

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 учебного структурного подразделения)

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  
(БАКАЛАВАРСКАЯ РАБОТА)**

на тему Оптимизация технологии утилизации потоков газообразного  
аммиака ПАО «Куйбышевазот» цеха №13

Обучающийся

Р.Ш. Нанаев

(Инициалы Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

доцент кафедры «ХТиР» Ю.В. Чариков

(ученая степень (при наличии), ученое звание (при наличии), Инициалы Фамилия)

Тольятти 2024

## Аннотация

Работа посвящена оптимизации технологии утилизации потоков газообразного аммиака на ПАО «Куйбышевазот». Основная цель исследования заключается в повышении эффективности абсорбционной колонны за счет замены одного из слоев насадки на более эффективную. Работа включает в себя аналитическую, технологическую и расчетную части.

В аналитической части рассмотрены физические и химические свойства аммиака, проанализировано его воздействие на окружающую среду, а также изучены существующие методы утилизации выбросов аммиака. Технологическая часть описывает общую характеристику производства на ПАО «Куйбышевазот» и технологическую схему установки утилизации газовых выбросов аммиака. В рамках этой части также произведен выбор и обоснование метода оптимизации технологического процесса.

Расчетная часть содержит расчеты материального и теплового балансов санитарной колонны, а также конструктивный расчет насадочного абсорбера с учетом новой насадки. Проведенные расчеты подтвердили возможность значительного повышения эффективности процесса утилизации аммиака при замене насадки.

Заключение работы содержит основные выводы и рекомендации по внедрению предложенных изменений на предприятии для улучшения экологической безопасности и повышения устойчивости технологических процессов.

Работа демонстрирует важность комплексного подхода к оптимизации производственных технологий и подчеркивает необходимость постоянного мониторинга и модернизации оборудования в соответствии с современными требованиями и стандартами.

## Содержание

Введение.....	4
1 Аналитическая часть.....	5
1.1 Физические и химические свойства аммиака .....	5
1.2 Анализ воздействия аммиака на окружающую среду.....	7
1.4 Методы утилизации выбросов аммиака .....	11
2 Технологическая часть .....	15
2.1 Общая характеристика производства.....	15
2.2 Описание технологической схемы установки утилизации газовых выбросов аммиака на ПАО «Куйбышевазот».....	17
2.3 Выбор и обоснование метода оптимизации технологического процес .	24
3 Расчетная часть.....	30
3.1 Расчет материального баланса санитарной колонны .....	30
3.2 Расчет теплового баланса санитарной колонны .....	34
3.3 Конструктивный расчет насадочного абсорбера.....	37
Заключение .....	45
Список используемых источников.....	46

## Введение

Аммиак - продукт крупнотоннажной химии, находящий своё применение в различных технологических процессах и производстве удобрений, однако его утечки и выбросы могут представлять значительную угрозу для окружающей среды и здоровья человека. В крупных химических производственных комплексах, таких как ПАО «Куйбышевазот», контроль и утилизация газообразного аммиака имеют первостепенное значение. Основным методом утилизации аммиака на предприятии является абсорбция, где выбросы аммиака из хранилищ, наливных эстакад и технологических процессов поглощаются в санитарной колонне с последующим получением аммиачной воды [7].

В контексте современных требований к экологической безопасности и эффективности производства, оптимизация существующих технологических процессов утилизации аммиака становится насущной задачей. Одним из перспективных путей повышения эффективности абсорбционной колонны является замена одного из слоев насадки на более эффективный. Насадки в абсорбционных колоннах играют критическую роль в процессе массопереноса, определяя площадь контакта между газовой и жидкой фазами, что напрямую влияет на эффективность поглощения аммиака [33].

Целью работы является исключение негативного воздействия газообразных выбросов аммиака от сливо-наливной эстакады на окружающую среду.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- проанализировать свойства газообразного аммиака и применяемые технологии их утилизации
- предложить и обосновать техническое решение, направленное на утилизацию выбросов
- выполнить необходимые технологические расчеты.

## 1 Аналитическая часть

### 1.1 Физические и химические свойства аммиака

Аммиак — одно из важнейших химических соединений, широко используемое в различных отраслях промышленности, таких как производство удобрений, химическая промышленность и энергетика. Понимание его физических и химических свойств является ключевым для разработки эффективных технологий его производства, хранения, транспортировки и утилизации. В данном разделе рассмотрены основные физические и химические свойства аммиака, которые определяют его поведение в различных условиях и приложениях.

Аммиак при нормальных условиях (температура  $25^{\circ}\text{C}$  и давление 1 атм) представляет собой бесцветный газ с характерным резким запахом. В жидком состоянии аммиак бесцветен и обладает высокой подвижностью.

Температура кипения аммиака при нормальном давлении составляет  $-33,34^{\circ}\text{C}$ . Температура плавления аммиака равна  $-77,73^{\circ}\text{C}$ . Эти низкие значения температуры кипения и плавления обуславливают необходимость хранения аммиака под давлением или при низких температурах [17].

Плотность газообразного аммиака при  $0^{\circ}\text{C}$  и давлении 1 атм составляет  $0,7714 \text{ кг/м}^3$ . Плотность жидкого аммиака при температуре кипения ( $-33,34^{\circ}\text{C}$ ) равна  $682 \text{ кг/м}^3$ .

Теплота испарения аммиака составляет  $1370 \text{ кДж/кг}$  при температуре кипения. Теплота плавления аммиака равна  $332 \text{ кДж/кг}$ .

Аммиак обладает высоким давлением пара. При температуре  $20^{\circ}\text{C}$  давление пара аммиака составляет около 8,6 атм, что требует специальных условий хранения и транспортировки [29].

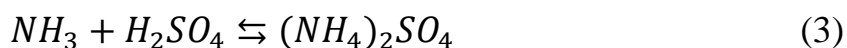
Вязкость жидкого аммиака при температуре  $-33,34^{\circ}\text{C}$  составляет  $0,254 \text{ мПа}\cdot\text{с}$ . Теплопроводность аммиака в газообразном состоянии при  $25^{\circ}\text{C}$  равна  $0,0242 \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$ .

Аммиак имеет тригональную молекулу пирамидальной структурой, в центре которой находится атом азота, связанный с тремя атомами водорода. Угол связи Н-Н-Н составляет примерно  $107,8^\circ$ , что обусловлено наличием неподеленной пары электронов на атоме азота.

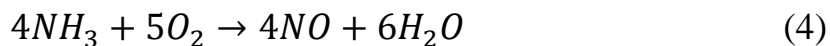
Аммиак хорошо растворяется в воде, образуя гидроксид аммония:



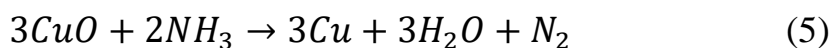
Аммиак проявляет основные свойства, реагируя с кислотами с образованием аммонийных солей:



Аммиак может быть окислен до оксидов азота в присутствии катализаторов при высоких температурах:



Аммиак способен восстанавливать оксиды металлов до чистых металлов:



При высоких температурах аммиак разлагается на азот и водород:



Аммиак широко используется в различных отраслях промышленности, включая производство удобрений, неорганический и органический синтез, холодильную технику, процессы водоподготовки.

Аммиак обладает уникальными физическими и химическими свойствами, которые определяют его широкое применение в различных отраслях промышленности. Свойства аммиака определяют технологии эффективного и безопасного его применения на всех этапах его жизненного цикла, от производства до утилизации [8].

## **1.2 Анализ воздействия аммиака на окружающую среду**

Аммиак широко используется в промышленности и сельском хозяйстве. Несмотря на его важность в различных процессах, аммиак может оказывать значительное негативное воздействие на окружающую среду и здоровье живых существ.

Аммиак в атмосфере может реагировать с кислотными соединениями, такими как диоксид серы и оксиды азота, образуя аммонийные соли, которые являются компонентами мелкодисперсных частиц. Эти частицы могут вредно воздействовать на здоровье людей, вызывая респираторные и сердечно-сосудистые заболевания.

Аммиак, поступающий в водные системы через стоки с сельскохозяйственных полей и промышленных предприятий, способствует эвтрофикации. Это процесс чрезмерного обогащения воды питательными веществами, что приводит к быстрому росту водорослей и другим нежелательным изменениям в экосистеме. Аммиак токсичен для многих водных организмов, включая рыбу, беспозвоночных и водные растения. Высокие концентрации аммиака могут приводить к гибели рыбы и нарушению баланса водной экосистемы [6].

Аммиак в высоких концентрациях токсичен для растений, вызывая ожоги листьев и снижение урожайности. Также воздействие высоких

концентраций аммиака может выражаться в повышении кислотность почвы, особенно в условиях интенсивного применения азотных удобрений. Это приводит к ухудшению структуры почвы и снижению ее плодородия. Избыточные количества аммиака и аммонийных соединений в почве способствуют их проникновению в грунтовые воды. Это особенно опасно в районах, где грунтовые воды используются для питьевого водоснабжения. Также превышение концентраций аммиака в почве может способствовать изменению состава растительных сообществ, что негативно сказывается на биоразнообразии, снижает ассимиляционный потенциал биологических систем.

Вдыхание аммиака в высоких концентрациях может вызывать раздражение дыхательных путей, кашель, одышку и даже отек легких. Аммиак может вызывать раздражение кожи и глаз, а при высоких концентрациях – химические ожоги [28].

Основной источник выбросов аммиака в сельском хозяйстве являются животноводческие фермы. Использование азотных удобрений и навоза также продуцируются значительные объемы аммиака. Но эти выбросы не локализованы и их учет, и масштаб воздействия трудно определим.

В промышленности основными источниками выбросов аммиака являются производство удобрений, крупнотоннажные установки неорганического синтеза и сопряженные с ними складские и транспортные системы.

Для снижения эмиссии аммиака оптимизируются способы использования азотных удобрений, отходов животноводства устанавливаются системы очистки выбросов на промышленных предприятиях



### 1.3 Механизмы образования выбросов аммиака в промышленности

В промышленности выбросы аммиака могут происходить по ряду механизмов, связанных с производственными процессами, эксплуатацией оборудования и обращением с отходами.

Значимые объемы выбросов связаны с процессом промышленного синтеза аммиака на крупнотоннажных агрегатах. Аммиак синтезируется из водорода и азота при высоких температурах и давлениях в присутствии катализатора. Утечки могут происходить на этапах компрессии, непосредственно синтеза и системы конденсации и выделения аммиака при работе в нормальном технологическом режиме. При нарушении технологического процесса систем для удаления примесей и побочных продуктов, а также факельных систем могут осуществляться выбросы аммиака в атмосферу[15].

Аммиак используется как сырьевой компонент в ряде крупнотоннажных процессов синтеза. Так при производстве аммиачной селитры во время реакции и последующей обработки продукта могут происходить утечки аммиака. В процессе синтеза карбамида небольшие утечки могут происходить на различных этапах производственного процесса. При производстве азотной кислоты аммиак окисляется до оксидов азота, которые затем конвертируются в азотную кислоту. Утечки аммиака могут происходить в реакторах и системах очистки. Помимо этого, аммиак используется в производстве различных продуктов таких как адипиновая кислота и капролактам, для которых также характерно наличие эмиссии аммиака в окружающую среду [32]/

При хранении аммиака, особенно в больших объемах и под давлением, могут происходить выбросы его паров в окружающую среду. Аммиак при комнатной температуре является газом с низкой температурой кипения (-33.34°C при атмосферном давлении). При повышении температуры аммиак начинает испаряться, создавая пары, даже если он хранится в жидком

состоянии при низких температурах. Аммиак хранится под давлением в жидком состоянии. Любое изменение давления (например, из-за разгерметизации резервуара или колебаний температуры) может привести к его испарению [27].

При транспортировке и хранении аммиак также происходит образование паров аммиака. Аммиак хранится в больших резервуарах под давлением. Утечки могут происходить через клапаны, фланцы и соединения. Также образуются значительные объемы газообразного аммиака при производстве операций слива-налива. Пары аммиака утилизируются на специализированных установках.

Аммиак транспортируется по трубопроводам, в цистернах и танкерах. Утечки могут происходить при загрузке и разгрузке, а также из-за повреждений транспортных средств и оборудования [16].

Аммиак может выделяться при нейтрализации кислотных стоков, если процесс не контролируется должным образом. Очистные системы для удаления примесей и вредных веществ из отходящих газов могут выбрасывать аммиак, если они неэффективно работают или требуют обслуживания.

Аварийные выбросы аммиака могут происходить из-за технических неисправностей оборудования, таких как разрывы трубопроводов, отказ клапанов или коррозия. Ошибки операторов и неправильная эксплуатация оборудования также могут привести к утечкам и выбросам аммиака.

Для минимизации рисков образования выбросов аммиака в промышленности применяют системы контроля и мониторинга утечек, регулярно осматривается и проверяется технологическое оборудование, организуется система планово-предупредительного ремонта, обеспечивается герметичность систем хранения и транспортировки аммиака [18].

## 1.4 Методы утилизации выбросов аммиака

Выбор конкретного метода утилизации выбросов аммиака зависит от природы и концентрации выбросов, экономических соображений, технологических возможностей и экологических требований.

Анализ источника и характеристик выбросов включает определение агрегатного состояния аммиака (газ, раствор). Определяется концентрация аммиака в выбросах, что помогает определить наиболее эффективный метод утилизации. Далее оценивается общий объем выбросов, который необходимо обработать.

После получения первичной информации предполагается оценка технологических возможностей. Рассматриваются доступные технологии для утилизации аммиака, их эффективность и применимость в конкретных условиях. Учитывается, насколько легко выбранный метод интегрируется в существующую производственную линию [26].

Далее анализируются экономические аспекты. Оцениваются капитальные и эксплуатационные затраты, включая стоимость оборудования, установки, обслуживания и энергопотребления. Рассматривается экономическая выгода от утилизации аммиака, например, возможность получения полезных побочных продуктов (например, аммонийных солей) [3].

Выбранный метод утилизации должен соответствовать местным и международным экологическим нормам и стандартам. Выбирается метод, который минимизирует негативное воздействие на окружающую среду, включая выбросы парниковых газов, загрязнение воды и почвы. Оценивается безопасность метода для работников и оборудования. Учитываются риски, связанные с потенциальными авариями и утечками аммиака [14].

Оценивается способность метода утилизировать аммиак до необходимых уровней. Рассматривается сложность управления и технического обслуживания выбранного метода.

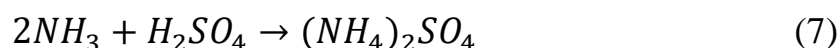
Выбор метода утилизации аммиака в промышленности – это многофакторный процесс, требующий анализа и оценки различных аспектов. Оптимальный метод выбирается на основе сбалансированного учета характеристик выбросов, технологических возможностей, экономических и экологических факторов, а также требований безопасности.

Утилизация выбросов и паров аммиака в промышленности важна для минимизации его негативного воздействия на окружающую среду и здоровье человека. Существует несколько методов утилизации и очистки аммиачных выбросов, которые могут быть применены в различных промышленных процессах.

Одним из наиболее распространенных способов является абсорбция. Абсорбция аммиака проводится в жидкостных абсорберах, где аммиак поглощается жидкостью (обычно водой или кислотным раствором).

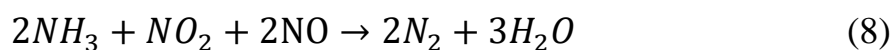
Аммиак растворяется в воде, образуя водный раствор аммиака. Такой метод эффективен для относительно низких концентраций аммиака.

Растворы кислот, такие как серная кислота, используются для поглощения аммиака и образования соответствующих аммонийных солей по уравнению:



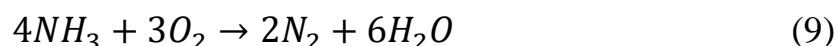
Этот метод позволяет не только утилизировать аммиак, но и получить полезные побочные продукты. Но для реализации такого процесса требуется чтобы аммиак был в высоких концентрациях

Каталитическая нейтрализация включает реакцию аммиака с другими газами в присутствии катализатора для образования менее вредных соединений. В промышленности реализован процесс селективного каталитического восстановления Аммиак реагирует с оксидами азота в присутствии катализатора, образуя азот и воду по уравнению<sup>^</sup>



Этот метод широко используется в системах очистки дымовых и выхлопных газов.

С целью утилизации аммиак содержащих газов и паров часто используются процессы окисления аммиака по уравнению:



Продуктами окисления являются безвредные соединения, такие как азот и вода. Промышленностью освоены два метода окисления: термическое и каталитическое окисление. В процессе термического окисления аммиака происходит при температурах порядка 900°C в специальных печах или реакторах, что приводит к образованию азота и воды. Каталитическое окисление аммиака проводится при более низких температурах(400-500°C) в присутствии катализатора, образуя азот и воду. Этот метод более энергоэффективен по сравнению с термическим окислением.

Адсорбция аммиака проводится на твердых адсорбентах, таких как активированный уголь, цеолиты или специальные полимерные материалы.

Активированный уголь используется для улавливания аммиака из газовых потоков. Его преимуществом является возможность регенерации путем нагрева или промывки и относительная дешевизна [13].

Цеолиты - это микропористые минералы, которые эффективно адсорбируют аммиак из газовых и жидких потоков. Они также могут быть регенерированы. Цеолиты отличает большая адсорбционная емкость по аммиаку, что делает их более привлекательным адсорбентом [19].

В некоторых случаях находят применение мембранные технологии. Для их реализации используются блоки полупроницаемых мембран. Мембраны позволяют аммиаку проходить через них, задерживая другие газы.

Этот метод подходит для очистки газовых выбросов с низким содержанием аммиака [1].

Существуют биологические методы, использующие микроорганизмы для разрушения аммиака в сточных водах и газовых выбросах. Используются биофильтры и биореакторы. Микроорганизмы в биофильтрах разлагают аммиак на азот и другие безвредные соединения. Биофильтры могут использоваться для очистки сточных вод и воздуха. Биореакторы с микроорганизмами используют для очистки сточных вод от аммиака [25].

В химической промышленности наиболее часто применяются: абсорбера и каталитические нейтрализаторы для очистки выбросов аммиака.

В энергетике используются процессы каталитического восстановления для снижения выбросов  $\text{NO}_x$  и аммиака из выхлопных и дымовых газов.

В сельском хозяйстве применяют в основном биологические методы и абсорберы для утилизации аммиака из животноводческих комплексов.

Эти методы позволяют эффективно утилизировать аммиак, снижая его выбросы в окружающую среду и минимизируя негативное воздействие на здоровье людей и экосистемы.

Вывод по разделу: Аммиак как продукт химической промышленности имеет положительные свойства, обусловленные областью применения. Вместе с тем он является токсичным и взрывоопасным веществом, требующим соблюдения мер промышленной безопасности при обращении. Любое промышленное предприятие использующее аммиак в технологическом процессе обязано утилизировать выбросы его содержащий наиболее рациональным образом с использованием современных технологий.

## 2 Технологическая часть

### 2.1 Общая характеристика производства

Отделение испарения и абсорбции аммиака №1 (корпус 460, СЖА №1) предназначено для:

-приёма и хранения аммиака безводного сжиженного, полученного в цехе № 11 и на ООО «ЛИНДЕ АЗОТ ТОЛЬЯТТИ»;

-выдачи аммиака безводного сжиженного и газообразного аммиака цехам потребителям;

-приёма, хранения и отгрузки удобрения жидкого азотного (КАС), полученного в цехе №3;

-получения, хранения и отгрузки аммиака водного технического (аммиачной воды);

-утилизации сбросов газообразного аммиака на санитарной колонне.

Отделение хранения жидкого аммиака №2 (корпус 465, СЖА №2) предназначено для:

-приёма и хранения аммиака безводного сжиженного, полученного в цехе № 11 и на ООО «ЛИНДЕ АЗОТ ТОЛЬЯТТИ»;

-выдачи аммиака безводного сжиженного цехам потребителям.

На станции наполнения баллонов в корпусе 458 ведется наполнение и хранение баллонов:

- аммиаком безводным сжиженным, полученного в цехе № 11 и на ООО «ЛИНДЕ АЗОТ ТОЛЬЯТТИ»

- аргоном газообразным, полученного в цехе № 11.

Вместимость хранилищ:

- по аммиаку сжиженному безводному - 1000 т

- по аммиаку водному техническому - 3000 м<sup>3</sup>

- по удобрениям жидким азотным (КАС) - 8450 м<sup>3</sup>

Проектная мощность станции наполнения баллонов по аммиаку сжиженному безводному 350 тонн в год при односменной работе (Изм.№1)

Достигнутая мощность отгрузки аммиака водного технического 22,2 тыс. т.

Достигнутая мощность станции наполнения баллонов по отгрузке аммиака сжиженного безводного 202,8 т.

Отделение испарения и абсорбции аммиака состоит из следующих объектов:

- корпус 460 (СЖА № 1), включающий 11 единиц емкостного оборудования для хранения аммиака сжиженного безводного, установки получения аммиака водного технического, испарителей аммиака сжиженного безводного, хранилищ аммиака водного технического, хранилищ КАС, ж/д наливной эстакада, автоналивную эстакаду;

- корпус 465 (СЖА № 2) включающий 11 единиц емкостного оборудования для хранения аммиака сжиженного безводного;

- корпус 458 (станция наполнения баллонов, СНБ) включающий отделение наполнения и хранения баллонов аммиаком сжиженным безводным и газообразным аргоном [2].

Отделение испарения и абсорбции аммиака №1 (корпус 460, СЖА №1) предназначено для:

- приёма и хранения аммиака безводного сжиженного, полученного в цехе № 11 и на ООО «ЛИНДЕ АЗОТ ТОЛЬЯТТИ»;

- выдачи аммиака безводного сжиженного и газообразного аммиака цехам потребителям;

- приёма, хранения и отгрузки удобрения жидкого азотного (КАС), полученного в цехе №3;

- получения, хранения и отгрузки аммиака водного технического (аммиачной воды);

- утилизации сбросов газообразного аммиака на санитарной колонне.



Отделение хранения жидкого аммиака №2 (корпус 465, СЖА №2) предназначено для:

- приёма и хранения аммиака безводного сжиженного, полученного в цехе № 11 и на ООО «ЛИНДЕ АЗОТ ТОЛЬЯТТИ»;
- выдачи аммиака безводного сжиженного цехам потребителям.

## 2.2 Описание технологической схемы установки утилизации газовых выбросов аммиака на ПАО «Куйбышевазот»

Принципиальная технологическая схема представлена на рисунке 1.

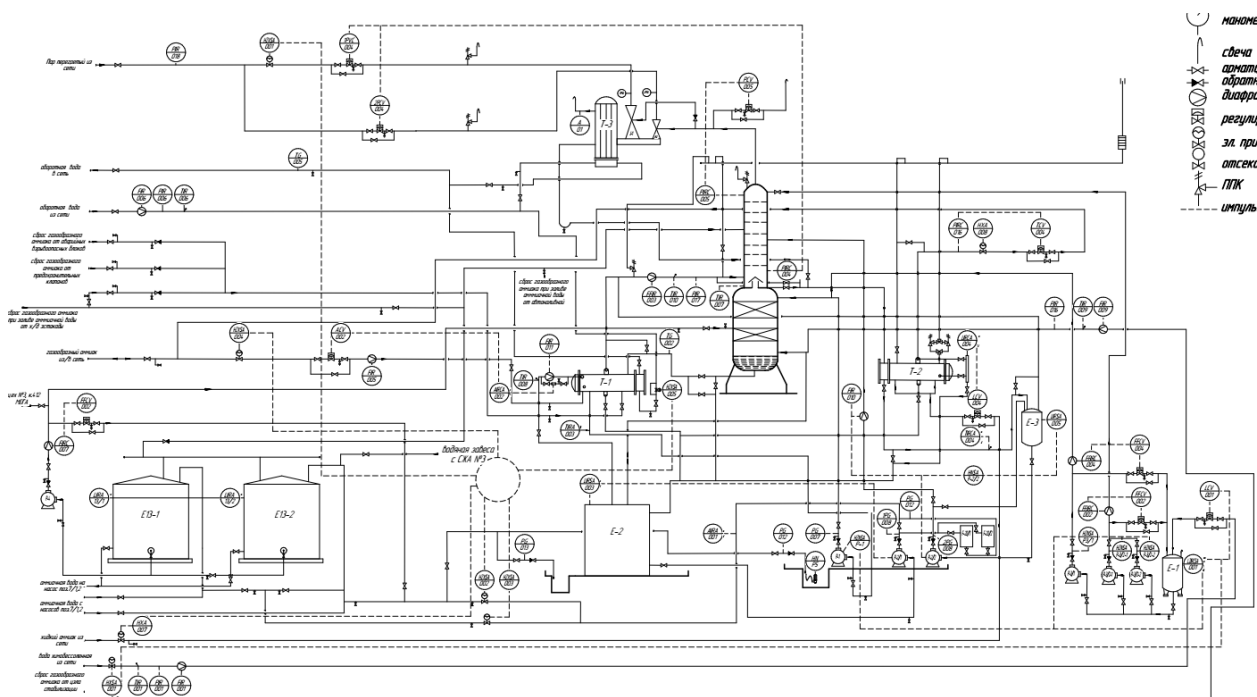


Рисунок 1 – Принципиальная технологическая схема установки

«Химобессоленая вода (ХОВ) поступает на установку из цеха №40 в количестве до 25 м<sup>3</sup>/ч (поз. FIR-001), с температурой до 30 °С

(поз. TIR-001) и давлением не менее 0,2 МПа (PIR-001) и по трубопроводу направляется в емкость химобессоленной воды поз. Е-1.

Уровень ХОВ в емкости поз. Е-1 контролируется и регулируется с помощью уровнемера LIRCSAHL-001 и регулирующего клапана LCV-001. На линии подачи ХОВ в емкость установлена электрозадвижка поз. HXSA-001, автоматически перекрывающая поступление воды в сборник при достижении в нем уровня 2600 мм по прибору поз. LIRCSAHL-001, при снижении уровня до 950 мм задвижка открывается. Из емкости поз. Е-1 ХОВ поступает на всас насосов поз. Р-3/1 и поз. Р-3/2-1, Р-3/2-2, которыми вода под давлением от 0,32 МПа до 0,4 МПа (манометры поз. РG-003, 1РG-002 и 2РG-002 соответственно) подается в санитарную колонну поз. К-1.

Насосом поз. Р-3/1 ХОВ подается на орошение насадочной части колонны. Расход воды контролируется прибором поз. FFIRC-004. Регулирование расхода ХОВ, подаваемой в насадочную часть колонны, осуществляется клапаном поз. FFCV-004, установленным на возвратной линии от нагнетания насоса в емкость поз. Е-1, пропорционально расходу поступающего в насадочную часть колонны газообразного аммиака (поз. FIR-009). Количественное соотношение расхода химобессоленной воды и газообразного аммиака ( $H_2O/NH_3$ ) поддерживается равным 5,7; которое определяется балансом санитарной колонны и получением на выходе из колонны 15% аммиачной воды» [11].

«Насосами поз. Р-3/2-1, Р-3/2-2 ХОВ подается на орошение тарельчатой части колонны, на 15-ую тарелку. Расход воды контролируется прибором поз. FFIRC-002. Регулирование расхода ХОВ, подаваемой в тарельчатую часть колонны, осуществляется клапаном поз. FFCV-002, установленным на возвратной линии от нагнетания насосов в емкость поз. Е-1, пропорционально расходу поступающего в насадочную и тарельчатую части колонны газообразного аммиака (поз. FIR-003). Количественное соотношение расхода химобессоленной воды и газообразного аммиака ( $H_2O/NH_3$ ) поддерживается равным 5,7. (Изм.№1)

Газообразный аммиак от дыхания хранилищ поз.13/1, 13/2 поступает под седьмую тарелку тарельчатой части колонны поз. К-1. Газообразный

аммиак, непоглощенный в поз. Т-1, подается под первую тарелку колонны. Его расход (до 650 м<sup>3</sup>/ч) контролируется расходомером поз. FIR-003, температура (до 30 °С) прибором поз. TIR-010, давление (до 2 кПа (изб.)) прибором поз. PIR-017. Последовательно проходя 15 клапанно-ситчатых тарелок аммиак абсорбируется химочищенной водой и слабым аммиачным раствором, а инертные газы отсасываются из верхней части колонны эжектором поз. J-2, активной средой в котором является водяной пар. Из эжектора парогазовая смесь поступает в межтрубное пространство конденсатора поз. Т-3, где водяной пар конденсируется. Конденсат, стекая по трубкам, охлаждается до температуры не более 60 °С, и поступает в линию циркуляционной аммиачной воды на входе в холодильник поз. Т-2. Не сконденсировавшиеся пары и инертные газовые примеси с содержанием аммиака не более 50 мг/м<sup>3</sup> сбрасываются в атмосферу» [11].

«Давление верха тарельчатой части санитарной колонны контролируется по прибору поз. PIRC-005 и поддерживается в пределах от 80 до 95 кПа (абс.) путем регулирования клапаном поз. PCV-005 количества воздуха, поступающего из атмосферы в линию выхода газа из колонны в эжекторную систему. Давление верха тарельчатой части колонны должно поддерживаться ниже давления низа колонны для создания перепада давления, необходимого для преодоления газовым потоком гидравлического сопротивления тарелок. Давление низа тарельчатой части колонны (поз. PIRC-004) близко к атмосферному и поддерживается на уровне 98-102 кПа (абс.) регулированием количества водяного пара, подаваемого на эжекторы поз. J-1 и J-2, с помощью клапанов поз. 1PCV-004 и 2PCV-004 соответственно [24].

Расход химобессоленной воды (поз. FFIRC-002), подаваемой в тарельчатую часть колонны насосом поз. P-3/2-1 (P-3/2-2), регулируется клапаном поз. FFCV-002 пропорционально расходу поступающего в тарельчатую часть колонны газообразного аммиака (FIR-003). Количественное соотношение расходов химобессоленной воды и

газообразного аммиака ( $H_2O/NH_3$ ) должно составлять 5,7; для того, чтобы на выходе из тарельчатой части колонны аммиачная вода имела концентрацию аммиака 15 % масс» [11].

«Образующийся в тарельчатой части колонны 15 % раствор аммиака стекает на глухую тарелку, которая отделяет насадочную часть абсорбера от тарельчатой. С тарелки циркулирующий раствор поступает в холодильник поз. Т-2, а избыток раствора по переливу стекает через насадку вниз колонны и оттуда поступает в межтрубное пространство холодильника поз. Т-1 [20].

В холодильнике (доукрепителе) поз. Т-1 происходит повышение концентрации аммиачной воды за счет абсорбции аммиака, подаваемого из заводской сети в барботер в нижней части аппарата. Тепло абсорбции аммиака отводится обратной водой, подаваемой в трубное пространство поз. Т-1 с температурой не более 28 °С (поз. TIR-006), с давлением не менее 0,35 МПа (поз. PIR-006) и расходом до 150 м<sup>3</sup>/ч (поз. FIR-006). Концентрация аммиачной воды на выходе из холодильника поз. Т-1 поддерживается на уровне 25 - 26 % масс. регулятором поз. QIRCAHL-002 с помощью клапана поз. QCV-002, установленного на линии подачи газообразного аммиака из заводской сети в барботер холодильника. Расход аммиака в барботер холодильника поз. Т-1 (до 2270 м<sup>3</sup>/ч) контролируется по прибору поз. FIR-005.

Аммиачная вода из холодильника поз. Т-1 с температурой не более 35 °С (поз. TIR-008) поступает по переливу в сборник поз. Е-2. Уровень в сборнике поддерживается в пределах от 1200 до 3000 мм (поз. LIRSAHL-003). При достижении максимального уровня происходит запуск насоса поз. Р-2/1 и аммиачная вода перекачивается в хранилища поз. Е-13/1 или Е-13/2, пока уровень в сборнике не снизится до 1200 мм. При этом электрозадвижка поз. HZXSA-003 на линии нагнетания насоса находится в открытом положении, а электрозадвижка поз. HZXSA-002 закрыта» [4].

«Утилизация периодических сбросов высоконапорных потоков газообразного аммиака осуществляется направлением их в барботер

циркуляционного холодильника поз. Т-1, где, за счет имеющегося в аппарате объема аммиачной воды, поглощается часть выхлопа газообразного аммиака, а непоглощенный газообразный аммиак абсорбируются в тарельчатой части санитарной колонны. К сбросам, утилизируемым по такой схеме относятся:

- периодический сброс от ж/д эстакады склада жидкого аммиака корп. 460 при подготовке ж/д цистерн к ремонту;

- аварийный периодический сброс газообразного аммиака при освобождении взрывоопасных технологических блоков III категории - хранилищ жидкого аммиака СЖА-1 (корп. 460) и СЖА-2 (корп. 465);

- аварийный периодический сброс газообразного аммиака от предохранительных клапанов хранилищ жидкого аммиака СЖА-1 (корп. 460) и СЖА-2 (корп. 465). (Изм.№1)

В периодическом режиме работы установки происходит утилизация сброса газообразного аммиака от узла стабилизации давления цеха №5 в общем количестве до 4810 м<sup>3</sup>/ч при пусковых операциях в цехе №5. Переход работы оборудования установки из постоянного режима в режим утилизации сброса происходит автоматически. В данном режиме в работе находится следующее оборудование:

- емкость химвещественной воды поз. Е-1
- емкость аммиачной воды поз. Е-2
- буферная емкость аммиачной воды поз. Е-3
- насосы поз. Р-3/1 и поз. Р-3/2-1 (Р-3/2-2)
- санитарная колонна поз. К-1
- эжекторы поз. J-1 и поз. J-2
- конденсатор пара поз. Т-3
- холодильники циркуляционные поз. Т-1 и Т-2
- насосы поз. Р-1 и поз. Р-2/1, Р-2/2» [11].

«Автоматическое переключение установки на данный режим работы из постоянного режима происходит следующим образом: при повышении

давления до 0,008 МПа по прибору поз. PZIRSAHH-708 (расположен в цехе №5)

- открывается задвижка поз. HZXSA-005 для увеличения расхода оборотной воды через поз. Т-1

- открывается задвижка поз. HZXSA-002 и закрывается задвижка поз. HZXSA-003 (для направления аммиачной воды с установки в хранилище поз. 13/2);

- включаются в работу насосы поз. Р-3/1 и Р-1;

- подключается в работу эжектор поз. J-1 путем открытия отсекаателя поз. HZVSA-001;

- задвижка HZXSA-004 перекрывает поступление аммиака в барботёр холодильника поз. Т-1.

Поток газообразного аммиака подается в низ колонны поз. К-1 под насадку, его расход до 4810 м<sup>3</sup>/ч контролируется расходомером поз. F1R-009, температура (от минус 10 до плюс 15 °С) по прибору поз. TIR-009, давление по прибору поз. PIR-016 до 4 кПа (изб.). Газообразный аммиак последовательно проходит через насадку, разделенную на две части с перераспределительной тарелкой между ними, и через отверстие в глухой тарелке поступает в тарельчатую часть колонны. В качестве насадки используются металлические кольца Палля. Насадка орошается через распределительную тарелку, на которую подается циркулирующая через холодильник поз. Т-1 аммиачная вода с температурой не более 35 °С (поз. TIRAH-003) с расходом около 100 - 110 м<sup>3</sup>/ч, химобессоленая вода от насоса поз. Р-3/1 с расходом от 10 до 20 м<sup>3</sup>/ч и аммиачная вода из тарельчатой части, стекающая на распределительную тарелку через перелив. Химобессоленая вода от насоса поз. Р-3/1 подается непосредственно в линию подачи циркуляционной аммиачной воды на распределительную тарелку» [11].

«Расход химобессоленной воды (поз. FFIRC-004), подаваемой в насадочную часть колонны насосом поз. Р-3/1, регулируется клапаном поз.

FFCV-004 пропорционально расходу газообразного аммиака по прибору поз. FIR-009, поступающего в насадочную часть колонны из узла стабилизации давления корп. 516. Количественное соотношение расходов химобессоленной воды и газообразного аммиака ( $H_2O/NH_3$ ) поддерживается равным 5,7 для того, чтобы на выходе из колонны аммиачная вода имела концентрацию аммиака 15 % масс.

В насадочной части колонны происходит поглощение около 90 % аммиака от первоначального количества, остальное количество аммиака поглощается в тарельчатой части. Также в тарельчатую часть продолжают поступать газы дыхания от хранилищ поз. 13/1, 13/2, поз. Е-3 и поз. Т-1. Газы дыхания от емкости поз. Е-2 поступают вниз насадочной части колонны. Поглощение аммиака из газовой фазы в тарельчатой части колонны поз. К-1 происходит аналогично работе тарельчатой части при постоянном режиме, описанном выше [30].

В связи с высоким расходом газообразного аммиака, поступающего в колонну в периодическом режиме, увеличивается количество инертных примесей, поступающих в колонну поз. К-1, для откачивания которых используется эжектор поз. J-1. При низком содержании инертных примесей в газообразном аммиаке, поступающем на утилизацию, производительность эжектора поз. J-1 может оказаться избыточной. В таком случае аппаратчик может принять решение об остановке эжектора поз. J-1 закрытием отсекателя поз. HZVSA-001» [12]

«Образующаяся в санитарной колонне 15 % аммиачная вода самотеком поступает в холодильник поз. Т-1, где охлаждается до температуры не более 35 °С (поз. TIR-008, поз. TIRAH-003) и часть аммиачной воды переливается в сборник поз. Е-2, откуда, при достижении уровня в сборнике 3000 мм, автоматически откачивается насосом поз. Р-2/1 в хранилище поз. 13/2. Большая часть охлажденной 15 % аммиачной воды из холодильника поз. Т-1 поступает на всас насоса поз. Р-1 для орошения насадки колонны. Расход оборотной воды в трубное пространство холодильника поз. Т-1 в данном

режиме увеличивается до 300 м<sup>3</sup>/ч за счет открытия задвижки поз. HZXSA-005.

Наработанная нестандартная аммиачная вода собирается в хранилище поз. 13/2 для последующей переработки ее на установке в 25 % аммиак водный технический [21].

После закрытия задвижки поз. HZVSA-703 (расположена в цехе №5) на линии подачи газообразного аммиака от узла стабилизации давления на установку санитарной колонны прекращается поступление газообразного аммиака на установку. Аппаратчик дистанционно останавливает установку из ЦПУ. При этом последовательно останавливаются насосы поз. Р-3/1 и поз. Р-1 и открывается задвижка поз. HZXSA-004 для подачи газообразного аммиака из сети в холодильник поз. Т-1. После достижения концентрации аммиачной воды после поз.

Т-1 25 % аппаратчик дистанционно открывает задвижку поз. HZXSA-003 и закрывает задвижку поз. HZXSA-002 для подачи готовой аммиачной воды в хранилище поз. Е-13/1 или 13/2. Задвижка поз. HZXSA-005 остаётся открытой, если установка переводится в режим переработки нестандартной аммиачной воды» [11].

### **2.3 Выбор и обоснование метода оптимизации технологического процесса**

Санитарная колонна, предназначенная для утилизации газообразных выбросов аммиака, представляет собой двухступенчатый аппарат. Первая ступень – насадочная, диаметром 1400 мм. В качестве массообменного устройства используется два слоя насадки. Насадка металлические кольца Палля 50 x 50 x 0,8 мм. Высота цилиндрической части 7,535 м.

Вторая ступень – тарельчатая, диаметром 800 мм. Массообменное устройство - ситчато-клапанные тарелки в количестве 15 шт.

Высота цилиндрической части 5,85 м.



Общая высота колонны 16,8 м

В аппарате газообразный аммиак поглощается химически обессоленной и аммиачной водой

Проектная производительность по исходному продукту (по аммиаку) - до 3650 кг/ч. Рабочая температура: до 40 °С. Абсолютное рабочее давление от 0,85 до 1,04 кгс/см<sup>2</sup>. Эскиз колонны представлен на рисунке 2.

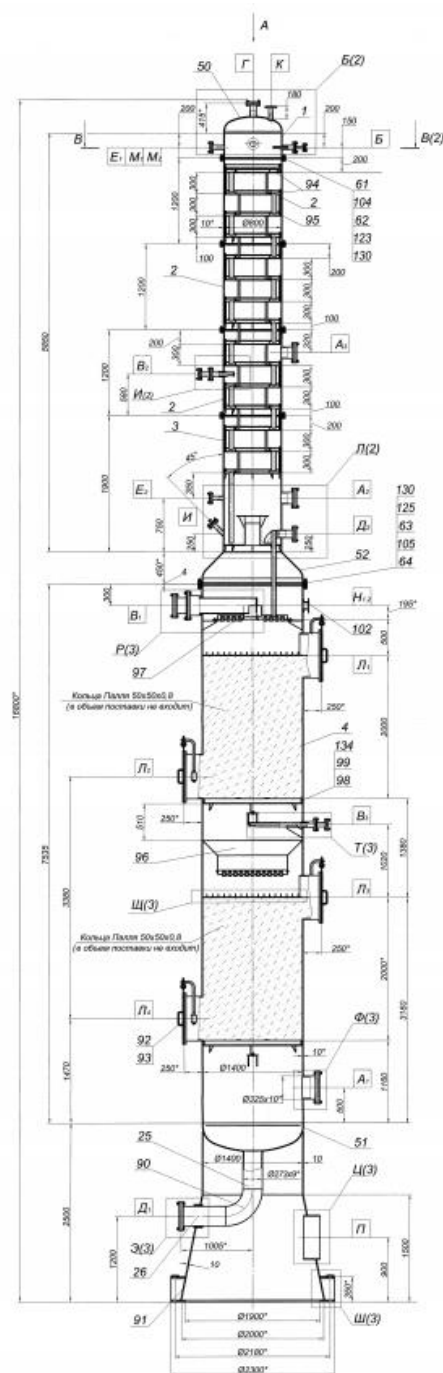
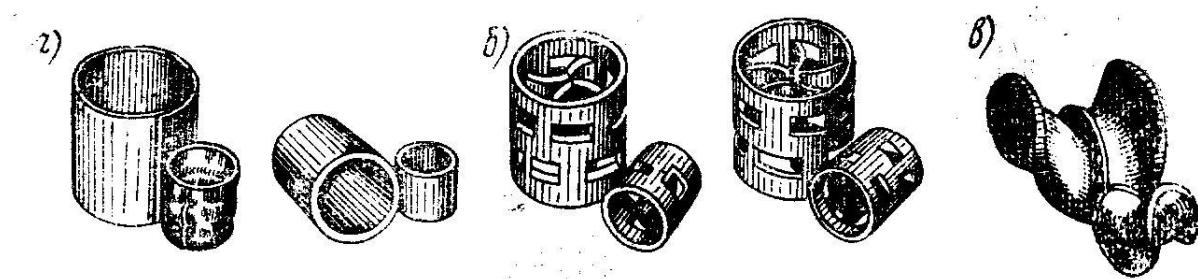


Рисунок 2 – Эскиз санитарной колонны

Нижняя насадочная часть колонны в нормальном режиме фактически не работает, основное ее назначение утилизация аммиака при пусковых операциях цеха № 5. Предлагается ввести в пространство между слоями насадки поток газообразного аммиака от автоналивной эстакады, вновь введенной в эксплуатацию. Для сохранения эффективности работы нижней части колонны предлагается замена насадки из колец Палля на более эффективную [22].

Наиболее часто в колоннах в качестве контактных устройств используется кольцевая насадка. Она представляет собой разнообразные формы колец, которые обеспечивают большую поверхность контакта между фазами.

Кольцевые насадки различаются конструкцией. Самые простые и распространённые - кольца Рашига. Это простые цилиндрические кольца. Кольца Берля представляют собой цилиндрические кольца с удлиненными стенками, что увеличивает площадь поверхности. Кольца Палля имеют особую конструкцию с ребрами, что обеспечивает большую площадь поверхности и уменьшает гидравлическое сопротивление. Внешний вид описанных насадок приведен на рисунке 3.



а - кольца Рашига, б - кольца Палля, в – седловидная насадка

Рисунок 3 – Виды насадок

Кольца Инталокс разработаны для обеспечения высокой эффективности массопередачи при низком сопротивлении потоку.

Также в промышленности используют структурированные насадки. Структурированные насадки представляют собой сложные геометрические

конструкции, которые укладываются внутри колонны определенным образом, создавая регулярные каналы для потоков газа и жидкости. К данному типу относятся гофрированная, спиральная и сотовая насадки

Гофрированные насадки состоят из гофрированных листов, уложенных под углом друг к другу, что создает множество маленьких каналов для газовой и жидкой фаз. Спиральные насадки имеют спиральные каналы, что обеспечивает равномерное распределение потоков. Сотовые насадки представляют собой структуру сот, обеспечивающую высокую площадь контакта и низкое гидравлическое сопротивление.

К основным характеристикам насадок относятся площадь поверхности, гидравлическое сопротивление, механическая прочность, химическая стойкость. Площадь поверхности определяет эффективность массопередачи. Гидравлическое сопротивление влияет на перепад давления в колонне. Механическая прочность важна для долговечности насадки в условиях эксплуатации. Химическая стойкость необходима для устойчивости к агрессивным средам [10].

Для условий проведения организации процесса наиболее приемлемым вариантом оптимизации является выбор насыпной насадки сопоставимой насыпной плотности, но с лучшими технологическими характеристиками, так как это позволит не менять конструктивные элементы колонны

Назначение насадки увеличение эффективности процессов массопередачи, за счет обеспечения более полного и равномерного контакта между фазами, что важно для достижения высоких степеней очистки и разделения.

Предлагается выбор седел Инталокс. Седла Инталокс – это тип насадки, используемой в процессах массопередачи, таких как абсорбция и ректификация. Они обладают особой конструкцией, которая обеспечивает высокую удельную поверхность и свободный объем, а также низкое гидравлическое сопротивление [23].

Удельная поверхность характеризует площадь поверхности насадки, доступную для контакта фаз на единицу объема насадки. Высокая удельная поверхность способствует улучшению массопередачи.

Свободный объем определяет долю объема насадки, которая является пустой и позволяет газу и жидкости свободно перемещаться через насадку. Высокий свободный объем способствует снижению сопротивления потоку и уменьшению давления в колонне [5].

Седла Инталокс производятся в различных размерах, чтобы удовлетворить различные требования процессов. Основные размеры колец могут варьироваться от нескольких миллиметров до нескольких сантиметров в диаметре.

Гидравлическое сопротивление характеризует перепад давления, создаваемый насадкой при прохождении через нее газовой и жидкой фаз. Низкое гидравлическое сопротивление важно для снижения затрат на энергопотребление. Седла Инталокс обычно обеспечивают низкое гидравлическое сопротивление благодаря своей открытой структуре и высокой степени пустотности [31].

Эффективность массопередачи определяется способностью насадки обеспечивать максимальный контакт между фазами, что важно для достижения высокой степени разделения или поглощения. Высокая удельная поверхность и специфическая геометрия седел Инталокс способствуют высокой эффективности массопередачи.

Седел Инталокс могут быть изготовлены из различных материалов в зависимости от требований процесса и химической стойкости из стали, полимерных материалов и керамики. Основные характеристики седел Инталокс приведены в таблице 1

Таблица 1 -Основные характеристики насадки Инталокс

Размер, мм	Удельная поверхность, м <sup>2</sup> /м <sup>3</sup>	Свободный объем, %
15	285	93
25	240	94
40	200	95
50	175	96
76	120	97

К преимуществам седел Инталокс по сравнению с прочими конструкциями можно отнести высокую удельную поверхность, высокий свободный объем, разнообразие размеров и материалов, устойчивость к засорению и легкость в засыпке.

Высокая удельная поверхность обеспечивает эффективную массопередачу. Высокий свободный объем снижает гидравлическое сопротивление. Разнообразие размеров и материалов позволяет использовать седел Инталокс в различных процессах и условиях эксплуатации. Устойчивость к засорению и легкость в установке и обслуживании [9].

Вывод по разделу: Сочетания характеристик седел Инталокс обуславливают их выбор для замены насадки в санитарной колонне, так как обеспечивают высокую эффективности массопередачи и низкого сопротивления потоку. Замена позволит без изменения конструкции самой колонны провести утилизацию дополнительного потока газообразного аммиака от автоналивной эстакады.

### 3 Расчетная часть

#### 3.1 Расчет материального баланса санитарной колонны

Материальный баланс санитарной колонны описывается уравнением

$$G_{a1} + G_{a2} + G_{a3} + G_{a4} + G_{a5} + G_{в} = G_{a.в.} \quad (10)$$

где  $G_{a1}$  – газообразный аммиак от узла стабилизации цеха №5

$G_{a2}$ - газообразный аммиак от хранилищ 13/1,2

$G_{a3}$ - газообразный аммиак от изотермического хранилища цеха №11

$G_{a4}$ - газообразный аммиак от заводской сети

$G_{a5}$ -газообразный аммиак от ж/д наливной эстакады

$G_{в}$ - химически обессоленная вода

$G_{a.в.}$ - аммиачная вода

$G_{азот}$ - сброс азота в атмосферу

Найдем расходы  $G_{a1-a4}$ . В их состав входит только аммиак и их массовые расходы можно найти по формуле:

$$G_i = \frac{V_i \cdot M_{NH_3}}{22,4} \quad (11)$$

Подставим значения в формулы:

$$G_{a1} = \frac{2174 \cdot 17}{22,4} = 1650 \text{ кг/ч}$$

$$G_{a2} = \frac{224 \cdot 17}{22,4} = 170 \text{ кг/ч}$$

$$G_{a3} = \frac{606 \cdot 17}{22,4} = 460 \text{ кг/ч}$$

$$G_{a4} = \frac{1318 \cdot 17}{22,4} = 1000 \text{ кг/ч}$$

$$G_{a5} = \frac{1107 \cdot 17}{22,4} = 840 \text{ кг/ч}$$

Рассчитаем количество получаемой 25%-ной аммиачной воды в нормальном режиме работы колонны по формуле:

$$G_{a.v.} = \frac{G_{a1} + G_{a2} + G_{a3} + G_{a4} + G_{a5}}{0,25} \quad (12)$$

Подставим значения в формулу

$$G_{a.v.} = \frac{1650 + 170 + 460 + 1000 + 840}{0,25} = 16480 \text{ кг/ч}$$

Тогда массовый расход воды определим по формуле:

$$G_B = G_{a.v.} \cdot 0,75 \quad (13)$$

Подставим значения в формулу

$$G_B = 16480 \cdot 0,75 = 12360 \text{ кг/ч}$$

Результаты расчета материального баланса представлены в таблице 2.

Таблица 2– Материальный баланс санитарной колонны

Приход		Расход	
Наименование компонента	Расход, кг/ч	Наименование компонента	Расход, кг/ч
Аммиак от узла стабилизации цеха №55	1650	Аммиачная вода(25%)	16480
Аммиак от хранилищ 13/1,2	170	-	-
Аммиак от изотермического хранилища цеха №11	460	-	-
Аммиак от заводской сети	1000	-	-
Аммиак от ж/д наливной эстакады	840	-	-
Химически обессоленная вода	12360	-	-
Итого	16480	-	16480

С учетом дополнительного потока паров аммиака от автоналивной эстакады изменим уравнение материального баланса

$$G_{a1} + G_{a2} + G_{a3} + G_{a4} + G_{a5} + G_{a6} + G_B + \Delta G_B = G_{a.v.} + \Delta G_{a.v.} \quad (14)$$

где  $G_{a6}$ -газообразный аммиак от автоналивной эстакады

Найдем массовый расход аммиака:

$$G_{a5} = \frac{310 \cdot 17}{22,4} = 235 \text{ кг/ч}$$

Пересчитаем количество аммиачной воды:

$$\Delta G_{a.v.} = \frac{235}{0,25} = 940 \text{ кг/ч}$$



Пересчитаем количество химобессоленной воды:

$$\Delta G_B = 940 - 235 = 705 \text{ кг/ч}$$

Материальный баланс оптимизированного процесса приведен в таблице 3.

Таблица 3 – Материальный баланс оптимизированного процесса

Приход		Расход	
Наименование компонента	Расход, кг/ч	Наименование компонента	Расход, кг/ч
Аммиак от узла стабилизации цеха №55	1650	Аммиачная вода(25%)	17420
Аммиак от хранилищ 13/1,2	170	-	-
Аммиак от изотермического хранилища цеха №11	460	-	-
Аммиак от заводской сети	1000	-	-
Аммиак от ж/д наливной эстакады	840	-	-
Аммиак от автоналивной эстакады	235	-	-
Химически обессоленная вода	13065	-	-
Итого	17420	-	17420

Таким образом при введении сдувок аммиака от автоналивной эстакады массой 235кг/ч в санитарную колонну можно получить дополнительно 940 кг/ч аммиачной воды 25%-ной.

### 3.2 Расчет теплового баланса санитарной колонны

Сдвиги аммиака направляются в санитарную колонну где поглощаются хлоробессоленной водой и циркулирующей аммиачной водой. Тепло процесса снимается в выносном теплообменнике Т-1.

Уравнение теплового баланса имеет вид:

$$Q_{ф.вх.} + Q_p = Q_{ф.вых.} + Q_{съем} + Q_{пот} \quad (15)$$

где  $Q_{ф.вх.}$  - входящее тепло потоков

$Q_p$  - тепло растворения аммиака

$Q_{ф.вых.}$  - тепло выходящей аммиачной воды

$Q_{съем}$  - тепло отдаваемое, охлаждающей воде в выносном теплообменнике

$Q_{пот}$  - тепловые потери, принятые 3% от прихода теп

Для дальнейших расчетов необходимо выбрать значения теплоемкостей веществ участвующих в процессе. В таблице 4 приведены данные для аммиачных растворов.

Таблица 4 - Теплофизические характеристики растворов аммиака

Температура, °С	Содержание $NH_3$ , %масс	Теплоемкость, кДж/(кг*К)
90	3,1	4,201
80	6,4	4,193
70	10	4,189
60	13,9	4,19
50	18,3	4,193
40	23,4	4,198
30	29,2	4,205
20	35,9	4,21

В разных частях концентрации и температуры имеют неоднородность. Но значения теплоемкостей растворов при разных концентрациях и температурах в условиях процесса достаточно близки. Для расчетов примем значение теплоемкости аммиачной воды 4,2 кДж/(кг\*К)

В таблице 5 приведены теплоемкости паров аммиака при различных температурах

Таблица 5 – Данные о теплоемкости аммиака

Температура, °С	Теплоемкость, кДж/(кг*К)
0	2,624
10	2,783
20	2,966
30	3,177

Примем для расчетов максимально возможную, для данного процесса теплоемкость 3,177 кДж/(кг\*К)

Физическое тепло потоков находится по формуле формуле:

$$Q_{\phi} = \sum_{i=1}^n G_i \cdot c_i \cdot T_i \quad (16)$$

Найдем физическое тепло поступающих потоков. Подставим значения в формулу

$$Q_{\phi.NH_3} = \frac{3955}{3600} \cdot 3,177 \cdot 303 = 1057 \text{ кВт}$$

$$Q_{\phi.H_2O} = \frac{13065}{3600} \cdot 4,19 \cdot 303 = 4607 \text{ кВт}$$

Тепло реакции образования аммиачной воды найдем по формуле:

$$Q_{\text{реак.}} = q \cdot G_{\text{NH}_3} \quad (17)$$

Подставим значения в формулу

$$Q_{\text{реак.}} = 1920 \cdot \frac{3955}{3600} = 2109 \text{ кВт}$$

Найдем физическое тепло аммиачной воды, покидающей установку:

$$Q_{\text{ф.а.в.}} = \frac{17420}{3600} \cdot 4,2 \cdot 303 = 6158 \text{ кВт}$$

Найдем потери тепла по формуле:

$$Q_{\text{пот}} = 0,03(Q_{\text{ф. NH}_3} + Q_{\text{ф. H}_2\text{O}} + Q_{\text{реак.}})$$

Подставим значения в формулу

$$Q_{\text{пот}} = 0,03(1057 + 4607 + 2109) = 233 \text{ кВт}$$

Из уравнения теплового баланса, найдем тепло отдаваемое охлаждающей воде:

$$Q_{\text{съем}} = Q_{\text{ф.вх.}} + Q_{\text{р}} - Q_{\text{ф.вых.}} - Q_{\text{пот}} \quad (18)$$

Подставим значения в формулу

$$Q_{\text{съем}} = 5664 + 2109 - 6158 - 233 = 1382 \text{ кВт}$$

Таблица 6 - Тепловой баланс процесса

Приход		Расход	
Наименование потока	Тепло	Наименование потока	Тепло
Физическое тепло входящих потоков	5664	Физическое тепло выходящих потоков	6158
Тепло реакции	2109	Тепло отдаваемое охлаждающей воде	1382
		Тепловые потери	233
Итого	7773	Итого	7773

Таким образом был произведен расчет теплового баланса и результаты сведены в таблицу 6.

### 3.3 Конструктивный расчет насадочного абсорбера

Согласно технического решения по оптимизации предполагается организовать ввод паров аммиака от автоналивной эстакады под в пространство под первым слоем насадки и заменить ее на седла Инталокс. Для подтверждения эффективности решения рассчитаем требуемую высоту слоя насадки при сохранении того же диаметра колонны. Примем за исходные данные значения из расчета материального баланса. Параметры насадки приведены в таблице 7.

Таблица 7 – Параметры насадки Инталокс

Характеристика	Значение
Удельная поверхность, м <sup>2</sup> /м <sup>3</sup>	175
Свободный объем	0,96
Насыпная плотность, кг/м <sup>3</sup>	450
Размеры, мм	50x50

Эквивалентный диаметр насадки найдем по формуле

$$d_{\text{ЭКВ}} = \frac{4\varepsilon}{f} \quad (19)$$

Подставим значения в формулу

$$d_{\text{ЭКВ}} = \frac{4 \cdot 0,96}{175} = 0,022\text{м}$$

Критерий Архимеда определим по формуле

$$Ar = \frac{gd_{\text{ЭКВ}}^3 \rho_{\Gamma} (\rho_{\text{ж}} - \rho_{\Gamma})}{\mu_{\Gamma}^2} \quad (20)$$

Подставим значения в формулу

$$Ar = \frac{9,81 \cdot 0,022^3 \cdot 1,16(1000 - 1,16)}{(0,185 \cdot 10^{-4})^2} = 3,53 \cdot 10^8$$

Модифицированные критерий Рейнольдса найдем по формуле

$$Re'_{\Gamma} = 0,045 Ar^{0,57} \left(\frac{G}{L}\right)^{0,43} \quad (21)$$

Подставим значения в формулу

$$Re'_{\Gamma} = 0,045 (3,53 \cdot 10^8)^{0,57} \left(\frac{840}{13065}\right)^{0,43} = 1029$$

Фиктивную скорость газа начала подвисяния найдем по формуле

$$w_0' = \frac{Re_{\Gamma}' \cdot f \cdot \mu_{\Gamma}}{4\rho_{\Gamma}} \quad (22)$$

Подставим значения в формулу

$$w_0' = \frac{1029 \cdot 175 \cdot 0,185 \cdot 10^{-4}}{4 \cdot 1,16} = 0,72 \text{ м/с}$$

Найдем объемный расход газа по формуле:

$$V_{\Gamma} = \frac{G}{\rho_{\Gamma}} \quad (23)$$

Подставим значения в формулу

$$V_{\Gamma} = \frac{840}{1,16} = 724 \text{ м}^3/\text{ч}$$

Найдем рабочую фиктивную скорость газ по формуле

$$w_0 = \frac{V_{\Gamma}}{3600S} \quad (24)$$

Подставим значения в формулу

$$w_0 = \frac{724}{3600 \cdot 1,54} = 0,13 \text{ м/с}$$

Объемный расход жидкости определим по формуле

$$V_{\text{ж}} = \frac{L}{\rho_{\text{ж}}} \quad (25)$$

Подставим значения в формулу

$$V_{\text{ж}} = \frac{13065}{1000} = 13,065 \text{ м}^3/\text{ч}$$

Плотность орошения определим по формуле

$$U = \frac{V_{\text{ж}}}{S} \quad (26)$$

Подставим значения в формулу

$$U = \frac{13,065}{1,54} = 8,49 \frac{\text{м}^3}{\text{м}^2 \cdot \text{ч}}$$

Оптимальная плотность орошения определяется по формуле

$$U_{\text{опт}} = b \cdot f \quad (27)$$

Подставим значения в формулу

$$U_{\text{опт}} = 0,158 \cdot 175 = 27,65 \frac{\text{м}^3}{\text{м}^2 \cdot \text{ч}}$$

По соотношению  $\frac{U}{U_{\text{опт}}} = 0,31$  определим коэффициент смачиваемости  $\psi=0,37$

Массовая скорость газа определяется по формуле

$$W_{\Gamma} = \frac{G}{3600 \cdot S} \quad (28)$$

Подставим значения в формулу



$$W_{\Gamma} = \frac{840}{3600 \cdot 1,54} = 0,15 \frac{\text{кг}}{\text{м}^2 \cdot \text{с}}$$

Критерий Рейнольдса определяется по формуле

$$Re_{\Gamma} = \frac{4W_{\Gamma}}{f \cdot \mu_{\Gamma}} \quad (29)$$

Подставим значения в формулу

$$Re_{\Gamma} = \frac{4 \cdot 0,15}{175 \cdot 0,185 \cdot 10^{-4}} = 185$$

Диффузионный критерий Прандтля определяется по формуле

$$Pr_{\Gamma}' = \frac{\mu_{\Gamma}}{\rho_{\Gamma} D_{\Gamma}}$$

Подставим значения в формулу

$$Pr_{\Gamma}' = \frac{0,185 \cdot 10^{-4}}{1,16 \cdot 0,195 \cdot 10^{-4}} = 0,818$$

Высота единицы переноса для газовой фазы определяется по формуле

$$h_1 = \frac{a \cdot \varepsilon}{\psi \cdot f} Re_{\Gamma}^{0,25} (Pr_{\Gamma}')^{\frac{2}{3}} \quad (30)$$

Подставим значения в формулу

$$h_1 = \frac{8,13 \cdot 0,96}{0,37 \cdot 175} 185^{0,25} 0,818^{\frac{2}{3}} = 0,389 \text{ м}$$

Массовая скорость жидкости определяется по формуле

$$W_{\text{ж}} = \frac{L}{3600 \cdot s} \quad (31)$$

Подставим значения в формулу

$$W_{\text{ж}} = \frac{13065}{3600 \cdot 1,54} = 2,36 \text{ м}^3/\text{ч}$$

Критерий Рейнольдса находим по формуле

$$Re_{\text{ж}} = \frac{4W_{\text{ж}}}{f \cdot \mu_{\text{ж}}} \quad (32)$$

Подставим значения в формулу

$$Re_{\text{ж}} = \frac{4 \cdot 2,36}{175 \cdot 0,85 \cdot 10^{-3}} = 63$$

Диффузионный критерий Прандтля определяем по формуле

$$Pr'_{\text{ж}} = \frac{\mu_{\text{ж}}}{\rho_{\text{ж}} D_{\text{ж}}} \quad (33)$$

Подставим значения в формулу

$$Pr'_{\text{ж}} = \frac{0,85 \cdot 10^{-3}}{1000 \cdot 0,00208 \cdot 10^{-6}} = 565$$

Приведенную толщину пленки жидкости определяем по формуле

$$\theta_{\text{прив}} = \left( \frac{\mu_{\text{ж}}^2}{\rho_{\text{ж}}^2 g} \right)^{\frac{1}{3}} \quad (34)$$

Подставим значения в формулу

$$\theta_{\text{прив}} = \left( \frac{(0,85 \cdot 10^{-3})^2}{1000^2 \cdot 9,81} \right)^{\frac{1}{3}} = 4,2 \cdot 10^{-5} \text{ м}$$

Высота единицы переноса в жидкой фазе определяется по формуле

$$h_2 = 119 \delta_{\text{прив}} Re_{\text{ж}}^{0,25} (Pr'_{\text{ж}})^{0,5} \quad (35)$$

Подставим значения в формулу

$$h_2 = 119 \cdot 4,2 \cdot 10^{-5} \cdot 63^{0,25} (565)^{0,5} = 0,335 \text{ м}$$

Средний наклон линии равновесия определяем по формуле

$$k = \frac{Y_1^* - Y_2^*}{X_1 - X_2} \quad (36)$$

Подставим значения в формулу

$$k = \frac{0,0236 - 0,0009}{0,0268 - 0,002} = 0,915$$

Высоту единицы переноса определяем по формуле

$$h = h_1 + \frac{k}{l} h_2 \quad (37)$$

Подставим значения в формулу

$$h = 0,389 + \frac{0,915}{1,18} 0,335 = 0,65\text{м}$$

Число единиц переноса  $n=2,1$

Высота насадки определяется по формуле:

$$H = nh \quad (38)$$

Подставим значения в формулу

$$H = 2,1 \cdot 0,65 = 1,365\text{м}$$

Рассчитанная высота слоя меньше фактического, который составляет 2м соответственно аммиак будет поглощен полностью.

Вывод по разделу: Расчеты показали возможность утилизации дополнительного потока газообразного аммиака от автоналивной эстакады на существующей установке, при замене одного слоя насадки в колонне на седла Инталокс.

## Заключение

В рамках работы были проведены аналитические, технологические и расчетные исследования, которые позволили всесторонне оценить текущую ситуацию и предложить пути ее улучшения.

Были рассмотрены основные свойства аммиака, определяющие его поведение в различных технологических процессах, а также потенциальные риски, связанные с его утечками. Проанализированы негативные последствия выбросов аммиака для экосистем и здоровья человека.

Оценены различные методы утилизации аммиака, включая абсорбцию, каталитическое восстановление и окисление.

Представлена характеристика производственных мощностей и технологий, применяемых на ПАО «Куйбышевазот».

Подробно описана текущая схема утилизации аммиака, включающая санитарную абсорбционную колонну.

На основе анализа различных типов насадок была выбрана новая насадка, способная повысить эффективность процесса абсорбции.

Проведен детальный расчет материальных потоков в абсорбционной колонне, что позволило определить основные параметры и характеристики процесса. Выполнен тепловой баланс, учитывающий теплообменные процессы, происходящие в колонне.

Проведен конструктивный расчет абсорбера с учетом новой насадки, что позволило оптимизировать его работу и повысить эффективность утилизации аммиака.

Результаты выполненного исследования показали, что замена слоя насадки в абсорбционной колонне на более эффективную может значительно повысить эффективность процесса утилизации газообразного аммиака на ПАО «Куйбышевазот». Это позволит не только снизить выбросы аммиака в окружающую среду, но и улучшить экономические показатели за счет получения более концентрированной аммиачной воды.

## Список используемых источников

1. Алиев Г.М.-А. Техника пылеулавливания и очистки промышленных газов// Справочное издание. М.: Металлургия, 1986. – 544 с.
2. Андрианов Е.И., Вальдберг А.Ю., Гоник А.Е., Русанов А.А. Очистка отходящих газов. Аналитический обзор. // М.: ВНИЦентр, 1989. - 72 с.
3. Афанасьев С.В., Трифонов К.И. Физико – химические процессы в техносфере. Учебник/Самара. Изд-во Сам.научн. Центр РАН 2014. 195 с.
4. Айнштейн В.Г., М.К. Захаров, Г.А. Носов, В.В Захаренко, Т.В. Зиновкина, А.Л. Таран, А.Е. Костанян. Общий курс процессов и аппаратов химической технологии. Кн 1. М. Химия 1999
5. Белов П.С., Голубева И.А., Низова С.А. Экология производства химических продуктов из углеводородов нефти и газа. Москва: Химия, 1991. - 256 с.
6. Бесков В.С. Общая химическая технология – М.: ИКЦ «Академкнига», 2005.
7. Бочкарев В.В. Теоретические основы технологических процессов охраны окружающей среды. Томск: Изд-во ТПУ, 2012. – 320 с.
8. Демиденко И.М., Янковский Н.А., Степанов В.А. и др. Аммиак. Вопросы технологии / Под общ. ред. Н.А. Янковского. – Донецк: ГИК «Новая печать», ООО «Лебедь», 2001. – 497 с.
9. Жидков Б.А. и др. Каталитическая очистка газов, Алма-Ата: Наука, 1985, ч.1.
10. Коузов П.А. Очистка от пыли газов и воздуха в химической промышленности / П.А. Коузов, А.Д. Мальгин Л.: Химия, 1982. - 256 с.
11. Кузнецов Л.Д., Дмитриенко Л.М., Рабина П.Д. Синтез аммиака. – М.: Химия, 1982.
12. Мотузова Г.В., Карпова Е.А. Химическое загрязнение биосферы и его экологические последствия. Учебник серии «Библиотека факультета почвоведения МГУ»/— М.: Изд-во МГУ, 2013 — 304 с

13. Мухутдинов А.А., Сольяшинова О.А. «Технология очистки газов», учебное пособие.- Казань, КГТУ-2007.
14. Мухутдинов Р.Х., Самойлов Н.А. Теория и практика каталитической очистки отходящих газов. Уфа: Изд-во Гилем, 2002. - 252 с.
15. Мельников Е.Я. Справочник азотчика. Справоч. изд. Т.1. – М.: Химия, 1986.
16. Остроушко А.А. Защита атмосферы от выбросов токсичных веществ. Екатеринбург, Урал. гос. ун-т им. А. М. Горького, 2007. - 177 с.
17. Пронин К.С. Проблема утилизации танковых и продувочных газов отделения синтеза производства аммиака // Научный аспект № 3-2012 – Самара: Изд-во ООО «Аспект», 2012. – 160 с., С. 123-12.
18. Постоянный технологический регламент №ТР-13-1 отделения испарения и абсорбции аммиака цеха №13
19. Рид Р., Праусниц Дж., Шервуд Т. Свойства газов и жидкостей. Справочное пособие // Пер. с англ. под ред. Б. И. Соколова. — 3-е изд., перераб. и доп. — Л.: Химия, 1982. — 592 с.
20. Родионов А.И., Клушин В.Н., Систер В.Г. Технологические процессы экологической безопасности. Учебник для студентов технических и технологических специальностей. 3-е изд. перераб. и доп. — Калуга: Издательство Н. Бочкаревой, 2000. — 800 с.
21. Родионов А.И., Кузнецов Ю.П., Соловьев Г.С. Защита биосферы от промышленных выбросов. Основы проектирования технологических процессов. Учебники и учеб. пособия для студентов высш. учеб. заведений/— М.: Химия, КолосС, 2005. — 392 с.
22. Соколов Э.М., Москвичев Ю.А. и др. Утилизация отходов производства и потребления. Учеб. пособие: / Э. М. Соколов, Ю.А. Москвичев, Е.А. Фролова, Н.С. Яманина, О.П. Филиппова, Н.И. Володин, В.М. Макаров./ – Ярославль: Изд-во ЯрГТУ, 2006.– 388 с.
23. Трифонов К.И., Девисилов В.А. Физико-химические процессы в техносфере. Учебник. — М.: ФОРУМ: ИНФРА-М, 2007. — 240 с.

24. Ужов В.Н., Вальдберг А.Ю. Подготовка промышленных газов к очистке. М.: Химия, 1975, 216 с.
25. Фелленберг Г. Загрязнение природной среды. Введение в экологическую химию. Учебное издание /пер. с нем. — М.: Мир, 1997. — 232 с.
26. Фокин А.В. Защита окружающей среды и химическая экология // Успехи химии. — 1991. — Т. 60, вып. 3.
27. Aarnink, A. J. A., and A. Elzing Dynamic model for ammonia volatilization in housing with partially slatted floors, for fattening pigs. *Livestock Production Science*, vol. 53, No. 2 (February), pp. 153–169. 1998.
28. Hansen, M. N., K. Henriksen and S. G. Sommer Observations of production and emission of greenhouse gases and ammonia during storage of solids separated from pig slurry: Effects of covering. *Atmospheric Environment*, vol. 40, pp. 4172–4181. 2006.
29. Hatch, D. J., and others, eds. Controlling nitrogen flows and Losses. Wageningen, the Netherlands: Wageningen Academic Publishers. 2004.
30. Langmeier M., and others Nitrogen fertilizer value of cattle manure applied on soils originating from organic and conventional farming systems. *Agronomie*, vol. 22, pp. 789–800. 2002.
31. McCrory, D. F., and P. J. Hobbs Additives to reduce ammonia and odor emissions from livestock wastes: a review. *Journal of Environmental Quality*, vol. 30, No. 2 (March-April), pp.345–355. 2001.
32. Melse, R. W., P. Hofschreuder and N. W. M. Ogink Removal of Particulate Matter (PM10) by Air Scrubbers at Livestock Facilities: Results of an On-Farm Monitoring Program. *Transactions of the ASABE*14, vol. 55, pp. 689–698. 2012.
33. Zhao, Y., and others Effectiveness of multi-stage scrubbers in reducing emissions of air pollutants from pig houses. *Transactions of the ASABE*, vol. 54, pp. 285–293. 2011