  $\text{NH}_3$ , то можно сделать вывод, что при повышении температуры границы взрывоопасности расширяются» [6].

«При повышении давления, окисления  $\text{NH}_3$ , за счет того, идет увеличение концентрация реагирующих в объеме реакционной смеси. «Повышение давления приводит к тому, что производительность катализатора

увеличивается вслед за уменьшением объема газовой смеси. При этом объем обратно пропорционален давлению» [1].

«Газы получившиеся в результате горения аммиака на катализаторе, называются нитрозными и содержат около 20 об. % NO, а также кислород, воду и азот. Оксид азота (II) необходимо подвергнуть окислению до диоксида, эта стадия является гомогенной и некаталитической экзотермической реакцией, протекающая с уменьшением объема» [6], [18]:



«Принцип, который выдвинул, Ле-Шателье говорит нам, что если снижать температуру и повышать давление, то равновесие будет смещаться вправо, то есть в сторону образования целевого продукта. Это значит, что, если снижать температуру процесса ниже 100 °С, равновесие реакции начнет сдвигаться в сторону образования диоксида азота (IV). Идет возникновение зависимости скорости от температуры. Доказано, что при 0 °С реакция получается в 12 раз медленнее, а при 300 °С в 30 раз медленнее, чем при 130 °С» [13].

«Поэтому следует если температура выше 700 °С, то образование диоксида азота в реакциях практически отсутствует. Процесс окисления аммиака подразумевает за собой возникновение горячей газовой смеси нитрозных газов, у которых на выходе из котла утилизатора NO<sub>2</sub> не присутствует» [13].

«Есть предположения, что при окислении оксида азота (II) до диоксида азота (IV) образуется промежуточный продукт оксид азота (N<sub>2</sub>O<sub>2</sub>), реакция сопровождается в 2 стадии» [18].

«Реакция образования димера идет с выделением тепла, значит, температура повышается и равновесное состояние смещается в сторону оксида азота (II), а димер необходим для получения оксида азота (IV)» [5].



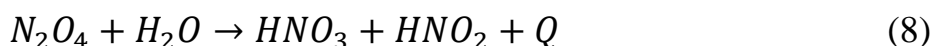
«В установках, которые работают под атмосферным давлением, степень окисления оксида азота до  $\text{NO}_2$  проводят лишь на 92-93 %, а при повышенном давлении установки рентабельнее, так как менее затратные, чем под атмосферным, без дополнительных аппаратов для до окисления и абсорбции смеси щелочами» [6], [18].

«Единовременно протекают реакции димеризации оксида азота (IV) в тетраоксид» [6]:

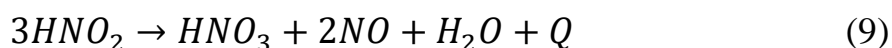


Скорость протекания реакции достаточно высокая.

«Эта реакция тоже протекает с выделением теплоты и уменьшении в объеме. В результате, в нитрозных газах, поступающих на абсорбцию, содержатся  $\text{NO}_2$ ,  $\text{N}_2\text{O}_3$ ,  $\text{N}_2\text{O}_4$ ,  $\text{O}_2$ ,  $\text{N}_2\text{O}$ ,  $\text{NO}$ ,  $\text{N}_2$ , пары воды. Третья и последняя стадия получения азотной кислоты заключается в поглощение оксида азота (IV) и его димера водой по двум реакциям» [6,5]:

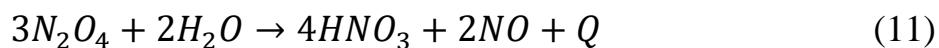


«В результате получаемая при этом азотная кислота неустойчива и разлагается» [5,6]:



«Суммарное взаимодействие  $\text{NO}_2$  с водой можно представить уравнением реакции» [6]:





«Поглощение диоксида азота водой– типичный хемсорбционный процесс в системе газ-жидкость, где частицы поглощаемого вещества и поглотителя вступают в химическое взаимодействие и в итоге образуют химическое соединение» [4].

«Реакции идут с выделением теплоты и уменьшением объёма, значит при снижении температуры и повышении давления равновесное состояние сдвигается в сторону образования слабой азотной кислоты. Чтобы получать кислоту большей концентрации надо увеличить давление паров оксидов азота над раствором кислоты и это снижает общую скорость процесса и понижать температуру» [4].

«Абсорбция азотной кислоты — представляет собой принцип противотока: газ встречается с конденсатом азотной кислоты и в итоге  $NO_2$  поглощается» [9].

«Сам процесс в установках протекает с большим выделением тепла, а значит и кислота в заключительной стадии (на выходе из колонны) выходит с температурой не менее  $50\text{ }^{\circ}C$ . В зависимости от типа установки, получается разная концентрация кислоты.

Например, если установка работает под атмосферным давлением, то кислота содержит 50 %  $HNO_3$ , а в установке, работающей под давлением (0,6-0,8 мПа), получается кислота 58-60 %. Это возможно в установках прямого синтеза» [4].

## **1.2 Катализаторы применяемы в процессе получения азотной кислоты**

Кислота азотная  $HNO_3$  (ГОСТ Р 53789-2010) имеет внешний вид — прозрачной бесцветной или слегка окрашенной в желтый цвет жидкости без механических примесей.

## Применение

Азотная кислота используется в химической, текстильной, военной промышленности, машиностроении, полиграфии. Имеет следующие технические характеристики (таблица 1):

Таблица 1 – Технические характеристики

Наименование	Высший сорт	1-й сорт	2-й сорт
Массовая доля азотной кислоты, %, не менее	57,0	56,0	46,0
Массовая доля оксидов азота (в пересчете на N <sub>2</sub> O <sub>4</sub> ), %, не более	0,07	0,10	0,20
Массовая доля остатка после прокаливания, %, не более	0,004	0,020	0,050

«Одни из самых производительных катализаторов, являются платинородиевые сетки. Их число в аппарате напрямую зависит от рабочего давления и конструкции. Сетки состоят из вязанного формата проволок, диаметром 60 или 76 мкм. На практике показано, что с одним реактором можно производить до 1500 т/сутки кислоты.

Особенность платины по активности превышает все другие виды катализаторов, это было показано еще 1902 г. Выяснилось, что окисление аммиака могут проявлять большинство металлов, но лишь платина гарантированно дает очень высокой выход (NO) выше 90 %.

Обладая хорошей пластичностью, платина имеет низкую температуру зажигания (около 200 °С). Недостаток платины отражается в том, что высокие температуры и большие скоростные потоки реагентов, ведут к быстрому механическому разрушению» [9].

«Еще одним существенным недостатком данного катализатора является его высокая чувствительность к каталитическим ядам. Последствия вели к быстрой и необратимой потере дорогостоящего катализатора. Дабы удешевить и продлить срок службы платиновых сеток начали смешивать

платину с другими металлами, и основная задача сплава с платиной заключалась в сохранении каталитической активности как при обычной платине. Результат поисков показал стабильную активность с палладием и родием. Именно этот сплав и положил начало реализации на производствах в России. Яды, содержащиеся в воздухе и аммиаке, нуждаются в тщательной нейтрализации путем фильтрации, так как они губительно влияют на платиновый катализатор, к ним относят: мышьяк, фтор, диоксид серы, масла и другие» [6].

«Очистку от примесей, в производстве обычно она проходит в 3 этапа: 1 этап – очистка аммиака, 2 стадия- очистка воздуха от пыли и 3- это очистка на входе в контактный аппарат. Механические примеси, попадая на сетку, оседают на поверхности и тем самым уменьшают степень окисления аммиака, происходит разрыхление сеток, которое влияет на эластичность нитей. В связи с разрыхлением, поверхность увеличивается примерно в 30 раз. В результате износа платины, себестоимость кислоты значительно растет, так как стоимость платины играет важную роль в производстве в целом по экономическим расчетам. Практикуют дополнительный катализатор в процессе на основе оксида железа и хрома, но он менее активен. Его изготавливают в виде таблеток цвета красного кирпича, и служит доокислителем, в целях экономии платинового катализатора» [18].

«Распишем этот процесс по этапам:

- на платине адсорбируются молекулы кислорода, которые распадаются при этом на атомы;
- из-за того, что молекулы кислорода и водорода сходные по родству, когда молекулы аммиака сближаются с катализаторной сеткой, то они присоединяются своими атомами водорода к атомам кислорода.
- в итоге реакции образуется оксид азота (II) и молекулы воды, которые вытесняются новыми молекулами кислорода» [10,22].

Схема действия катализатора представлена на рисенке 1:

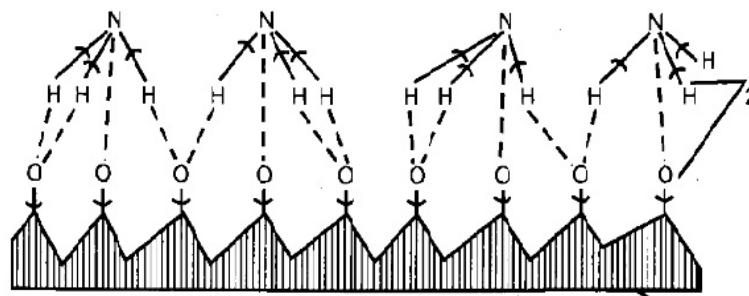


Рисунок 1 – Схема окисления аммиака на катализаторе

Структурная формула азотной кислоты представлена на рисунке 2:

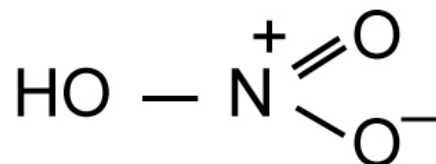


Рисунок 2 – Структурная формула азотной кислоты

#### Выводы по разделу

Помимо каталитического окисления газообразного аммиака, существуют и другие методы получения оксидов азота, например, метод связывания азота и кислорода воздействием электрической дуги, он проводится при высоких температурах. Из-за несовершенства конструкции печи и большого расхода электроэнергии, этот метод не проявил себя. Так же существует метод цианамидного связывания атмосферного азота. Способ получения азотной кислоты из газообразного аммиака является самым рентабельным на данный момент. Освоение промышленного синтеза аммиака из простых веществ, позволило освоить получения азотной кислоты на катализаторах платинового типа, возможно через некоторое время химическая промышленность освоит методы окисления аммиака без использования драгоценных металлов, что должно позволить снизить затраты, и предоставить возможность получения азотной кислоты в нужных для потребления количествах не снижая показателей.

## **2 Технологическая часть**

### **2.1 Фильтрация газообразного аммиака и воздуха и приготовление АВС**

«Для осуществления подачи газообразного аммиака на узлы контактирования предусмотрен мокрый газгольдер телескопического типа.

Газообразный аммиак из газгольдера поз.1 емкостью 10000 м<sup>3</sup>, работающий под давлением 0,04-0,06 кгс/см<sup>2</sup> через регуливающую арматуру направляется на фильтр грубой очистки поз.2, где обеспечивается фильтрация аммиака от масла и механических примесей, перед поступлением его в газо-нагнетатель.

Смешение аммиака с воздухом происходит в полости трубопровода перед газо-нагнетателем поз.3. Оптимальная концентрация аммиака в аммиачно-воздушной смеси 10,5-11,5%. Она ограничивается содержанием кислорода в воздухе и пределами взрываемости аммиака с воздухом и выдерживается по расходам [3]».

Центробежным газо-нагнетателем поз.3 аммиачно-воздушная смесь, через заслонку поступает в трубное пространство полости подогревателя аммиачно-воздушной смеси поз.4, где подогревается нитрозными газами до температуры не выше 100оС. Подогретая аммиачно-воздушная смесь фильтруется на ткани Петрянова, расположенных на верхних конусах контактных аппаратов поз. 5 [2]».

### **2.2 Окисление аммиака, охлаждение и промывка**

Окисление аммиака, охлаждение и промывка нитрозных газов. Из картонного фильтра аммиачно-воздушная смесь поступает в контактный аппарат поз.5, где на катализаторе при температуре 780-840оС происходит

окисление аммиака с образованием азота, окиси азота и воды по реакциям  
 $4\text{NH}_3+5\text{O}_2=4\text{NO}+6\text{H}_2\text{O}+Q$  ккал 18  $4\text{NH}_3+3\text{O}_2=2\text{N}_2+6\text{H}_2\text{O}+Q$  ккал.

Реакция с образованием азота является нежелательной. Наилучшим для избирательного окисления аммиака в окись азота считается платиноидный катализатор. Платина хорошо адсорбирует кислород, слабо аммиак и водород и почти не адсорбирует азот. Выход окиси азота от количества окисляемого аммиака не менее 96%.

Циркуляционные насосные аммиачные схемы имеют ряд преимуществ. Благодаря верхней подаче жидкого аммиака достигается равномерное распределение его во всех трубах батарей. Многократная циркуляция аммиака обеспечивает простейшее регулирование работы батарей. Отсутствует влияние столба жидкости на температуру кипения аммиака, что очень важно при применении низких температур. В трубах батарей не осаждается масло. Возможность гидравлических ударов в компрессорах снижается. Уменьшение аммиако-емкости системы позволяет применять непосредственное охлаждение в крупных установках. Наилучший эффект такие схемы дают при применении батарей типа Каскад.

Пройдя процесс смешивания в нужном соотношении с газообразным аммиаком, АВС поступает в контактный аппарат (конвертор) конусного строения поз.5. «Далее начинается реакция окисления газообразного аммиака в конверторе, где установлен платиновый катализатор и катализатор не платиновый КН-II, который засыпан в специальную конструкцию в виде корзины. АВС под воздействием водородной горелки, воспламеняется на платиноидной сетке, после чего горение поддерживается в ходе реакции, без помощи внешнего источника горения» [6,21].

«Аммиак сгорая, образует нитрозные газы: NO, N<sub>2</sub>O, N<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O температура которых равна 790-840 °С. Выделившееся в ходе реакции тепло утилизируется на котле-утилизаторе поз.6, подогревая воду в змеевиках образуя перегретый пар для нужд цеха и для подачи пара в общезаводскую

систему» [4]. Далее нитрозные газы должны охладиться перед стадией сжатия, для охлаждения используется абсорбер (газовый холодильник) поз.7.

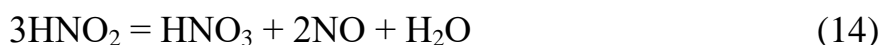
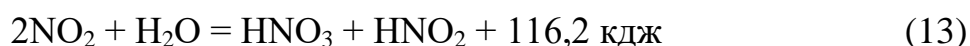
В газовом холодильнике происходит промывка нитрозных газов от аммонийных солей и охлаждение с помощью воды, циркулирующей в змеевиках, установленных на тарелках, охлаждаясь нитрозные газы образуют конденсат азотной кислоты (КАК) используемый для орошения на стадии абсорбции [10]».

Сжатие, окисление и охлаждение.

Нитрозные газы из холодильников-промывателей поз.7 поступают через заслонку в осевой турбокомпрессор поз.8, где процесс сжатия происходит под давлением 2,5- 3,5 кгс/см<sup>2</sup>. В состав агрегата входит один турбокомпрессор производительностью до 32400 нм<sup>3</sup> /час газа. Далее нитрозные газы проходят окисление до высших окислов в окислителе поз.8.

Абсорбция окислов азота.

«Перед подачей нитрозов в абсорбционную колонну установлен скоростной холодильник поз.10 для охлаждения нитрозных газов» [7,20]. «Процесс абсорбции проводят в сетчатой абсорбционной колонне. поз.11 Нитрозные газы подаются под первую тарелку абсорбционной колонны и направляясь вверх, проходят поочередно все 40 сетчатых тарелок, на которых установлены охлаждающие фрагменты» [7,19]. «На 40-ю тарелку колонны подается конденсат сокового пара, обессоленная вода и конденсат азотной кислоты» [7,23]. «В абсорбционной колонне азотная кислота образуется по реакциям:





Процесс поглощения окислов азота водой связан с растворением в ней  $\text{NO}_2$ ,  $\text{N}_2\text{O}_4$  и  $\text{N}_2\text{O}_3$  с образованием азотной и азотистой кислот» [1]. «Сетчатые тарелки в абсорбционной колонне расположены в строго горизонтальном положении. При прохождении газа через отверстия тарелок со скоростью 0,3-0,4 м/сек, на тарелках начинает образовываться пена, имеющая сильно развитую поверхность раздела фаз, что способствует быстрому и качественному массообмену в абсорбционной колонне» [9].

«Для того чтобы ускорить реакцию окисления окиси азота в двуокись азота в абсорбционной колонне поддерживается кислород в избытке, который определяется содержанием кислорода в выхлопных газах. Содержание кислорода в выхлопных газах должно быть не менее 3%. Для создания избытка кислорода подается добавочный воздух заслонкой или кислород на всас турбокомпрессора» [1].

«Образовавшаяся на верхних тарелках абсорбционной колонны слабоконцентрированная азотная кислота, стекает на нижние тарелки. На тарелках раствором кислоты поглощаются идущие навстречу окислы азота с образованием азотной кислоты, происходит массообмен» [2].

«Концентрация кислоты увеличивается по мере прохождения по тарелкам. На нижней тарелке кислота может достигать концентрацию 47% и выводится из колонны на отбелку. Выход по кислой абсорбции принят не менее 98,5% от количества окислов» [10].

«Для утилизации тепла, выделяющегося в процессе абсорбции нитрозных газов, на тарелках размещены охлаждающие змеевики, в которые подается обратная вода с температурой до 28°C. Отработанная вода после абсорбционной колонны направляется через скоростной газовый холодильник в холодильники-промыватели» [10].

«Полученная в колоннах азотная кислота по общему для всех агрегатов коллектору направляется в колонну продувки или отбеливания, в которой из кислоты воздухом на колпачковых тарелках отдуваются растворенные окислы азота» [10]. «Так как отдувка окислов азота происходит интенсивнее при

повышенной температуре, на первых по ходу газа тарелках абсорбционной колонны поддерживается температура до 60°C. Отбеленная кислота из продувочной колонны самотеком поступает в хранилище продукционной кислоты поз.12» [11].

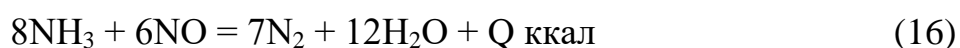
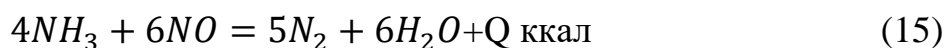
«На некоторых тарелках колонн абсорбции в кислоте с концентрацией 25-35% накапливаются хлориды (соединения хлора KCL, NaCL, CaCL<sub>2</sub> и др.), которые с азотной кислотой образуют активное соединение нитрозил-хлор NOCL, которое способно вызывать повышенную скорость коррозии нержавеющей стали» [11].

«В более концентрированной кислоте хлориды разрушаются, переходят в газовую фазу и потоком газа поднимаются в зону 25-35% кислоты» [12,17].

«Накопление хлоридов может происходить при подаче на орошение колонн конденсата или воды, содержащих хлориды или с охлаждающей водой при нарушении целостности змеевиков на тарелках колонн или холодильников-промывателей. С целью избежания накопления хлоридов в 25-35% кислоте с 4 и 5 тарелок абсорбционных колонн выводится кислота в хранилища» [1].

### 2.3 Очистка отходящих газов

Производство неконцентрированной азотной кислоты имеет технологическую схему без рецикла, поэтому отходящие газы в полном объеме сбрасываются в атмосферу. Таким образом, узел очистки «хвостовых» газов в производстве неконцентрированной азотной кислоты имеет большое значение, так как он должен обеспечивать экологическую безопасность производства в соответствии с современными требованиями. «Хвостовые газы с содержанием окислов азота до 0,16% объемных и температурой до 35°C после абсорбционной колонны поз.11 поступают в подогреватели хвостовых газов (теплообменник) поз.9, где обмениваются теплом с нитрозными газами. Подогретые хвостовые газы подаются в смеситель, где смешиваются с аммиаком, поступающим из заводской сети по двум вводам с давлением 3-3,5 кгс/см<sup>2</sup>» [1,2]. «Смесь отходящих газов и аммиака поступает в реактор поз.11/1, где на слое ванадиевого катализатора аммиак восстанавливает окислы азота до азота по реакциям» [1,6]:



«Основное количество избыточного аммиака окисляется кислородом, находящимся в отходящих газах, по реакции» [1,6]:



«Непрореагировавший аммиак поступает на слой железохромового катализатора, где происходит процесс с дефиксацией азота аммиака и окислением водорода до воды по реакциям» [13,15]:



«В результате протекающих в реакторе экзотермических реакций температура газов повышается. Очищенный газ с температурой до 380°C и содержанием окислов азота до 0,006% и аммиака до 0,012% объемных направляется в рекуперационную турбину турбокомпрессора, где энергия газов срабатывается с понижением давления и температуры» [14,8]. «Из турбины газы по общему коллектору направляются в выхлопную трубу поз.11/2» [12,24]. Каталитическая очистка хвостовых газов является очень серьезным аспектом в производстве слабой азотной кислоты. Большое внимание так же уделяется катализатору, который представляет собой гранулы, от его качества и характеристик так же зависит состояние окружающей среды. Оксиды азота пагубно влияют на атмосферу земли, из-за повышенной концентрации оксидов азота в атмосфере, в процессе реакции с водой возникает азотная кислота. Во время дождя кислота наносит урон растительности и живым организмам.

Выводы по разделу.

Технология азотной кислоты требует постоянного контроля, так как вредные вещества, могут навредить окружающей среде, в связи с этим были проведены различные модификации в технологии производства, а именно: внедрение двойного орошения на стадию абсорбции, установка дополнительных теплообменников для охлаждения конденсата азотной кислоты, внесены изменения в конструкцию продувочных колонн.

Был запущен и построен агрегат УКЛ работающий под повышенным давлением.

Из-за увеличения объемов потребляемой азотной кислоты, было принято решение по постройке высоко-тоннажного агрегата азотной кислоты на территории предприятия ПАО КуйбышевАзот.

### 3 Недостатки производства

#### 3.1 Недостатки мокрого газгольдера

Мокрый газгольдер представляет собой стальную конструкцию, состоящую из тонколистового резервуара, наполненного водой и подвижной части колокола, служащего емкостью для технологического газа» [3].

Принцип работы такого газгольдера следующий: колокол движется по вертикальным направляющим, расположенным вдоль стенок резервуара под воздействием собственного веса и давления газа. Направляющие с помощью поясов и раскосов объединены в единую пространственную конструкцию.

На уровне верха, у резервуара устроен балкон, служащий одновременно горизонтальной кольцевой балкой для всей системы стальных конструкций газгольдера. К газгольдеру подводятся: технологический газ, вода для наполнения резервуара, пар для обогрева воды в резервуаре и линия трубопроводов для отвода воды из резервуара при его переполнении и опорожнении.

«В ходе исследования оборудования были выявлены следующие недостатки:

- местная деформация обечайки резервуара в местах расположения направляющих внутренних роликов телескопа.
- неисправна система объемоуказания.
- телескоп смещен, внешние и внутренние ролики вышли из зацепления и при движении не опираются на направляющие. Состояние аварийное, возможно заклинивание.
- внешние ролики телескопа не вращаются и имеют односторонний износ реборды и рабочей поверхности качения вследствие скольжения ролика по направляющей.
- отрыв от телескопа по сварным швам кронштейнов крепления внешних роликов;

- недопустимая деформация направляющих; пропуск в верхней части телескопа; внешние ролики колокола не вращаются и имеют односторонний износ реборды и рабочей поверхности качения вследствие скольжения ролика по направляющей;
- износ колокола в верхних и боковых частях, образовывались свищи, через которые газообразный аммиак попадает в атмосферу, состояние сосуда приходит в негодность;
- попадание газообразного аммиака в резервуар через механические повреждения, что не должно происходить по экологическим нормам, вода в резервуаре насыщается аммиаком.

### **3.2 Недостатки стадии механической очистки газообразного аммиака**

«Аммиак имеет примеси масла и различного вида загрязняющие вещества, которые являются сильным каталитическим ядом, так как сгорая в ходе реакции на платиноидных сетках, науглераживает их поверхности, вызывая необратимое отравление сеток, снижает степень конверсии аммиака и повышает потери платинового катализатора.

Для механической очистки аммиака перед подачей на узел контактирования используют сосуды, в которых установлены кольца, служащие каркасом для фильтровальной ткани, в каждом сосуде, а их 12 и в ходе исследования оборудования было выявлено следующее: на фильтр механической очистки поступает газообразный аммиак, имеющий в своем составе взвешенные частицы масла, которые налипают на тканевый фильтр, что влечет за собой разрыв фильтрующей ткани и попадание частиц масла на поверхность контакта. Краткие выводы по информации представленной в разделе три приведены ниже. Аммиачно-воздушная смесь должна подаваться на агрегаты непрерывно и под одним давлением, без скачков и падений, во избежание аварий в отделении контактирования.

Оптимизация азотнокислого цеха крайне необходима, так как газообразный аммиак срочно нуждается в дополнительной фильтрации и очистке. Регенерацию платинового катализатора, приходится производить один раз в шесть месяцев, что является очень неэкономично и очень энергозатратно. Так же идет дополнительная нагрузка на фильтр грубой очистки, из-за взвешенных частиц масла, что ведет к разрыву фильтрующего элемента и выход из строя катализатора. Газообразный аммиак необходимо очищать уже на первой позиции подготовки для более глубокой фильтрации. В рамках проекта будет предусмотрен фильтр-ресивер, для предотвращения попадания мельчайших частиц масла на стадию грубой очистки и платиновый катализатор. Оптимизация азотнокислого цеха необходима, так как газгольдер работающий под давлением загрязняет окружающую среду и имеет аварийное состояние. Блок-схема до оптимизации представлен на рисунке 3:

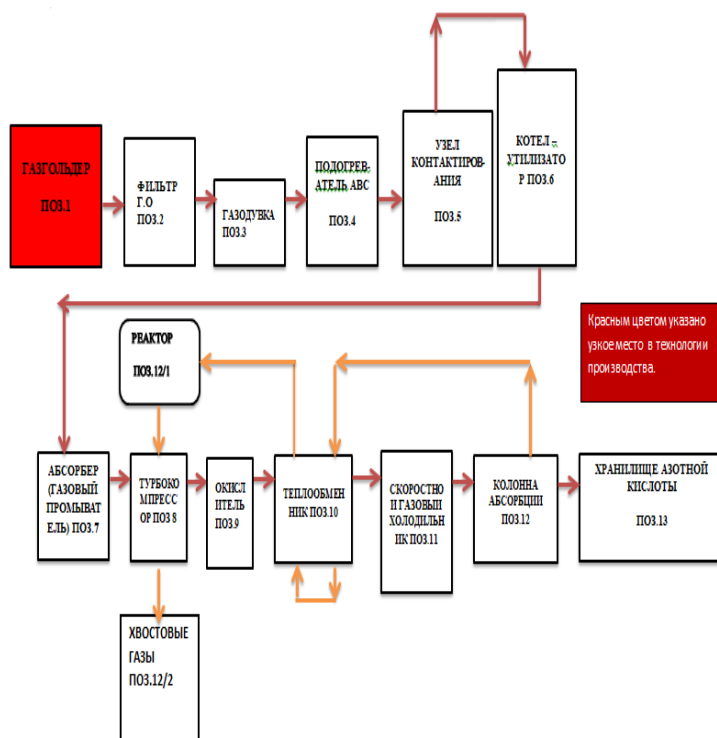


Рисунок 3 – блок схема производства азотной кислоты

### **3.3 Оптимизация узла подготовки, фильтрации и редуцирования газообразного аммиака**

В рамках оптимизации предлагается следующее - исключение из работы газгольдера аммиака; установка дополнительных аппаратов, регуляторов, КИПиА, предохранительных устройств обеспечивающих надежную работу цеха по безгазгольдерной схеме; установка фильтра-ресивера.

Техническое перевооружение узла подготовки аммиака осуществляется в связи с исключением существующего газгольдера из работы и предусматривает установку для очистки аммиака от масла, а также подготовку и подачу газообразного аммиака в количестве 18,189 т/ч с температурой 10-30°C на агрегаты слабой азотной кислоты АК-3,5.

### **3.4 Описание технологического процесса после модернизации**

Подача газообразного аммиака может производиться с дополнительным подогревом в теплообменнике в зимнее время суток. Газообразный аммиак от общезаводского коллектора под избыточным давлением 0,16 — 0,35 мПа с температурой 5 — 20 °С направляется на подогреватель газообразного аммиака, в трубном пространстве подогревателя (Т-1) предусматривается циркуляция водяного пара с давлением 3 - 0,5 мПа и температурой 150-180 °С.

Подогретый до температуры 30 °С газообразный аммиак из подогревателя Т-1 поступает на проектируемый узел подготовки, фильтрации и редуцирования газообразного аммиака.

Для снижения давления газообразного аммиака с 3,5 кгс/см<sup>2</sup> до 0,033кгс/см<sup>2</sup> предусмотрена установка рабочего и резервного регулятора давления РСВ-707А, В, с дальнейшей подачей газообразного аммиака по



существующему трубопроводу МЦК на агрегаты слабой азотной кислоты АК-3,5.

Для очистки газообразного аммиака от масла в рамках исследовательской работы предусмотрен ресивер-фильтр поз. Ф-1 и сетчатый каплеулавливатель. Отвод масла осуществляется в переносную тару для дальнейшей регенерации. Для защиты ресивера-фильтра (Ф-1) от превышения давления предусмотрена установка предохранительного клапана. Сбросы через клапан осуществляются на проектируемую санитарную колонну склада жидкого аммиака.

Для отделения газообразного аммиака, поступающего от общезаводского коллектора газообразного аммиака АМГ с избыточным давлением не более 0,35 мПа от масла, в ресивере-фильтре предусмотрен сетчатый фильтрующий элемент. Ресиверы — это герметичные цилиндрические сосуды, служащие емкостью для жидкого холодильного агента. По конструкции ресиверы бывают вертикальные и горизонтальные. Вертикальные ресиверы применяются в холодильных агрегатах преимущественно малых холодильных машин холодопроизводительностью до 800 Вт. Они монтируются на общей плоской металлической раме, устанавливаемой на амортизирующих устройствах. Горизонтальные ресиверы являются составной частью холодильных агрегатов. Они большей частью устанавливаются в холодильных агрегатах открытого типа холодопроизводительностью 0,8-3,0 кВт.

В данном случае фильтр-ресивер-это аппарат, установленный на специальные опоры, и полый внутри с каплеулавлителем в верхней части и разделителем. Газообразный аммиак, очищается на сетчатом лавсановом фильтре, установленный в блоки. Аммиак, попадая на каплеулавнитель, очищается от масла, тем самым обеспечивается чистота технологического газа.

Блок-схема после оптимизации представлена на рисунке 4:

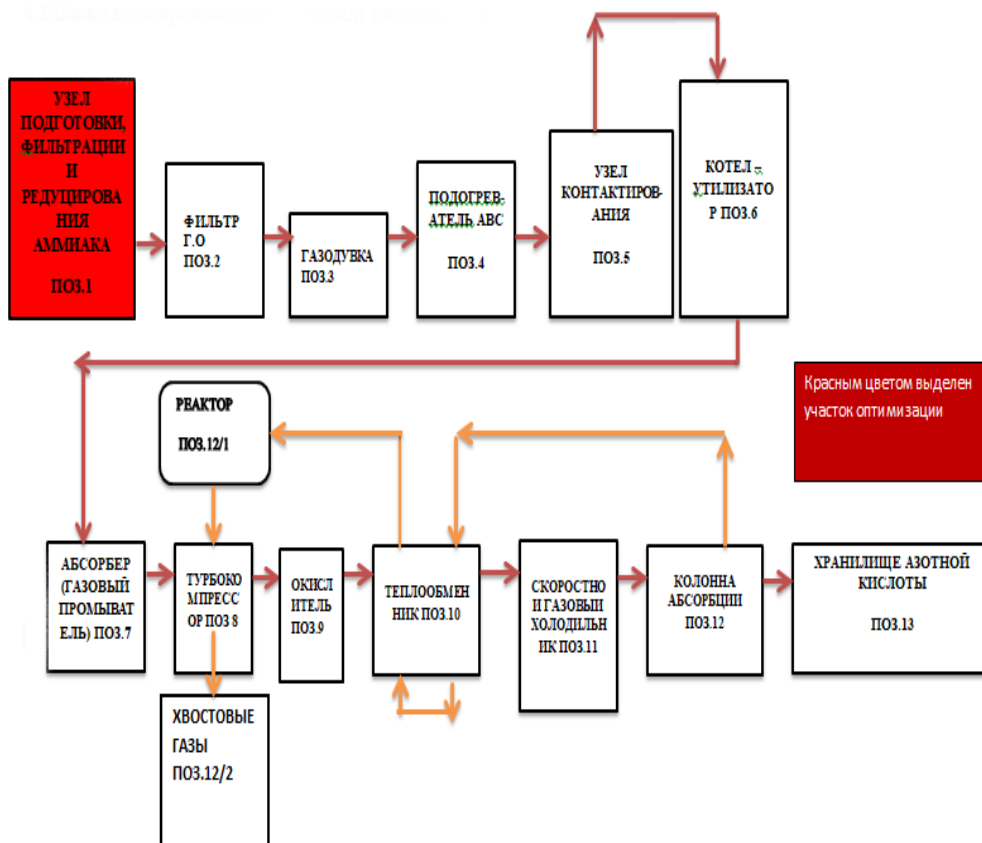


Рисунок 4 – блок-схема производства азотной кислоты

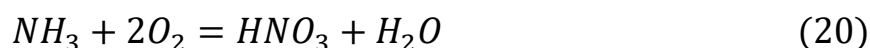
Выводы по разделу:

- на основе аналитических данных было установлено, что срок службы катализатора значительно повысился и уже увеличился с 6 месяцев до 12 месяцев благодаря внедрению фильтра-ресивера, а также исключены токсичные выбросы в атмосферу благодаря исключению из схемы устаревшего оборудования.

## 4 Расчетная часть

### 4.1 Расчет материального баланса контактного аппарата после очистки газообразного аммиака

«Определим кол-во аммиака, который необходим для получения 5 т\час азотной кислоты по реакции» [18]:



«Расход аммиака если учесть степень окисления и абсорбции окислов азота составит» [18]:

$$C_1NH_3 = \frac{\Pi}{0,97} \cdot 0,99 \quad (21)$$

«где  $\Pi$  – нагрузка по моногидрату на 1 агрегат, кмоль\час;

0,97 – степень окисления аммиака;

0,99 – степень абсорбции» [18].

$$C_1NH_3 = 5 / 0,97 \cdot 0,99 = 5,2 \text{ кг или } 314 \text{ кмоль}$$

«Для определения расхода сухого воздуха при содержании аммиака в АВС 10,3 % об. проведём следующие расчёты» [11]:

314 кмоль аммиака соответствует 10,3 % об.

X кмоль воздуха соответствует 89,7 % об.

X1 = 2736 кмоль\час воздуха.

«Определим количество водяных паров, вносимых потоком воздуха при среднем содержании 0,2 % об.» [11]:

2736,54 кмоль воздуха – 98,2 % об.

X кмоль воды – 0,2 % об.

$X_2 = 5,57$  кмоль\час водяных паров.

«Количество кислорода, поступающего в систему вместе с потоком воздуха» [18]:

$$C_1O_2 = x_1 \cdot 0,21 \quad (22)$$

где  $x_1$  – расход воздуха;

0,21 – содержание кислорода в воздухе.

$$C_1O_2 = 2736 \cdot 0,21 = 574 \text{ кмоль \ час.}$$

«Количество азота, поступающего в агрегат с потоком воздуха» [18]:

$$C_1N_2 = x_1 \cdot 0,79 \quad (23)$$

где 0,79 – содержание азота в воздухе.

$$C_1N_2 = 2736 \cdot 0,79 = 2161 \text{ кмоль\час}$$

Таблица 2 – Приход АВС в контактный аппарат

Наименование компонента	Кмоль	% об.	Кг	% вес.
Азот	2161	70	60532	71
Кислород	574	18	18389	21
Аммиак	314	10	5342	6
Вода	5	0,20	100	0,11
Итого:	3056	100	84363	100

«Состав после окисления аммиака в соответствии со степенью конверсии 97 % требуется рассчитывать по следующим реакциям» [18].





«Определяем количество оксида азота, образовавшегося по реакции в час» [18]:

$$C_1\text{NO} = C_1\text{NH}_3 \cdot K_1 \quad (26)$$

$$C_1\text{NO} = 314 \cdot 0.97 = 304 \text{ кмоль\час}$$

«Определяем количество инертного азота, образующегося по реакции в час» [18]:

$$C_2\text{N}_2 = C_1\text{NH}_3 - C_1\text{NO} \setminus 2 \quad (27)$$

где  $C_1\text{NH}_3$  - расход аммиака;

$C_1\text{NO}$  – количество оксида азота.

$$314,23 - 304,803 \setminus 2 = 4 \text{ кмоль\ час}$$

$$C_2\text{N}_2 = 314 - \frac{304}{2} = 4 \text{ кмоль\час}$$

«Всего инертного газа в газовой смеси после окисления аммиака» [11]:

$$C_1\text{N}_2 = C_1\text{N}_2 + C_2\text{N}_2 \quad (28)$$

где  $C_1\text{N}_2$  – количество азота;

$C_2\text{N}_2$  - количество инертного азота.

$$C_1\text{N}_2 = 2161 + 4 = 2166 \text{ кмоль\час}$$

«Вода которая образуется по реакциям и находится в паровом состоянии» [19]:

8 моль аммиака образуют 12 моль воды;

314 кмоль аммиака образуют x кмоль воды;

$X_3 = 471$  кмоль\час;

«Водяной пар, образовавшегося после окисления аммиака». [11]:

$$C(H_2O)_{\text{общ}} = x_1 + x_3 \quad (29)$$

$$C(H_2O)_{\text{общ}} = 5 + 471 = 476 \text{ кмоль\час}$$

«Кислорода на окисление аммиака до окислов азота по реакции в час» [11]:

4 моль аммиака требуют 5 моль кислорода.

314,23 кмоль аммиака требуют x кмоль кислорода.

$X_4 = 392,78$  кмоль \ час кислорода.

«Количество используемого кислорода для окисления аммиака до оксида азота по реакции принимаем 4 % от общего кислорода» [11]:

$$C(O_2 - N_2) = 0.75 \cdot C_1 NH_3 (1 - \eta_K) \quad (30)$$

$$C(O_2 - N_2) = 0,75 \cdot 5343 \cdot 0,025 = 3 \text{ кмоль/час.}$$

«Общий расход кислорода». [11]:

$$C(O_2)_{\text{ОБЩ}} = x_4 + C(O_2 - N_2) \quad (31)$$

$$C(O_2)_{\text{ОБЩ}} = 395 + 3 = 398 \text{ кмоль/час}$$

«Определяем, сколько остается кислорода в газовой смеси после окисления аммиака». [11]:

$$\text{СОСТ.} = C_1 O_2 - C(O_2)\text{ОБЩ} \quad (32)$$

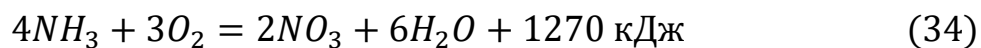
$$\text{СОСТ.} = 574 - 395 = 178 \text{ кмоль/час}$$

Таблица 3 – Расход из контактного аппарата

Наименование компонента	Кмоль	% об.	Кг	% вес.
Аммиак	304	9	9144	10
Кислород	178	5	5720	6
Азот	2166	69	60663	72
Вода	476	15	8584	10
Итого:	3127	100	84112	100

#### 4.2 Расчет теплового баланса

Приход тепла.



$$Q_1 = Q_P \cdot П_{\text{ЧАС}} \setminus 4 \cdot 10613,3 \quad (35)$$

где  $Q_P$  – тепло в реакции,

$П_{\text{ЧАС}}$  – производительность часовая,

4 – стехиометрический коэффициент по реакции.

$$Q_1 = 908 \cdot 22,47 \setminus 4 \cdot 10613,3 = 54135152 \text{ кДж} = 5,4 \cdot 10^7 \text{ кДж}$$

$$Q_2 = 1270 \cdot 22,47 \cdot 2 \cdot 219 = 3124780,6 \text{ кДж} = 3,1 \cdot 10^6 \text{ кДж}$$

«Определим приход тепла с аммиачно-воздушной смесью, поступающей в конвертор» [20]

$$Q_3 = m \cdot c \cdot t_X \quad (36)$$

где:  $m$  – количество поступающей аммиачно-воздушной смеси, кмоль,  
 $c$  – средние молярные теплоемкости компонентов смеси в пределах от 0 до 250 °С, они составляют:

38 Дж для аммиака,

30 Дж для кислорода,

29 Дж для азота.

$t_X$  – температура смеси, °С.

$$Q_3 = (38 \cdot 314 + 30 \cdot 574 + 29 \cdot 2161) t_X = 9,2 \cdot 10^4 t_X \text{ кДж}$$

«Расход тепла с уходящими от сеток нитрозными газами при температуре конверсии 900°С» [20].

$$Q_4 = (31 \cdot 304 + 32 \cdot 178 + 29 \cdot 2166) \cdot 890 = 7,09 \cdot 10^7 \text{ кДж}$$

«Потери тепла за счет изменения тепла, вызывающих понижение температуры каталитических сеток, составляет» [21]:

$$Q_5 = 0,05 \cdot Q_4 \quad (37)$$

$$Q_5 = 0,05 \cdot 7,09 \cdot 10^7 = 375 \text{ кДж}$$



«Исходя из количества поступающего и расходуемого тепла можно определить температуру аммиачно-воздушной смеси, поступающей в контактный аппарат» [21].

$$Q = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 + Q_5 \quad (38)$$

где  $Q_1$  – приход тепла по реакции (4),

$Q_2$  – приход тепла по реакции (5),

$Q_3$  – приход тепла с аммиачно-воздушной смесью, поступающей в контактный аппарат,

$Q_4$  – расход тепла с уходящими от сеток газами,

$Q_5$  – потери тепла за счет изменения тепла, вызывающих понижение температуры катализаторных сеток.

$$Q = 5,4 \cdot 10^7 + 3,1 \cdot 10^6 + 9,2 \cdot 10^4 + 7,09 \cdot 10^7 + 3,54 \cdot 10^6 = 13179 \cdot 10^4 = 1,3 \cdot 10^8 \text{ кДж.}$$

$$tX = Q + q \setminus m_{\text{НГ}} * c_{\text{НГ}}$$

где  $q$  – тепло с аммиачно-воздушной смесью,

$m_{\text{НГ}}$  – количество нитрозных газов,

$c_{\text{НГ}}$  – средняя теплоемкость нитрозных газов (1,223 кДж \setminus кг \* град)

$$tX = 1,3 \cdot 10^8 + 9,2 \cdot 10^4 \setminus 84112,757 \cdot 1,223 = 128,2 \text{ }^\circ\text{C.}$$

«В данном случае тепло газа утилизируется на получение пара, поэтому уравнение теплового баланса имеет вид» [22]:

$$Q = (W - W_0) \cdot c_{\text{в}} \cdot (t_{2K} - t_{2H}) + W_0 (J - c_{\text{в}} \cdot t_{2H}) \quad (39)$$

где  $W$  – количество подаваемой на орошение воды, кг \ с;

$C_v$  – удельная теплоемкость воды, Дж \ кг °С;

$t_2K$  – конечная температура питательной воды, °С;

$t_2H$  – начальная температура питательной воды, °С;

$W_0$  – количество испарившейся воды, кг \ с.

$$W_0 = B * F_0 (x'' - x)$$

Где  $B$  – коэффициент испарения, кг \ м<sup>2</sup> к;

$F_0$  – площадь испарения, м<sup>2</sup>;

$x''$  – влагосодержание пара в месте соприкосновения его с водой;

$x$  – влагосодержание пара в газообразном объеме, кг.

«Определим площадь испарения» [11]:

$$F = 2 \cdot 420 = 845 \text{ м}^2$$

$$W = 200 \cdot 840 (0,89 - 0,76) = 21840 \text{ кг \ ч} = 6 \text{ кг \ с}$$

$$Q = (6,9 - 6) 4190 (247 - 140) + 6 (694300 - 4190 \cdot 140) = 276063 \text{ Вт}$$

Для того чтобы испарить 6,06 кг воды за 1 секунду требуется от нитрозного газа отнять количество теплоты в размере 276063 Вт.

### 4.3 Расчет фильтра-ресивера

Рассчитаем геометрические параметры фильтра-ресивера

Объем газообразной фазы в ресивере при рабочих условиях:

$$V_{\text{гру}} = 3,95 \text{ м}^3_{\text{сек}}$$

Плотность газообразного аммиака:

$$\rho_{\text{г.а.}} = 0,7714 \text{ кг/м}^3$$

Плотность масла:

$$\rho_{\text{м.}} = 850 \text{ кг/м}^3$$

Определим допустимую скорость газообразного аммиака в свободном сечении ресивера используя формулу:

$$U_{г.а.} = 0,0334 \cdot \sqrt{\frac{850}{0,7714}} = 1,1 \text{ м/с} \quad (40)$$

Определим диаметр ресивера:

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot V_{г.ру}}{\pi \cdot U_{г.а.}}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 3,95}{3,14 \cdot 1,1}} = 1,5 \text{ м} \quad (41)$$

По практическим данным допустимая скорость движения масла в ресивере:

$$U_{м.} = 0,019 \frac{\text{м}}{\text{сек}} \quad (42)$$

Время пребывания масла в ресивере 3 мин.

Принимаем время:

$$t = 3 \cdot 60 = 180 \text{ сек} \quad (43)$$

Высота уровня масла:

$$H_{м.} = U_{м.} \cdot t = 0,019 \cdot 180 = 3,24 \quad (44)$$

Высота ресивера:

$$H_{ап} = H_{м.} \cdot 1,2 = 3,8 \text{ м} \quad (45)$$

Критическая скорость газа на входе в аппарат:

$$\omega_{г.а} = 45 \text{ м/с}$$

При объемном расходе:

$$Q_{г.а} = 14250 \frac{\text{м}^3}{\text{час}}$$

Диаметр входного штуцера:

$$d_{вш} = \sqrt{4 \cdot \frac{Q_{г.а}}{\pi \cdot \omega_{г.а}}} \quad (46)$$

$$d_{вш} = \sqrt{\frac{14250}{3,14 \cdot 0,45} \cdot 4} = 200$$

С учетом заброса жидкого аммиака диаметр входа газа, возьмем больше, так как не исключена вероятность повышения нагрузки

$$D = 350 \text{ мм}$$

Диаметр выходного штуцера

$$d_{вш} = \sqrt{\frac{14250}{3,14 \cdot 0,32} \cdot 4} = 238$$

С учетом заброса жидкого аммиака диаметр выхода газа, возьмем больше, так как не исключена вероятность повышения нагрузки  $D = 377 \text{ мм}$

Принимаем фильтр ресивер со следующими параметрами в таблице 4.

Таблица 4 – Параметры фильтра-ресивера

Обозначение	Назначение	Проход условный, Ду (мм)	Номинальные размеры (наружный диаметр и толщина стенки)
А	Вход газа	300	ø325×8
Б	Выход газа	350	ø377×10
В	К пред.клапану	32	ø38×4
Г	К манометру	10	Бобышка М20×1,5
Д	Уровнемер	50	ø57×5
Е	Выпуск масла	50	ø57×5

#### 4.4 Расчет фильтра-уловителя

Для сетчатой насадки площадь сечения

$$F = \frac{V_{\Gamma}}{\omega_{\Gamma.a}} \quad (47)$$

$$F = \frac{3,95}{32} = 1,2 \text{ м}^2$$

Рассчитаем диаметр насадки:

$$D = 1.13 \cdot \sqrt{F} \quad (48)$$

$$D = 1.13 \cdot \sqrt{1.2}$$

$$D = 1260 \text{ мм}$$

С учетом заброса жидкого аммиака диаметр, возьмем больше, так как не исключена вероятность повышения нагрузки:  $D = 1500 \text{ мм}$

Рассчитаем степень очистки газообразного аммиака от масла.

Вместе с газообразным аммиаком в системе присутствует масло, за час в сосуд поступает  $43614 \text{ м}^3/\text{ч}$ .

Содержание масла после фильтра  $n=43614/14539=0.002\text{г}/\text{м}^3$

В итоге принимаем фильтр-уловитель со следующими параметрами (таблица 5):

Таблица 5 – Фильтр-уловитель параметры

Параметры	Размерность	Значения параметров
Число блоков	Шт.	10
Плотность блока	$\text{м}^2/\text{м}^3$	300
Число слоев	Шт.	1
Диаметр проволоки	мм	0,3
Диаметр насадки	мм	1260

## Заключение

Исключение из эксплуатации мокрого газгольдера и обеспечение дополнительной очистки позволит решить проблему экологии и повышение сроков службы катализаторов. В ходе работы была предложена модернизация узла подготовки и подачи аммиака, в частности улучшение фильтрации газообразного аммиака перед подачей на узел контактирования, что способствует отделению взвешенных частиц масла. Технологическое переоснащение позволит вести технологический процесс цеха по безгазгольдерной схеме, что обеспечит бесперебойную подачу газообразного аммиака, надежную защиту окружающей среды, исключив выбросы, появится возможность увеличения времени пробега платиноидного катализатора за счет сокращения улета платиновых частиц и выгорания.

По результатам анализов и расчетов было установлено, что газообразный аммиак, больше не содержит превышающие нормы по маслу, на выходе из фильтра-ресивера. Благодаря оптимизации продолжительность службы платиновых катализаторов возрастет в 2 раза, то есть вместо 6 месяцев до 12 месяцев. Азотная кислота имеет второе место среди кислот после серной кислоты, объем потребления с каждым годом растет, что влечет за собой внедрение в технологию различных модификаций, постройке новых агрегатов, например, УКЛ-7. Только за период 2015-2019 год производство азотной кислоты возросло на 28%.

Пандемия возможно и повлияла на рынок азотной кислоты и минеральных удобрений, но незначительно, так как за короткий период с 2019-2020 год производство дало отличные результаты, выполняя сверх положенной нормы. На ПАО «КуйбышевАзот» в настоящее время ведутся постройки производств: карбамида и аммиачной селитры, что существенно повысит спрос азотной кислоты, в будущем возможно проектирование нового высоко-тоннажного производства азотной кислоты.

## Список используемой литературы и используемых источников

1. Аветисов А.К., Брук Л.Г. Прикладной катализ. 2020. 200 с.
2. Атрощенко В.И., Каргин С.И. Технология азотной кислоты. М. : Издательство «Химия», 2020. 494 с.
3. Айнштейн В.Г., Захаров М.К., Носов Г.А., Захаренко В.В., Зиновкина Т.В., Таран А.Л., Костанян А.Е. Процессы и аппараты в химической технологии. М. : Издание: 8-е изд., стер, 2019. 300 с.
4. Антипов С.Т., Дранников А.В., Панфилов В.А., Харченков К.В., Юрова И.С. Введение в профессиональную деятельность. М. : Издание: 1-е изд, 2019. 250 с.
5. Ахметов Т.Г., Ахметова Р.Т., Гайсин Л.Г., Ахметова Л.Т. Химическая технология неорганических веществ. М. : Издание: 3-е изд., стер, 2017. 280 с.
6. Ахметов Т.Г., Ахметова Р.Т., Гайсин Л.Г., Ахметова Л.Т. Химическая технология неорганических веществ книга 2. М. : Издание: 2-е изд, стер, 2017. 270 с.
7. Бесков В.С., Флокк В. Моделирование каталитических процессов и реакторов. М. Химия, 1991. 253 с.
8. Ведерников М.И., Кобзев В.С., Рудой И.В. Технология соединений связанного азота. М. : Химия, 2020. 418 с.
9. Инструкция оператору дистанционного пульта управления химического производства цеха азотной кислоты №5.
10. Корытцева А.К., Петьков В.И. Химические реакторы. Введение в теорию и практику. М. : Издание: 1-е изд, 2019. 240 с.
11. Лейтес И.Л., Сосна М.Х., Семенов В.П. Теория и практика химической энерготехнологии. М.: Химия, 1988. 280 с.
12. Мухленов И.П. Общая химическая технология, ч 1, 2. М.: Высшая школа, 1984. 255 и 263с.



13. Официальный сайт предприятия «КуйбышевАзот» [Электронный ресурс]: URL: <http://www.kuazot.ru> (дата обращения: 23.04.2021).
14. Производство азотной кислоты [Электронный ресурс]: URL: <https://pandia.ru/text/77/376/22480.php> (дата обращения: 23.04.2021).
15. Позин М.Е. Технология минеральных удобрений. Л.: Химия, 1983. 335 с. Расчеты химико-технологических процессов / Под ред. И.П. Мухленова. Л.: Химия, 1982. 247с.
16. Справочник азотчика. М.: Химия, ч. I, 1986. 511 е.; ч. II, 1987. 462с.
17. Технология производства азотной кислоты [Электронный ресурс]: URL: <https://infourok.ru/tehnologiya-proizvodstva-azotnoj-kisloty-4385760.html> (дата обращения: 23.04.2021).
18. Технологический регламент цеха №5.
19. Химмельблау Д. Обнаружение и диагностика неполадок в химических и нефтехимических процессах / Пер. с англ. Под ред. Ю.М. Левина. Л.: Химия, 1983.
20. Walton H.F., Inorganic preparations, Prentice – hall, New York, 1948 – 188 с.
21. Housecroft C.E., Sharpe A.G. Inorganic chemistry 2ed., Pearson, 2005
22. Miessler G.L., Fischer P.J., Tarr D.A. Inorganic Chemistry, Pearson, 2014
23. Hirsch A., Brettreich M. Fullerenes: Chemistry and Reactions, Wiley, 2005
24. Schlessinger G.G., Inorganic laboratory preparations, Chemical publishing company, INC, 1962 – 301 с.

# Приложение А

## Общий вид мокрого газгольдера

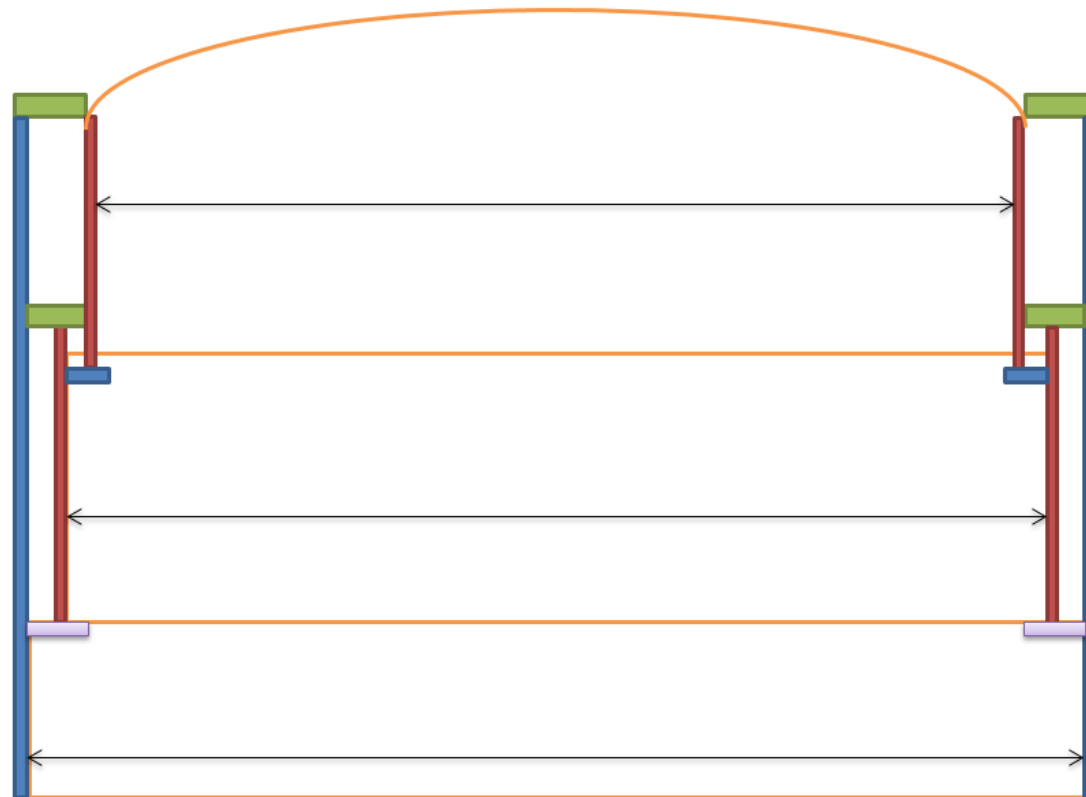


Рисунок А 1 - Газгольдер



## Приложение В

### Технологическая схема узла подготовки, фильтрации и редуцирования газообразного аммиака

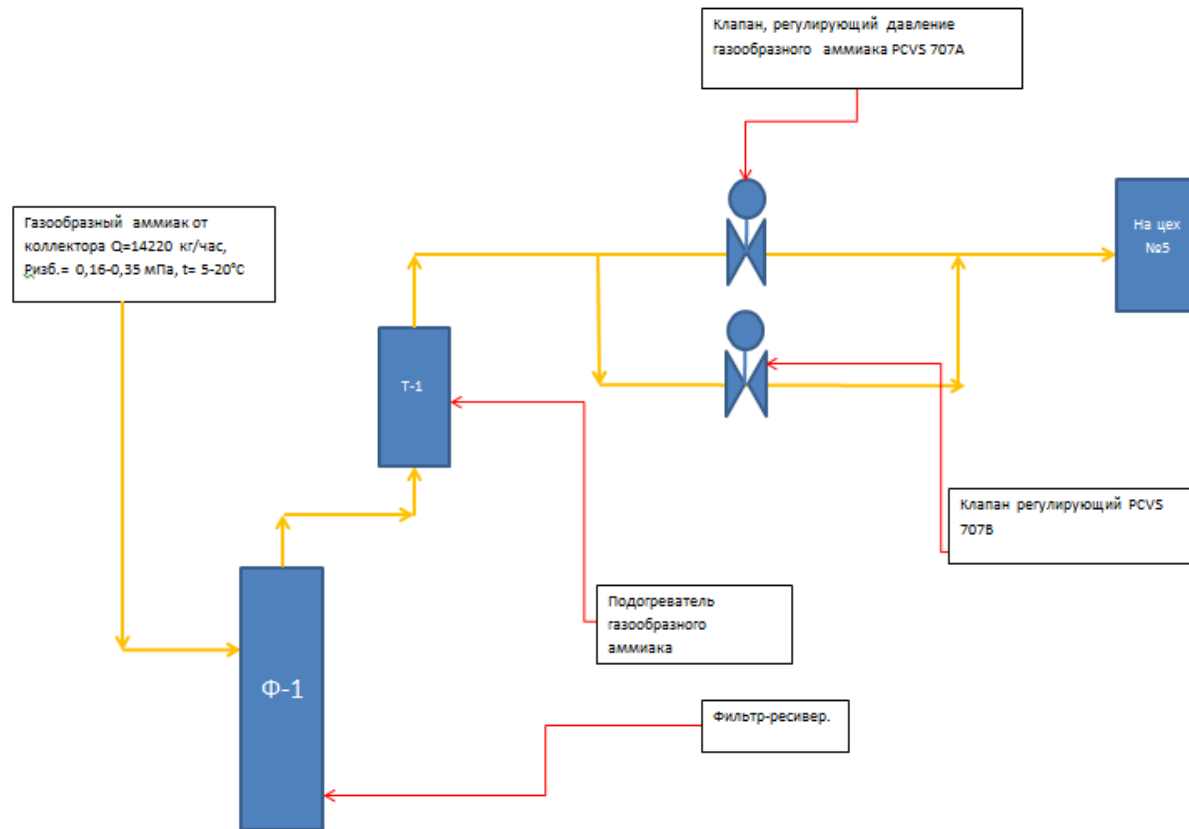


Рисунок В1 - Технологическая схема узла подготовки, фильтрации и редуцирования газообразного аммиака