

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ  
ФЕДЕРАЦИИ

федеральное государственное бюджетное образовательное  
учреждение высшего образования  
«Тольяттинский государственный университет»

Институт химии и инженерной экологии

(наименование института полностью)

Кафедра «Химия, химические процессы и технологии»

(наименование кафедры)

18.03.01 Химическая технология

(код и наименование направления подготовки, специальности)

Химическая технология органических веществ

(направленность (профиль)/специализация)

**БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА**

на тему «Оптимизация стадии сушки в производстве аммиачной селитры»

Студент Д.А. Бондаренко  
(И.О. Фамилия) (личная подпись)

Руководитель Ю.Н. Орлов  
(И.О. Фамилия) (личная подпись)

**Допустить к защите**

**Заведующий**

кафедрой д-р хим. наук профессор Г.И. Остапенко  
(ученая степень, звание, И.О. Фамилия) (личная подпись)

«\_\_» \_\_\_\_\_ 2019 г.

Тольятти 2019

## АННОТАЦИЯ

Выпускная квалификационная работа 47 с., 12 рисунков, 7 таблиц, использовано 23 источника, 5 л. графического материала.

ПРОИЗВОДСТВО АММИАЧНОЙ СЕЛИТРЫ, НИТРАТ АММОНИЯ, ОСУШКА ВОЗДУХА, АДСОРБЕР, ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ, ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ СХЕМА

Цель работы: модернизация блока осушки воздуха в производстве аммиачной селитры ПАО «КуйбышевАзот».

Графическая часть работы выполнена на 5 листах и включает в себя технологическую схему процесса адсорбционной осушки воздуха, адсорбер, таблицы материального и теплового балансов и химизм процесса.

Пояснительная записка включает в себя три раздела.

В теоретической части рассмотрены физико-химические основы процесса производства аммиачной селитры, параметры процесса, применяемое сырье, свойства гранул удобрения.

В технологической части проведен анализ существующей технологии получения аммиачной селитры. Описаны возможности модернизации стадии охлаждения воздуха.

В расчетной части приведены расчеты материального и теплового балансов адсорбера для осушки газов.

Выпускная квалификационная работа выполнена в текстовом редакторе Microsoft Word 7.0 и представлена на электронном носителе.

## СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	3
1 ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ	4
1.1 Производство аммиачной селитры в России и в мире	7
1.2 Основы синтеза аммиачной селитры	7
1.2.1 Сырье	7
1.3 Гранулы аммиачной селитры	8
1.3.1 Механизм слеживания гранулы селитры	10
1.3.2 Способы предотвращения деформации гранул	12
2 ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ	14
2.1 Способы получения аммиачной селитры	14
2.2 Обеспечение наибольшей эффективности процессов	16
2.3 Производство аммиачной селитры на ПАО «КуйбышевАзот»	20
2.3.1 Описание технологии ПАО «КуйбышевАзот»	21
2.4 Способы модернизации	32
3 РАСЧЕТНАЯ ЧАСТЬ	37
3.1 Материальный баланс адсорбера	37
3.2 Тепловой баланс адсорбера	41
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	44
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ	45

## ВВЕДЕНИЕ

ПАО «КуйбышевАзот» является одним из ведущих предприятий российской химической промышленности. Предприятие осуществляет свою деятельность по двум основным направлениям:

- получение капролактама и продуктов его переработки (полиамид-6, высокопрочные технические и текстильные нити, кордная ткань, инженерные пластики);
- производство аммиака и азотных удобрений.

На площадке ПАО «КуйбышевАзот» действуют два агрегата производства аммиачной селитры АС-60 и установка по получению жидкого комплексного удобрения КАС.

Цель работы: модернизация блока осушки воздуха в производстве аммиачной селитры ПАО «КуйбышевАзот».

Задачи:

- 1) изучить основы процесса получения аммиачной селитры;
- 2) привести описание технологической схемы синтеза нитрата аммония ПАО «Куйбышевазот»;
- 3) предложить возможность модернизации узла осушки и охлаждения воздуха;
- 4) произвести технологические расчеты, подтверждающие эффективность модернизации.

## 1 ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

### 1.1 Производство аммиачной селитры в России и в мире

Нитрат аммония (или аммиачная селитра), также как и карбамид, является наиболее распространенным азотным удобрением на территории постсоветского пространства. Доля селитры среди всех выпускаемых азотных удобрений в России составляет около 35%.

Рост потребления аммиачной селитры начался в 1998 г. (рис. 1.1).

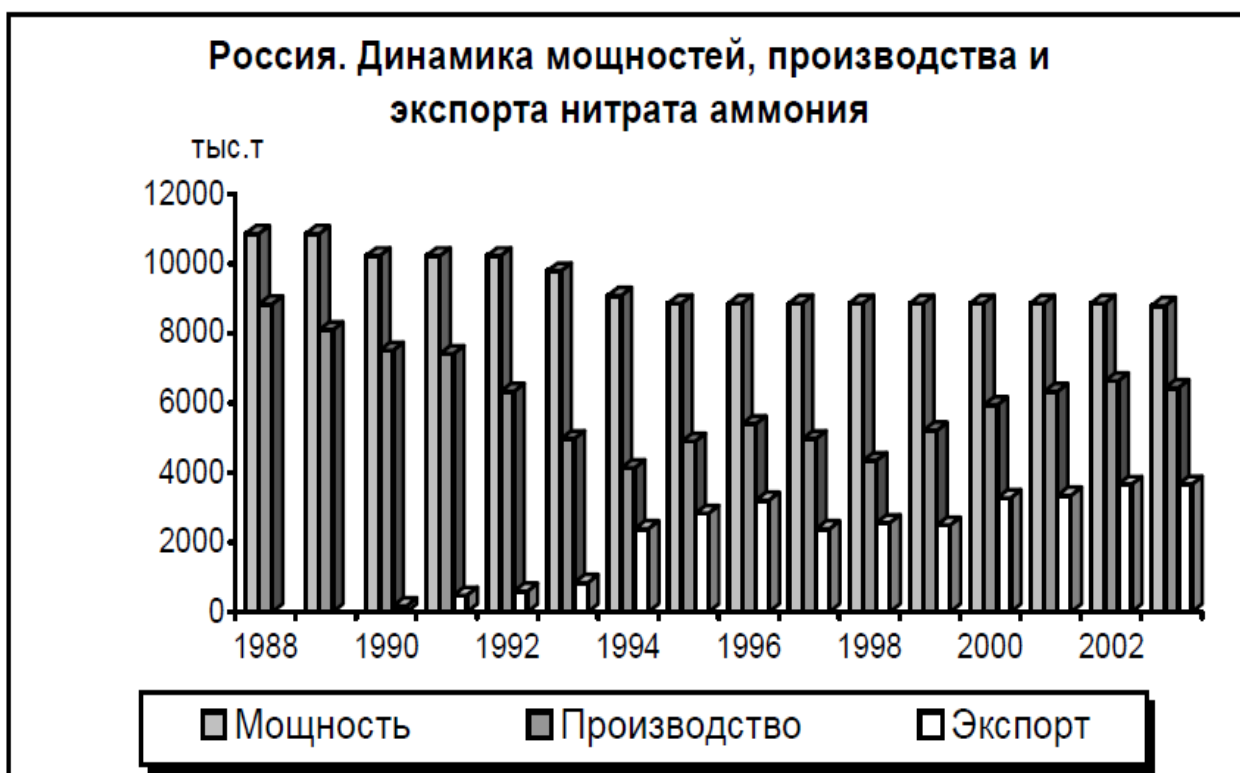


Рисунок 1.1 – Динамика производства нитрата аммония в России

Около 50% от всего количества производимой селитры в России поставляется на внутренний рынок, основным потребителем которого является отрасль сельского хозяйства.

Селитра занимает первое место среди удобрений на основе азота, поставляющихся сельскому хозяйству. Доля нитрата аммония среди суммарного количества азотсодержащих удобрений стремится к 80%.

Внешний рынок представлен странами бывшего Советского союза, а также Латинской Америки и Среднего Востока. Поставки селитры в страны Западной Европы значительно снижаются.

Производители селитры, предназначенной для продажи за рубеж, представлены на рис. 1.2.



Рисунок 1.2 – Производители селитры на экспорт

Производство аммиачной селитры в мире стабильно находится в диапазоне от 22 до 26 млн. т (рис. 1.3).

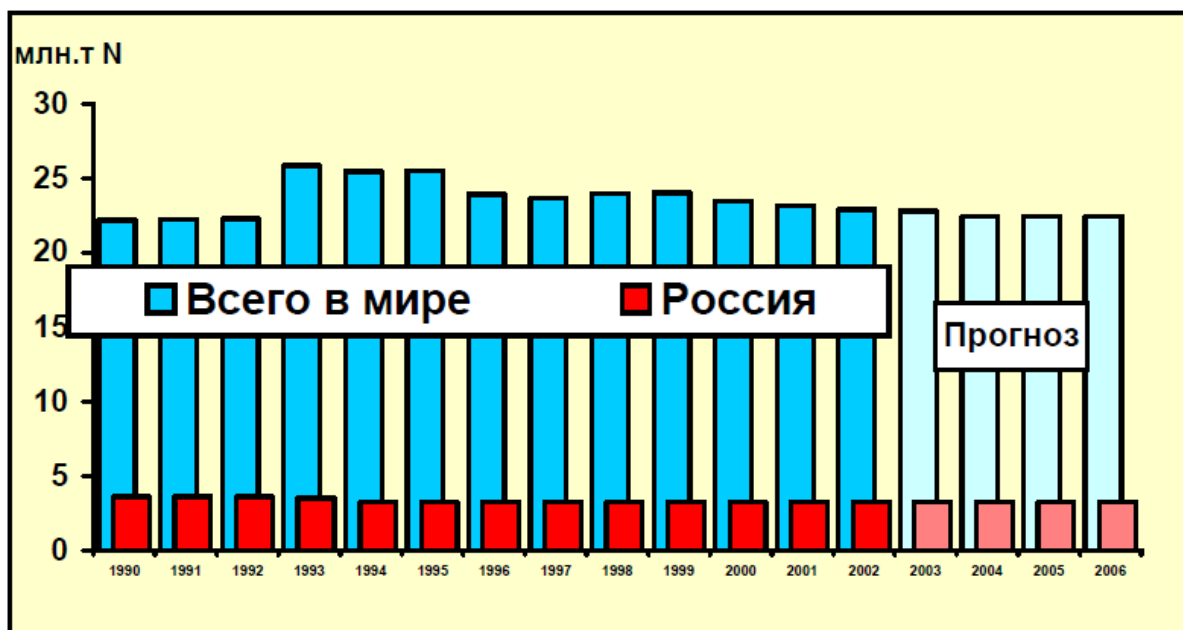


Рисунок 1.3 – Мировое производство селитры

При этом, согласно данным, представленным на рис. 1.4, Россия является лидером в мировом выпуске нитрата аммония, конкурируя с США [1].



Рисунок 1.4 – Страны-производители аммиачной селитры

## 1.2 Основы синтеза аммиачной селитры

### 1.2.1 Сырье

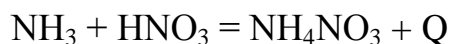
В качестве сырья процесса используется аммиак или аммиак-содержащие газы и раствор азотной кислоты с концентрацией  $\text{HNO}_3$  не более 60%.

Зачастую в качестве сырья процесса может быть использован раствор, содержащий нитрат аммония, представляющий собой побочный продукт производстве нитроаммофоски.

Требуемое качество сырья достигается за счет нормирования содержания в нем примесей хлоридов, масел и др. веществ, способных увеличить взрывоопасность реакционной массы.

## 2.2 Физико-химические основы процесса

Основная реакция процесса:



Процесс характеризуется практически необратимой реакцией и отсутствием побочных продуктов. В результате протекания описанной реакции наблюдается выделение значительного количества теплоты. Тепловой эффект зависит от концентрации исходной кислоты, а также температуры исходных веществ.

При расчете теплового эффекта с использованием закона Гесса можно получить значение 144935 Дж/моль.

Целью синтеза нитрата аммония является получение твердого продукта. В связи с этим в процессе нейтрализации кислоты желательно получить селитру с наибольшей концентрацией соли. Это необходимо для дальнейшего упрощения и удешевления процесса выпарки селитры до состояния плава.



Избыточное тепло реакции покидает стадию нейтрализации вместе с образующимся раствором соли, а также используется для выпарки избыточного количества воды. Правильное аппаратное оформление процесса позволяет добиться требуемой глубины выпарки за счет выделяемого тепла.

Возможно получение безводного плава путем применения исходной азотной кислоты высокой концентрации (около 63%) с температурой 100°C. Однако, температурный режим в таких условиях будет благоприятствовать потерям азота в связи с разложением кислоты и селитры, а также уносу нитрата аммония с соковым паром.

Помимо температуры на процесс синтеза нитрата аммония влияет давление в системе. Наиболее оптимальным является ведение процесса под вакуумом или давлением, близком к атмосферному.

Повышение давления выше значения атмосферного влечет за собой усложнение технологической схемы процесса. Рабочее давление в 3-6 ат требует дополнительного компримирования аммиака, осуществления подачи исходной кислоты под давлением и повышенных энергетических затрат [2,3].

### 1.3 Гранулы аммиачной селитры

Гранулы аммиачной селитры в процессе хранения способны слеживаться и образовывать монолитные глыбы, при этом утрачивая сыпучесть.

На рис. 1.5 представлено нормальное строение гранулы аммиачной селитры.

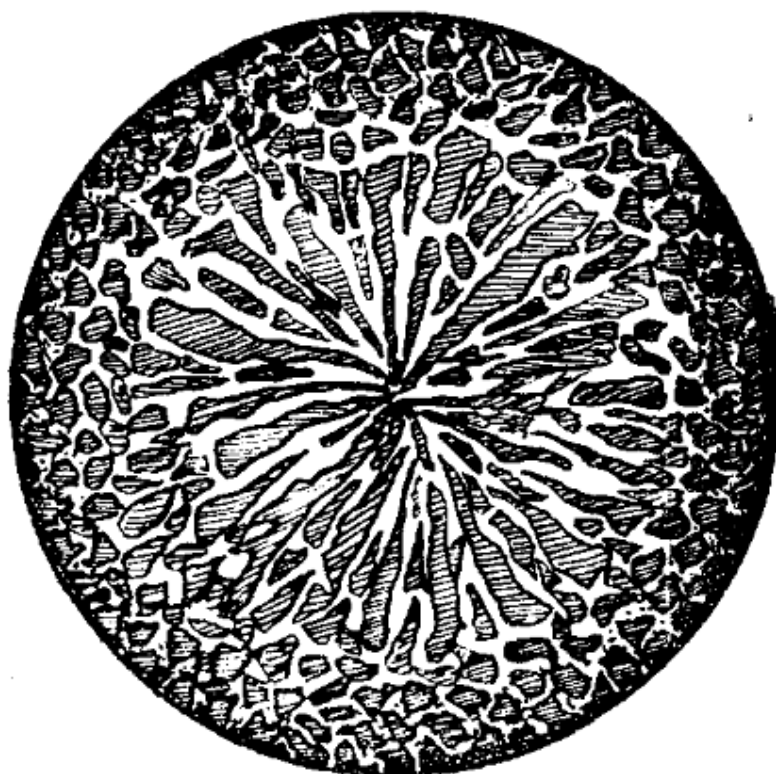
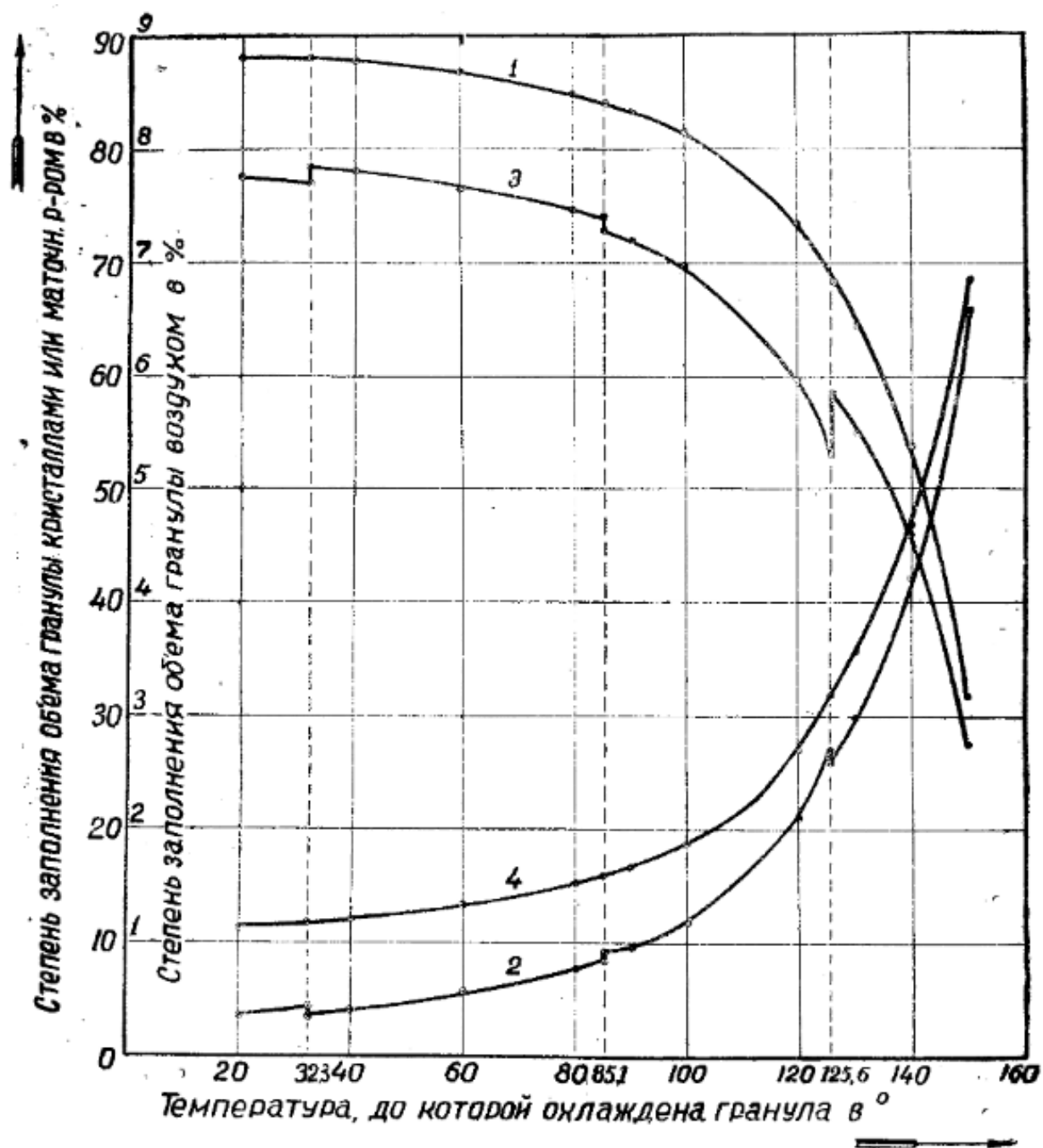


Рисунок 1.5 – Гранула аммиачной селитры

Гранула представляет собой твердую тонкую оболочку, заполненную маточным раствором и воздухом. Степень заполнения объема гранулы зависит от температуры, до которой охлаждается полученная селитра (рис. 1.6).



1 – кристаллы соли, 2 – маточный раствор, 3 – воздух, 4 - пористость

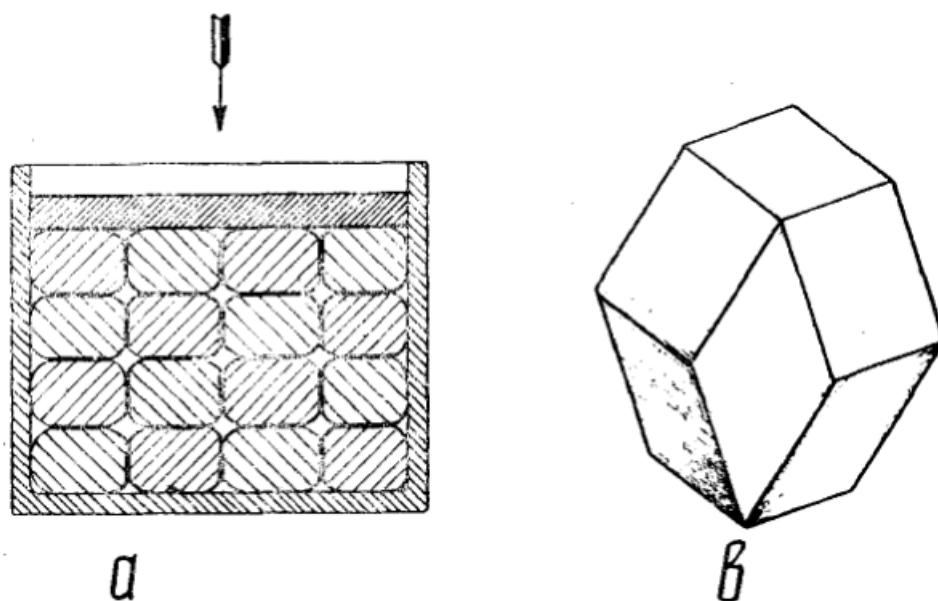
Рисунок 1.6 – Зависимость строения гранулы от температуры в процессе охлаждения

### 1.3.1 Механизм слеживания гранулы селитры

Некоторое количество гранул, плотно уложенных друг к другу, характеризуется наличием определенного количества точек соприкосновения, или единичных связей. Механическая прочность слоя

возрастает с увеличением числа подобных связей, а также прочности самих гранул.

Одним из факторов, влияющих на процесс слеживания слоя, является внешняя механическая нагрузка. При действии на слой внешних сил гранулы селитры в конце концов примут форму куба или параллелепипеда (рис. 1.7).



а и в—формы деформированных гранул соответственно при неплотной и плотной упаковках.

Рисунок 1.7 – Влияние внешних сил на гранулы селитры

Другим фактором, влияющим на устойчивость гранул к деформации, является влажность. При увеличении влажности гранул возрастает деформируемость гранул и увеличивается поверхность контактирования, а, следовательно, степень слеживаемости слоя растет.

Слеживаемость гранул возрастает, если состав гранул неоднороден по размеру (рис. 1.8).

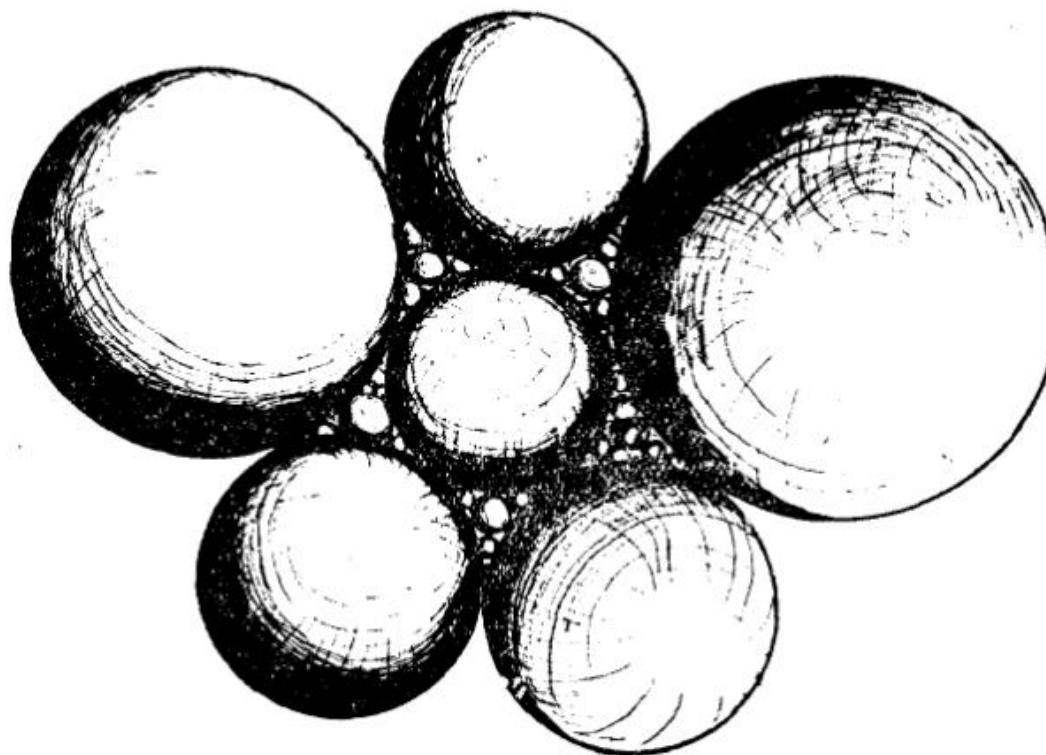


Рисунок 1.8 – Расположение разных по размеру гранул селитры в слое

### 1.3.2 Способы предотвращения деформации гранул

Одним из способов снижения возможности деформации гранул селитры является избежание внешней механической нагрузки на гранулированный слой.

Другим способом является производство гранул, одинаковых по размеру.

Одним из методов борьбы со слеживаемостью гранул является метод изоляции. Такой метод основан на создании гидрофобной пленки между гранулами (рис. 1.9).

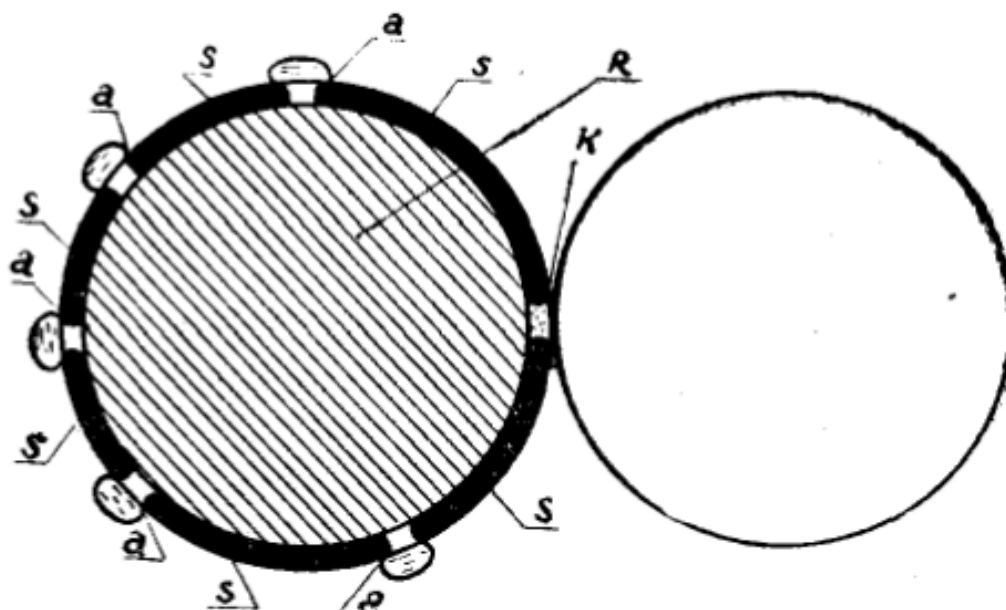


Схема разреза гранулы, покрытой гидрофобной плёнкой. *R* — гранула, *S* — оболочка из гидрофобного материала, *a* — поры, *K* — место контакта двух гранул.

Рисунок 1.9 – Действие гидрофобной пленки

Существует метод разъединения гранул с помощью сыпучих материалов (известняка, каолина, золы и т.д.)

Однако, применение такого метода невозможно с гранулами влажной аммиачной селитры.

Метод групповой изоляции основан на предотвращении воздействия влажности воздуха с помощью влагонепроницаемой тары. К сожалению, такой метод не исключает возможность слеживания гранул. Это связано с тем, что тара никак не снижает воздействия на гранулы температуры, сжатия и фазовых переходов.

Следующим методом является дополнительная сушка гранул. Этот метод не исключает гигроскопичность селитры. В связи с этим длительное хранение гранул в негерметичной упаковке повлечет за собой заполнение пустого объема гранул влагой окружающей среды [4-7].

## 2 ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

### 2.1 Способы получения аммиачной селитры

Синтез нитрата аммония основан на взаимодействии азотной кислоты с газообразным аммиаком. Данная реакция экзотермична. Избыточное тепло, выделяемое в процессе (около 150 кДж/моль), используется для упарки получаемого раствора до конечного содержания нитрата в пределах 95-99,5%. Остаточное количество воды зависит от требований к качеству готового продукта, т.е. к его сорту.

Получаемый расплав формируется в гранулы с целью удобства его использования в качестве удобрений. Для получения требуемых формы и свойств готового продукта используются распылительные устройства, оборудование для сушки и охлаждения, а также специальные составы, предотвращающие слипание гранул в процессе хранения.

На сегодняшний день на установках синтеза аммиачной селитры для получения неслипаемых гранул готового продукта, в составе которых содержится менее 0,5% воды, используются аппараты охлаждения с кипящим слоем. После охлаждения до требуемой температуры готовый продукт подается на фасовку в пригодную для этого упаковку, такую как полиэтиленовые или битумированные бумажные мешки.

В качестве добавок, необходимых для улучшения механических свойств гранул в процессах транспортировки и хранения, используются полугидрат сульфата кальция, карбонат магния и др. Обычно содержание их не превышает 0,5 % мас.

В качестве сырья процесса обычно используется азотная кислота с массовой концентрацией не менее 45% и содержанием окислов, не превышающем 0,1 %.

Особенностью процесса является возможность использования в синтезе отходов и отдувок амиачного производства (амвода, продувочные газы и т.д.), а также газы дистилляции с установок синтеза мочевины.

В зависимости от вида готового продукта – расплав или раствор, процесс может быть оформлен по-разному. В случае получения раствора нитрата аммония с необходимостью дальнейшей упарки процесс протекает в несколько стадий.

Современные технологические схемы синтеза аммиачной селитры можно разделить на:

- установки, работающие при атмосферном давлении;
- установки с вакуум-испарителем;
- установки, работающие под избыточным давлением, с однократным использованием тепла сокового пара;
- установки, работающие под давлением, с двукратным использованием тепла сокового пара.

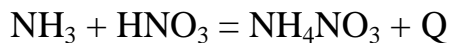
Наиболее распространенными в промышленности являются установки, применяющие нормальное давление и использующие тепло нейтрализации. В меньшей степени распространены агрегаты, работающие под вакуумом.

Согласно наиболее распространенным технологиям синтез селитры предполагает наличие следующих стадий:

- 1) Взаимодействие аммиака с азотной кислотой;
- 2) Выпаривание нитрата аммония до состояния плава;
- 3) Кристаллизация селитры;
- 4) Сушка и охлаждение;
- 5) Формовка



Первая стадия процесса осуществляется в аппаратах – нейтрализаторах. Давление в аппарате соответствует атмосферному. Процессу соответствует реакция:



Упарка получаемой соли до состояния плава осуществляется в выпарных аппаратах. Наличие аппаратов для промывки и фильтрования нитрата аммония объясняется возможностью потерь частиц соли с отводимым газом.

После формирования гранул селитры она поступает на стадию охлаждения, осуществляемого при помощи псевдооживления [1].

## 2.2 Обеспечение наибольшей эффективности процессов

Производственный процесс состоит из трех основных операций: нейтрализация - испарение - отвердевание (дробление и гранулирование).

Не существует единого технологического маршрута, который можно было бы назвать наилучшей технологией для производства аммиачной селитры. Основными причинами этого являются следующие:

- Коммерческие соображения будут влиять на выбор формы конечного продукта, из-за этого возможно отсутствие стадий отвердевания и грануляции.

- Наилучшие показатели могут быть достигнуты для различных технологических операций установки несколькими способами.

Предпочтительно, чтобы производитель использовал эффективные решения для предотвращения или минимизации выбросов. Также приемлемо, чтобы производитель обезвреживал отходы на завершающем этапе, при

условии, чтобы достигались одни и те же экологические результаты, несмотря на сильные различия в деталях процесса.

При экзотермической нейтрализации азотной кислоты газообразным аммиаком образуется раствор аммоний нитрата и пар. Азотная кислота обычно предварительно нагревается с помощью оборудования соответствующей коррозионной стойкости, особенно если доступная концентрация азотной кислоты ниже нижнего предела в диапазоне 50-70%. Наилучшим способом предварительного нагрева является использование пара или горячего конденсата в процессе производства аммиачной селитры, количество передаваемого тепла можно рассчитать по концентрации азотной кислоты и необходимой концентрации образующегося раствора аммиачной селитры путем расчета баланса энтальпий. Нейтрализация может выполняться в один этап или в два этапа. Двухступенчатый нейтрализатор работает с низким рН на первой ступени (кислотный режим) и нейтральным рН на второй ступени. Оборудование может работать с различными рабочими состояниями и температурами. В большинстве нейтрализаторов давление, температура и концентрация связаны с температурой кипения растворов аммиачной селитры, при этом независимыми являются только две из этих переменных величин: газ аммиака может содержать небольшое количество инертных веществ, таких как водород, азот и метан. Они будут удаляться из системы нейтрализатора в точке, которая зависит от деталей конкретного процесса.

Нейтрализаторами могут быть резервуары свободного кипения, циркуляционные системы или трубопроводные реакторы. В Европе используется не менее 10 различных типов и конструкций нейтрализаторов. Факторами окружающей среды, влияющими на выбор нейтрализатора, являются:

- Двухступенчатый нейтрализатор производит большую часть кипящего пара на первой стадии и большую часть выбросов аммиака на второй стадии. Это снижает общее излучение аммиака;

- Одноступенчатый нейтрализатор по своей сути проще и дешевле;

- Нейтрализация при повышенном давлении будет производить пар при более высокой температуре (и нитрат аммония при более высокой концентрации). Такой пар можно было бы более эффективно использовать в последующих процессах, таких как испарение и осушение.

- Регулирование нейтрализатора является критически важным параметром. И рН, и температура должны строго контролироваться для ограничения потерь от нейтрализатора. Все установки должны включать в себя регуляторы рН и температуры с использованием надежного оборудования, которое должно быть протестировано на регулярной основе. Такое защитное оборудование часто включает в себя систему для пропитки содержимого нейтрализатора избыточной чистой водой в случае значительного повышения температуры

- Контроль загрязнений уже упоминался выше. При рабочей температуре нейтрализатора контроль примесей имеет большое значение, так как инцидент с безопасностью также может привести к серьезным экологическим последствиям [7].

Требования для обеспечения эффективной нейтрализации:

- В случае добавления воды в нейтрализатор, эту воду (например, загрязненный конденсат пара) следует использовать для рециркуляции раствора нитрата аммония, если это можно сделать безопасно;

- Примеси должны быть строго исключены.

Однако мелкие и крупногабаритные частицы, удаленные из конечного продукта, следует, насколько это практически осуществимо, возвращать в

технологический процесс. Пар, получаемый из аппарата-нейтрализатора, содержит аммиак и нитрат аммония в количестве до нескольких тысяч частей на миллион каждая. Это содержание может быть уменьшено до нескольких сотен частей на миллион благодаря тщательной разработке нейтрализатора.

Пар, выходящий из нейтрализатора, может быть очищен или конденсирован, а затем очищен. Пар может использоваться в испарителе или использоваться для предварительного нагрева и испарения аммиака, а также для предварительного нагревания азотной кислоты [8].

Повторное использование или очистка загрязненного конденсата по схеме конечной обработки конденсата должна производиться каждый раз, когда конденсат не достигает требуемого качества. Это может быть достигнуто с помощью различных методов, включая удаление с помощью воздуха или пара с добавлением щелочи для высвобождения ионизированного аммиака.

Также можно рассмотреть процессы дистилляции и мембранного разделения, такие как обратный осмотический обмен, но есть некоторые проблемы безопасности, которые необходимо решить.

Выбор технологии будет зависеть от того, требуется ли удаление нитратов и от получаемой воды. Конденсат, который в конечном итоге образуется из пара, выходящего из нейтрализатора, может быть сброшен одним из следующих способов:

- слив азотной кислоты на установку для использования в качестве абсорбционной воды при условии соблюдения требований безопасности и чистоты азотной кислоты;
- для других применений на площадке, например при производстве растворимых удобрений;

- для подачи котельной воды, возможно после дальнейшей очистки, в лагуну для целей контроля/анализа;
- в емкость для последующего испарения под воздействием солнечного тепла или для сбора отходов [9-11].

Продукт из нейтрализатора представляет собой раствор аммиачной селитры с концентрацией, которая зависит от исходных материалов и условий эксплуатации. Его можно подавать на хранение без дальнейшей переработки. Однако, если предполагается использование его в твердом состоянии, технологией предполагается стадия испарения [12].

### 2.3 Производство аммиачной селитры на ПАО «КуйбышевАзот»

На данном производстве цех по синтезу нитрата аммония начал свою работу еще в 1965 году. Модернизация и увеличение мощности установки было осуществлено в 1994 году. В то время производительность установки по готовому продукту составляла 200 тыс. тонн в год. За основу была взята технология, разработанная норвежской фирмой «NorskHydro», в результате чего в 1995-ом году продукция была удостоена международного сертификата качества.

Сертификация продукции была осуществлена также благодаря использованию в процессе голландского ингибитора коррозии «Новокор». Улучшенная технология позволила получить продукт, отличающийся полной прозрачностью среди конкурентов, с содержанием непрореагировавшего аммиака менее 0,3%.

В связи с прошедшими модернизациями уже в конце 90-х годов завод отправил партию продукта в страны Западной Европы и США.

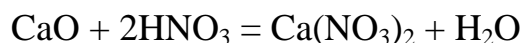
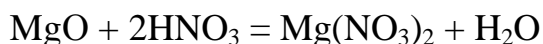
На сегодняшний день предприятие обеспечивает ведение научно-исследовательских работ для осуществления синтеза известково-аммиачной селитры в промышленных масштабах [13].

### 2.3.1 Описание технологии ПАО «КуйбышевАзот»

Синтез аммиачной селитры на ПАО «КуйбышевАзот» осуществляется с помощью следующих стадий:

1. Получение азотнокислого раствора магнезита;
2. Нейтрализация азотной кислоты газообразным аммиаком или аммиаком, содержащимся в газах дистилляции производства карбамида в составе двух аппаратов ИТН и двух скрубберных установок с предварительным упариванием раствора в двух выпарных аппаратах;
3. Упаривание плава, доупаривание, гранулирование соли из плава и ее охлаждение в составе четырех выпарных аппаратов II ступени, двух доупарочных аппаратов и двух грануляционных башен;
4. Транспортирование, упаковка и хранение готового продукта;
5. Обработка готового продукта антислеживающими добавками.

Получение азотнокислого раствора магнезита протекает по реакции:



Растворение магнезита осуществляется разбавленной кислотой, концентрация которой находится в прямой зависимости от количества воды, необходимого для растворения. Процесс протекает в реакторе периодического действия и включает в себя следующие стадии:

1) Разбавление азотной кислоты конденсатом сокового пара до концентрации 48%;

2) Загрузка магнезита и его разложение в течение двух часов;

3) Добавление конденсата сокового пара до достижения концентрации нитрата магния значения не менее  $100 \text{ г/см}^3$ ;

4) Отгрузка полученного раствора в приемную емкость, барботируемую воздухом с целью предотвращения выпадения осадка. Часть раствора циркулирует в системе «насос-емкость» для охлаждения.

5) После достижения раствором температуры около  $70^\circ\text{C}$  его направляют на фильтрацию от взвешенных твердых частиц. Процесс осуществляется на фильтр-прессе.

б) дозирование готовой вытяжки насосом через сетчатый фильтр в сборник упаренных щелоков;

7) подача в реактор следующей партии исходных веществ.

Технологическая схема процесса представлена на рис. 2.1.

Водный раствор кислоты, содержащий около 48% азотной кислоты, направляется в напорный бак 1, оснащенный переливной трубой, необходимой для возврата избыточного количества кислоты на склад.

Выходящий поток из бака 1 направляется в аппараты ИТН 13, скруберы 201, 250 и на производство КАС и азотнокислой вытяжки.

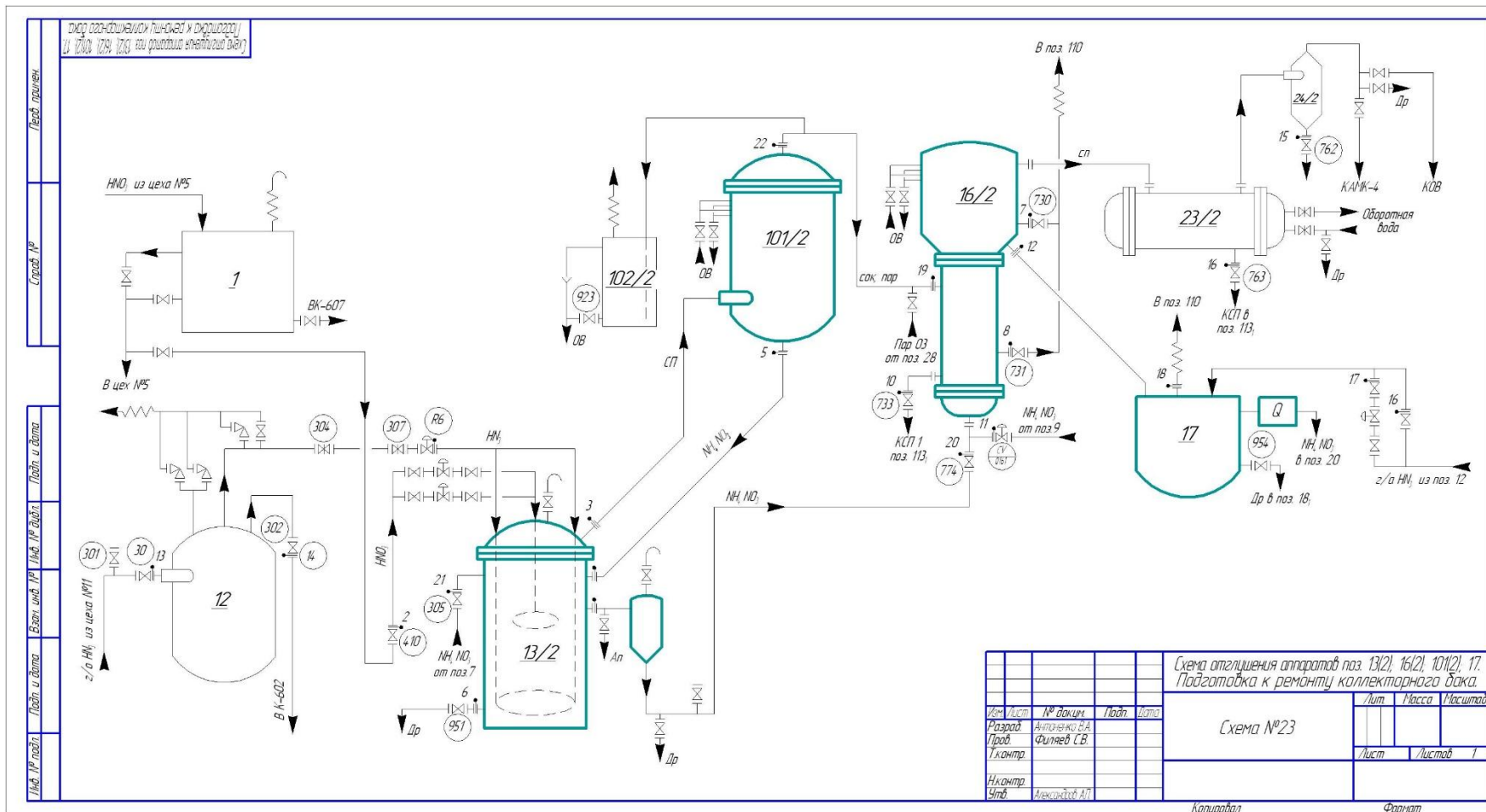


Рисунок 2.1 – Технологическая схема процесса



Газообразный аммиак, используемый с целью нейтрализации кислоты, подается в отделитель-испаритель 12 с давлением не более 0,3 МПа.

После прохождения аппарата 12, который используется для отделения газообразного аммиака от капель жидкого, газ нагревается в теплообменнике 11 до температуры, не превышающей 500°C, и подается в аппарат ИТН 13, куда также поступает азотная кислота.

Азотная кислота и аммиак поступают в нейтрализационную часть аппарата 13 противотоком. На концах трубопроводов при входе в аппарат располагаются барботеры, применение которых позволяет увеличить поверхность контакта между жидкостью и газом. Протекает следующая реакция:



Избыточное тепло реакции применяется в аппарате ИТН с целью упарки раствора нитрата аммония до концентрации около 70%. С целью поддержания требуемого значения рН среды в аппарате существует возможность подачи раствора нитрата аммония в аппарат 13 из емкостей 18.

В циркуляционно-испарительной части аппарата происходит выделение сокового пара. Движение реакционной массы из нейтрализационной части в циркуляционно-испарительную осуществляется из-за разности ее плотностей в обеих частях аппарата.

Соковый пар из аппарата 13 подается в промыватель 101 с целью отмывки его от кислоты и нитрата аммония. Процесс осуществляется на ситчатых тарелках путем конденсации части исходного пара. Конденсат возвращается в аппарат 13.

Отмытый соковый пар направляется в выпарной аппарат 1 ступени 16 для отдачи избыточного тепла.

Селитра, образовавшаяся на стадии нейтрализации в аппарате ИТН, поступает в аппарат 16, предназначенном для выпаривания избыточного количества воды и достижения раствором концентрации соли около 80%. Выпаривание протекает за счет использования в качестве горячего теплоносителя сокового пара из аппарата 13. Давление в процессе выпаривания поддерживается не ниже 500 мм. рт. ст.

Поднимаясь по трубкам выпарного аппарата, раствор нагревается в нижней части и начинает вскипать. В результате вскипания образуется легкоподвижная парожидкостная эмульсия. При этом образующийся пар заставляет жидкость двигаться по стенкам трубок вверх в виде пленки, что способствует интенсивному упариванию. Пройдя трубчатую часть выпарного аппарата, парожидкостная эмульсия попадает в сепаратор – промыватель 16/1,2а, установленный в верхней части выпарного аппарата.

Разделение раствора и сокового пара осуществляется в нижней части аппарата за счет уменьшения величины скорости парожидкостной эмульсии. Раствор, концентрирующийся в нижней части аппарата, направляется в гидрозатор-донецитризатор 17, в котором нейтрализация протекает с использованием газообразного аммиака до достижения его концентрации не более  $0,3 \text{ г/см}^3$ . По достижении требуемых значений раствор подается в сборник упаренных щелоков 20.

Раствор азотнокислой вытяжки насосом 414 через регулирующий клапан и сетчатый фильтр подается в щелевой расходомер, или насосом 517 в сборник щелоков 182.

Соковый пар, предварительно отмытый от нитрата аммония и азотной кислоты, поступает в конденсаторы 23, где происходит отделение конденсата сокового пара, направляемого после в сборник 113, от инертных газов, которые в последствии выбрасываются в атмосферу.

Конденсат сокового пара из емкости 113 направляется на вторую стадию выпарки в сепараторы 165, 166 и 179, а после в промыватели 167-8.

Упаривание полученного на первой ступени выпарки раствора протекает до достижения концентрации соли 95-98,5% в выпарном аппарате 161. Давление в системе поддерживается не ниже 500 мм. рт. ст., температура около 150-170°C.

Раствор из емкости 201 направляется в напорный бак щелоков 101, после которого с концентрацией около 80% подаются в выпарной аппарат 161. Конечная концентрация соли в растворе составляет 95-98,5%.

Поступая в трубки выпарного аппарата, раствор закипает, с выделением большого количества пузырьков пара, которые, поднимаясь вверх, увлекают с собой раствор, поднимая его по стенкам.

Образующаяся при этом парожидкостная эмульсия с большой скоростью выбрасывается из верхней части трубок в сепаратор I ступени 110-113, где происходит отделение плава от сокового пара. Плава из нижней части сепаратора стекает в гидрозатвор 114-117, где нейтрализуется аммиаком до избытка 0,1-0,2 г/л и через коллектор плава поступает в доупарочный аппарат 167, 168.

Соковый пар из сепаратора I ступени 110-113 поступает в сепараторы – промыватели II ступени 165, 166, 179 для промывки от брызг  $\text{NH}_4\text{NO}_3$  и улавливания аммиака из сокового пара.

Сепаратор – промыватель 165, 166, 179 снабжен четырьмя ситчатыми тарелками для очистки сокового пара от брызг раствора селитры аммиачной и аммиака. Рабочее давление – вакуум не менее 500 мм.рт.ст. – создается за счет конденсации соковых паров в поверхностных конденсаторах поз.136, 137 и за счет энергии свободно падающей воды в барометрических трубках.

Далее плав направляется на стадии доупаривания до концентрации 99,5-99,7%, гранулирования и упаковки [13].

Плав из гидрозатвора 116-119 по общему коллектору поступает в доупарочный аппарат 167, 168 по двум вводам.

Плав в аппарат поступает сверху на распределительную решетку, откуда он равномерно тонкой пленкой стекает по внутренней части поверхности трубок, обогреваемых снаружи паром с температурой 190-200 °С, навстречу горячему воздуху, подаваемому вентиляторами 171, 172 через подогреватель воздуха 169, 170 с температурой 175-195 °С.

При повышении температуры воздуха выше 195 °С после подогревателей воздуха и температуры плава выше 185 °С после доупарочных аппаратов 167, 168 срабатывает светозвуковая сигнализация. Плав по мере стекания по трубкам концентрируется и выходит из аппарата с концентрацией 99,5-99,7 %, по коллектору стекает в буферный бак 173, откуда направляется в разбрызгиватель плава - гранулятор. В буферном баке 173 плав нейтрализуется аммиаком по показаниям системы регулирования до содержания рН в готовом продукте не менее 5,0.

Воздух, проходя по трубкам снизу вверх, отбирает влагу, содержащуюся в плаве, и поступает на очистку в промыватели 167А, 168А.

Воздух, проходя по трубкам доупарочного аппарата, имея непосредственный контакт с плавом селитры аммиачной, загрязняется аммиаком и селитрой. Далее загрязненный воздух с температурой 165-184 °С поступает в промыватель 167А, 168А, где, пройдя через четыре ситчатых орошаемых тарелки и фильтрующий элемент, выбрасывается в атмосферу.

На верхнюю тарелку промывателей 167А, 168А подается закисленный промывной циркулирующий раствор из емкости 18(4) насосами 3(3,4), или конденсат сокового пара из емкости 113(1) насосами 26(1,2).

В емкость 18(4) из напорного бака 1 подается азотная кислота до содержания  $\text{HNO}_3$  30-50 г/л, по результатам аналитического контроля. Количество промывного циркулирующего раствора колеблется в пределах 1,5-2,5 м<sup>3</sup>/час и зависит от температуры выбрасываемого воздуха, которая поддерживается в пределах 80-95 °С.

Содержание вредных веществ выбрасываемого воздуха после промывателей 167А, 168А контролируется санитарной лабораторией по графику контроля промышленных выбросов.

Плав из буферного бака поступает в виброгранулятор, который предназначен для разбрызгивания плава аммиачной селитры и состоит из гранулятора, аэрозольного масляного генератора и шарикового вибратора.

В аэрозольный генератор подается воздух, который, проходя через генератор, насыщается парами масла в нем и поступает в шариковый вибратор, где приводит в движение шарик.

Шарик под воздействием воздуха создаёт вибрацию и заставляет вибрировать резонатор, который, усиливая вибрацию, передает ее излучателю вибрации, находящемуся в корзине с плавом. Плав, за счет вращения корзины со скоростью 60 об/мин и вибрации, дробится на равномерные капли, что дает равномерный гранулометрический состав аммиачной селитры.

Перед гранулятором плав проходит кассетный фильтр, где фильтруется от посторонних примесей. В фильтровальном бачке установлены 3 сетчатых фильтра.

При увеличении уровня плава в грануляторе выше 60 % срабатывает светозвуковая сигнализация. Гранулятор, вращаясь, разбрызгивает плав по всей площади грануляционной башни.

Грануляционная башня (гранбашня) – сооружение цилиндрической формы с высотой полета гранул 35 м и диаметром 16 м, имеет плоскую крышу и конусное дно. Цилиндрическая часть башни выполнена из бетона, внутри футерована кислотоупорным кирпичом на диабазовой замазке. Для обеспечения возможности прохода воздуха и удобства чистки конусов днище изготовлено в виде отдельных секций. Плоский потолок башен, через который проходит вал гранулятора, защищен от коррозии нержавеющей листовой сталью.

Капли плава селитры аммиачной после гранулятора во время падения по высоте башни кристаллизуются, охлаждаются и частично подсушиваются встречным потоком атмосферного воздуха, протягиваемого через гран. башню осевыми вентиляторами 127, 127А, 128, 129, 129А, 130, 131, 132, которые установлены на потолочном перекрытии башни в вытяжных трубах, производительностью каждый по 100 000 м<sup>3</sup>/час.

Дальнейшее охлаждение гранулированной селитры аммиачной до температуры не выше 45-50 °С производится в аппарате кипящего слоя 180/1,2 с двухступенчатым «кипящим слоем». Охлаждение гранул и движение их в аппарате происходит в «кипящем слое», создаваемом воздухом. Гранулы селитры поступают на верхнюю решетку, где охлаждаются, ссыпаются через центральный пересыпной стакан на вторую решетку, где происходит дальнейшее охлаждение гранул селитры аммиачной, откуда через выгрузные патрубки поступают на ленточный конвейер 206, 207.

Атмосферный воздух, в летнее время охлажденный на узле захлаживания воздуха, через теплообменники АОВ 200, 210, 220, 230 подается в нижнюю часть аппарата вентиляторами ВД-13,5 182-185; в дальнейшем воздух последовательно проходит через I и II решетки «кипящего слоя», захватывается вытяжными вентиляторами и уносится в атмосферу.

При эксплуатации гран.башен происходит налипание гранул селитры аммиачной на конусах, поэтому грануляционные башни периодически останавливаются на чистку.

Во время чистки комья селитры растворяются в конусах растворения с помощью пара с давлением 0,9-1,1 МПа (9-11 кгс/см<sup>2</sup>), а оттуда полученный раствор селитры отводится в сборник 181,3 через дренажный бак 32 насосом 33/1,2 и далее возвращается на выпарку I ступени.

#### 2.4 Способы модернизации

В качестве модернизации установки получения аммиачной селитры в данной работе предлагается проводить дополнительную осушку воздуха перед входом его на стадию охлаждения гранул селитры в двухступенчатом «кипящем слое». Данная стадия необходима в связи с потерей большого количества целевого продукта за счет слипания гранул аммиачной селитры из-за присутствия в воздухе лишней влаги.

В качестве осушивающего устройства может быть предложена конструкция, представленная на рис. 22.

Установка для осушки сжатого воздуха включает в себя два попеременно работающих адсорбера, содержащих адсорбент, регенерация которого осуществляется продувкой адсорбера частью осушенного воздуха, трубопровод воздуха управления, подключенный к выходу осушенного воздуха, линию регенерации, подключенную к выходам адсорберов, систему продувки, включающую продувочные трубопроводы, подключенные к входам адсорберов и содержащие два пневмоуправляемых клапана для обеспечения сброса воздуха регенерации из адсорберов, и прибор управления. На линии регенерации установлен дроссель двухстороннего действия, выполненный с возможностью регулировки, а на продувочных

трубопроводах установлены индикаторы влажности для контроля процесса регенерации в адсорберах.

Пневмопривод каждого пневмоуправляемого клапана размещен в корпусе клапана, что позволяет уменьшить габаритные размеры и массу установки.

Адсорбент, размещенный в адсорберах, выполнен трехслойным, при этом на входе и выходе адсорберов адсорбент выполнен из активной окиси алюминия или алюмогеля, имеющих повышенную механическую прочность и стойкость к воздействию капельной влаги, а в центральной части адсорберов адсорбент выполнен из силикагеля или цеолита, обеспечивающих тонкую осушку воздуха.

Прибор управления выполнен с возможностью выравнивания давлений в адсорберах согласно заданному алгоритму работы для предотвращения разрушения частиц адсорбента вследствие резкого перепада давлений при переключении адсорберов.

Дополнительно установка осушки воздуха может содержать на входе водомаслоотделитель и фильтр, обеспечивающие очистку от влаги и масла в капельном виде, а также фильтр от твердых частиц адсорбента на выходе установки.

Все функциональные узлы размещены на металлическом каркасе.

Для контроля качества осушки сжатого воздуха на трубопроводе воздуха управления предусмотрена установка индикатора влажности, который подключен к прибору управления и обеспечивает измерение влажности (точки росы) воздуха.

Индикатор влажности, установленный на трубопроводе воздуха управления, содержит вещество - индикатор, меняющее цвет при изменении влажности воздуха.



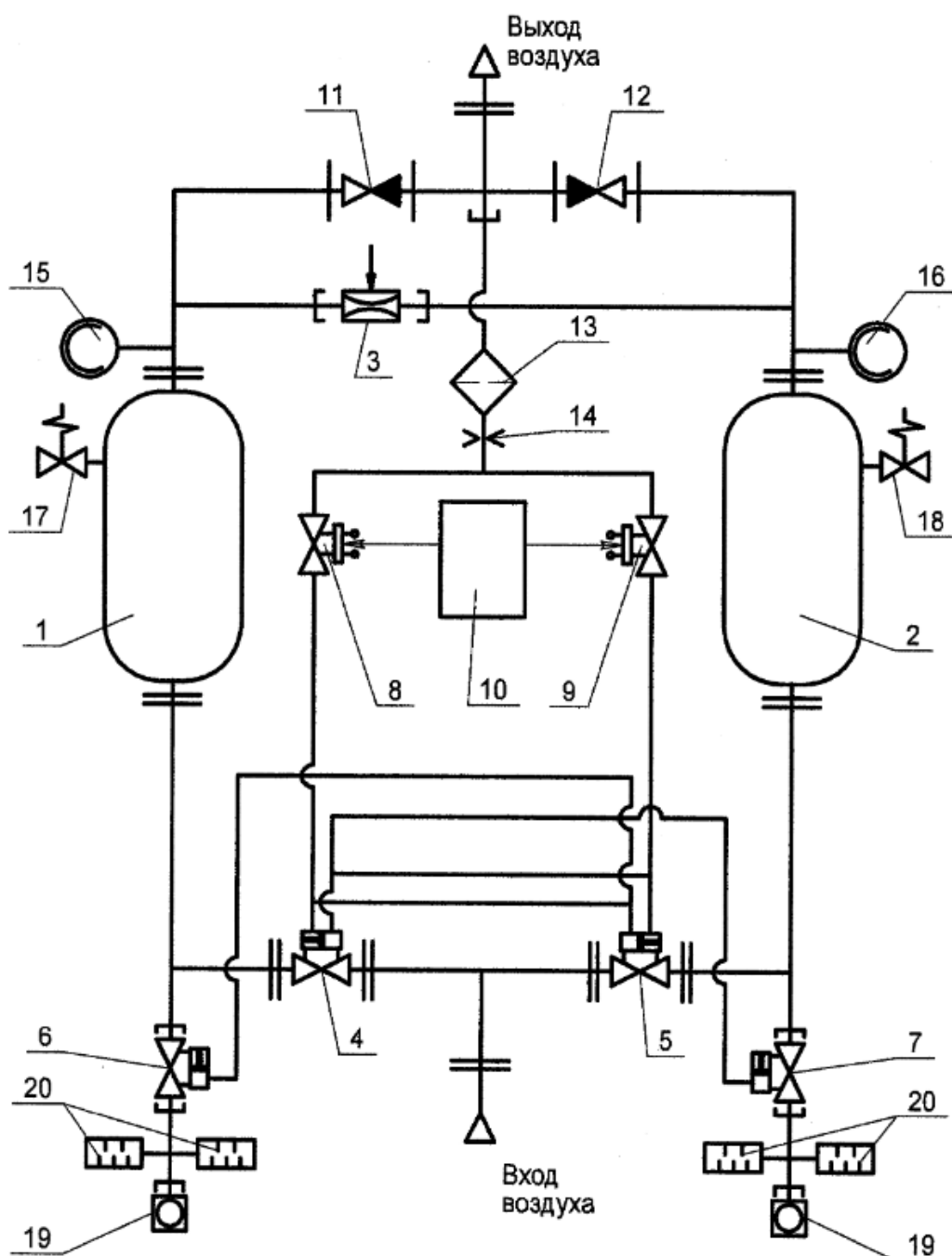


Рисунок 2.2 – Схема стадии тонкой очистки воздуха

Установка для осушки сжатого воздуха работает следующим образом.

Сжатый воздух поступает на вход установки и попадает в адсорбер 1 или 2 через один из пневмоуправляемых клапанов 4 или 5 соответственно. В адсорберы помещен адсорбент, с помощью которого осуществляется осушка сжатого воздуха. В процессе адсорбции адсорбент насыщается водой и его необходимо регенерировать. Регенерация осуществляется продувкой

насыщенного влагой адсорбента частью осушенного воздуха. После адсорбера осушенный газ проходит через один из обратных клапанов 11 или 12 и выходит к потребителю. Часть осушенного воздуха через регулируемый дроссель 3 направляется в регенерируемый адсорбер, при этом с помощью дросселя 3 давление осушенного воздуха снижается.

Регулируемый дроссель 3 благодаря полностью симметричной конструкции проточной части корпуса 21 позволяет стабильно дросселировать осушенный воздух для регенерации адсорбента независимо от направления потока воздуха, что обеспечивает, учитывая схему установки, равномерную работу и регенерацию адсорберов 1 и 2. Кроме того, дроссель не подвержен засорению, так как при переключении адсорберов происходит его обратная продувка. Герметичность дросселя обеспечивается резиновым кольцом 26, что позволяет осуществлять настройку (изменение параметров) непосредственно в процессе работы (под давлением сжатого воздуха в трубопроводе). Посредством шлица в торце штока 22 с использованием стандартного инструмента может быть произведена регулировка давления и расхода воздуха регенерации. Степень закрытия (положение штока) дросселя можно визуально контролировать по насечкам на штоке 22. После установки рабочего положения фиксация штока 22 осуществляется коптящим винтом 25, установленным в гайке 23.

Осушенный воздух низкого давления (близкого к атмосферному) проходит через адсорбент и насыщается парами воды до состояния полного насыщения при данной температуре, после чего через пневмоуправляемый клапан 6 или 7 и глушители 20 выбрасывается в атмосферу. Определение влажности выходящего воздуха регенерации происходит с помощью индикатора влажности 19. С помощью регулируемого дросселя 3 и по показаниям индикаторов влажности 19 может осуществляться настройка параметров работы установки для осушки сжатого воздуха (обеспечение

более полной регенерации адсорберов, регулировка влажности продуктового воздуха).

Индикаторы влажности (фиг.3) устанавливаются на трубопроводе сброса воздуха после регенерации адсорбента, при этом благодаря наружной конической резьбе на корпусе 27 обеспечивается герметичное соединение с трубопроводом анализируемого воздуха. Сжатый воздух проходит в отверстие корпуса 27, проходит через решетку 28, удерживаемую стопорным кольцом 32 и контактирует с сорбентом индикатором 34 (например, силикагелем - индикатором), меняющим цвет при изменении влажности подаваемого воздуха. Как правило, цвет индикатора при сухом воздухе - синий, а при влажном - розовый. Цвет сорбента индикатора 34 можно видеть через стекло 30, зафиксированное с помощью гайки 29. Герметизация стекла осуществляется резиновым кольцом 33.

Пневмоуправляемый клапан (фиг.4) для сброса воздуха после регенерации адсорбера является нормально-закрытым, то есть при отсутствии воздуха управления клапан закрыт - пружина 39 поджимает поршень 36 к седлу 38. При подаче воздуха управления в соответствующую полость происходит перемещение поршня 36 и открытие клапана, обеспечивающее выход воздуха после регенерации адсорбера.

Воздух управления отбирается из осушенного и очищенного воздуха на выходе установки, проходит дополнительную очистку в фильтре 13 и редуцируется дросселем 14 до требуемого давления.

Переключение адсорберов осуществляется прибором управления 10 посредством электроуправляемых клапанов 8 и 9, которые подают воздух управления к пневмоприводным затворам 4, 5 и пневмоуправляемыми клапанам 6 и 7. [14]

### 3 РАСЧЕТНАЯ ЧАСТЬ

#### 3.1 Материальный баланс адсорбера

Схема материальных потоков адсорбера представлена на рис. 3.1.

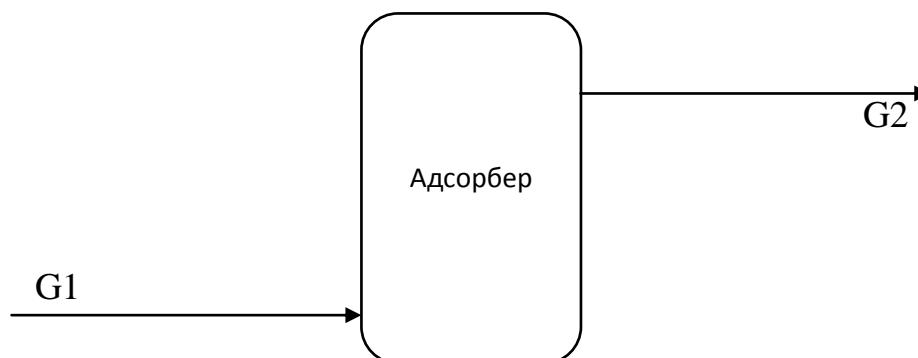


Рисунок 3.1 – Схема материальных потоков адсорбера:

G1 – исходный воздух; G2 – осушенный воздух

Исходные данные к расчету:

1. Состав воздуха на входе в адсорбер представлен в табл. 3.1.

Таблица 3.1 – Состав воздуха на осушку

Компонент	Содержание, % об.
Кислород	20,940
Азот и инертные	79,029
Углекислый газ	0,031

2. Содержание влаги в воздухе  $v=10$  г/нм<sup>3</sup> сухого воздуха;

3. Остаточное содержание влаги после адсорбера  $0,2$  г/нм<sup>3</sup> сухого воздуха [13].

5. Расход сухого воздуха составляет  $V=55000$  м<sup>3</sup>/ч.

Содержание компонентов в воздухе рассчитывается по следующим формулам:

$$V_i = V_1 \cdot \varphi_i,$$

где  $\varphi_i$  – объемная доля компонента в смеси.

Количество компонента:

$$g_i = \frac{V_i}{22.4}$$

Массовый расход компонента:

$$G_i = g_i \cdot M_i,$$

где  $M_i$  – молярная масса компонента.

Расчет состава сухого воздуха приведен в табл. 3.2.

Таблица 3.2 – Состав сухого воздуха

Компонент	% об.	м <sup>3</sup> /ч	кмоль/ч	кг/кмоль	кг/ч
Кислород	20,94	11517	514,15	32	16452,86
Азот и инертные	79,029	43465,95	1940,44	28	54332,44
Углекислый газ	0,031	17,05	0,76	44	33,49
	100	55000	2455,36		70818,79

Количество влаги в воздухе составляет:

$$G^1_{H_2O} = v \cdot V_1$$

$$G^1_{H_2O} = 10 \cdot 10^{-3} \cdot 55000 = 550 \text{ кг/ч}$$

Суммарная статья прихода представлена в табл. 3.3.

Таблиц 3.3 – Статья прихода

Компонент	% об.	м <sup>3</sup> /ч	кмоль/ч	кг/кмоль	кг/ч	% мас.
Кислород	20,683	11517,002	514,152	20,683	16452,86	23,053
Азот и инертные	78,058	43465,952	1940,444	78,058	54332,44	76,129
Углекислый газ	0,031	17,049	0,761	0,031	33,49	0,047
Вода	1,229	684,444	30,556	1,229	550	0,771
ИТОГО:	100,000	55684,448	2485,913	100,000	71368,79	100

Остаточное содержание влаги в воздухе составляет 0,2 г/м<sup>3</sup>.

$$G_{H_2O}^2 = 0,2 \cdot 10^{-3} \cdot 55000 = 11 \text{ кг/ч}$$

Количество влаги, удержанное силикагелем:

$$G_{H_2O}^{уд} = G_{H_2O}^1 - G_{H_2O}^2$$

$$G_{H_2O}^{уд} = 550 - 11 = 539 \text{ кг/ч}$$

Расход воздуха на выходе из адсорбера:

$$G_2 = G_1 - G_{H_2O}^{уд}$$

$$G_2 = 71368,79 - 539 = 70829,79 \text{ кг/ч}$$

Процентное содержание влаги в отходящем воздухе:

$$W_{H_2O}^2 = \frac{G_{H_2O}^2}{G_2} \cdot 100\%$$

$$W_{H_2O}^2 = \frac{11}{70829,79} \cdot 100\% = 1,6 \cdot 10^{-4} \%$$

Материальный баланс стадии осушки представлен в табл. 3.4.

Таблица 3.4 – Материальный баланс стадии адсорбции

Компонент	% об.	м <sup>3</sup> /ч	кмоль/ч	кг/ч	% мас.
Статья прихода					
Кислород	20,683	11517,002	514,152	16452,86	23,053
Азот и инертные	78,058	43465,952	1940,444	54332,44	76,129
Углекислый газ	0,031	17,049	0,761	33,49	0,047
Вода	1,229	684,444	30,556	550	0,771
ИТОГО:	100,000	55684,448	2485,913	71368,79	100
Статья расхода					
<i>- осушенный воздух</i>					
Кислород	20,935	11517,002	514,152	16452,86	23,229
Азот и инертные	79,009	43465,952	1940,444	54332,44	76,708
Углекислый газ	0,031	17,049	0,761	33,49	0,047
Вода	0,025	13,689	0,611	11,00	0,016
Итого:	100,000	55013,692	2455,968	70829,79	100
<i>- удержанная влага</i>					
Вода			29,94	539	100
ИТОГО:			2485,913	71368,79	100

### 3.2 Тепловой баланс адсорбера

Уравнение теплового баланса процесса адсорбции выглядит следующим образом:

$$Q_{\text{ад}} + Q_1 = Q_2 + Q_{\text{потерь}} + Q_{\text{т/н}},$$

где  $Q_{\text{ад}}$  – теплота адсорбции, кДж/ч;

$Q_1$  – физическое тепло исходного потока, кДж/ч;

$Q_2$  – физическое тепло продукта, кДж/ч;

$Q_{\text{потерь}}$  – потери тепла, кДж/ч;

$Q_{\text{т/н}}$  – тепло, уносимое теплоносителем, кДж/ч.

Процесс адсорбции всегда экзотермичен. В большинстве случаев тепловой эффект адсорбции по своей величине приближен к теплоте конденсации поглощаемого пара [15].

Тогда:

$$Q_{\text{ад}} = q_{\text{конд}} \cdot G_{\text{H}_2\text{O}}^{\text{уд}},$$

где  $q_{\text{конд}}$  – удельная теплота конденсации паров воды, кДж/кг.

$$q_{\text{конд}} = 2453,8 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$$

$$Q_{\text{ад}} = 2453,8 \cdot 539 = 1322598,2 \text{ кДж/ч}$$

Физическое тепло компонентов смеси:

$$Q_{1/2} = c_i \cdot g_i \cdot T$$

где  $c_i$  – молярная теплоемкость компонента смеси при данной температуре, кДж/кмоль·К;

$g_i$  – мольный расход компонента смеси, кмоль/ч;



$T$  – температура вещества на входе в/на выходе из реактор(а), К.

Теплоемкости веществ при данной температуре рассчитываются по формулам [17-18]:

$$C_p = a + bT + c/T^2$$

где  $a, b, c, d$  – коэффициенты.

Расчет молярных теплоемкостей компонентов воздуха приведен в табл.

3.5.

Таблица 3.5 – Значения теплоемкостей

Вещество	Коэффициент [18]			Теплоемкость, кДж/кмоль·град при температуре 20°C
	a	$b \cdot 10^3$	$c \cdot 10^{-5}$	
O <sub>2</sub>	31,46	3,39	-3,77	28,06
N <sub>2</sub>	27,87	4,27		29,12
CO <sub>2</sub>	44,14	9,04	-8,53	36,85
H <sub>2</sub> O	30,00	10,71	0,33	33,52

Расчет физического тепла потоков сведен в табл. 3.6.

Таблица 3.6 – Расчет физического тепла потоков

Компонент	$g_i$ , кмоль/ч		$c_i$ , кДж/кмоль·град	$Q_1$ , кДж/ч	$Q_2$ , кДж/ч
O <sub>2</sub>	514,152	514,152	28,06	288542,10	288542,10
N <sub>2</sub>	1940,444	1940,444	29,12	1130114,59	1130114,59
CO <sub>2</sub>	0,761	0,761	36,85	560,86	560,86
H <sub>2</sub> O	30,556	0,611	33,52	20484,74	409,61
				1439702,29	1419627,16

Общий приход тепла:

$$Q_{\text{прих}} = Q_{\text{ад}} + Q_1$$

$$Q_{\text{прих}} = 1322598,2 + 1439702,29 = 2762300,49 \text{ кДж/ч}$$

Потери тепла примем равными 5%. Тогда:

$$Q_{\text{потерь}} = 0,05 \cdot Q_{\text{прих}}$$

$$Q_{\text{потерь}} = 0,05 \cdot 2762300,49 = 138115,02 \text{ кДж/ч}$$

Количество теплоты, которую необходимо уводить из зоны реакции с помощью теплоносителя:

$$\begin{aligned} Q_{\text{т/н}} &= Q_{\text{прих}} - Q_{\text{потерь}} - Q_2 = 2762300,49 - 138115,02 - 1419627,16 \\ &= 1204558,31 \text{ кДж/ч} \end{aligned}$$

Количество теплоносителя – воды:

$$G_{\text{H}_2\text{O}} = \frac{Q_{\text{т/н}}}{c_{\text{H}_2\text{O}} \cdot \Delta t}$$

где  $\Delta t$  – разница температур теплоносителя.

$$G_{\text{H}_2\text{O}} = \frac{1204558,31}{4,18 \cdot 10} = 28817,18 \text{ кг/ч}$$

Тепловой баланс адсорбера представлен в табл. 3.7.

Таблица 3.7 – Тепловой баланс адсорбера

Приход	кДж/ч	%	Расход	кДж/ч	%
Тепло от сырья	1439702,29	52,12	Тепло продукта	1419627,16	51,39
Теплота адсорбции	1322598,2	47,88	Потери тепла	138115,02	5,00
			Тепло с теплоносителем	1204558,31	43,61
Итого:	2762300,49		Итого:	2762300,49	100,00

Расчеты выполнены по методике [19-23].

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Основные выводы и результаты представленной работы:

1. Изучены физико-химические основы процесса получения аммиачной селитры, в т.ч. сырье, строение гранул, способы получения;

2. Рассмотрена действующая установка по производству аммиачной селитры ПАО «Куйбышевазот»;

3. Описаны возможности модернизации процесса. Выбран способ модернизации установки;

4. Предложен вариант оптимизации работы производства, путем установки адсорбера для осушки воздуха, поступающего в гран-башню от избыточной влаги. Целью такой модернизации является уменьшение потерь гранулированной селитры за счет слипания в гран-башне.

5. Произведены технологические расчеты. Определено количество теплоносителя, необходимого для снятия избыточного тепла процесса адсорбции и поддержания необходимого температурного режима процесса;

Реализация предложенного способа позволит уменьшить потери гранул аммиачной селитры, а также увеличить производительность гран-башни за счет увеличения срока ее безостановочной эксплуатации, который объясняется меньшим количеством аммиачной селитры, налипшей на стенки аппарата.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Производство аммиачной селитры/ Косова Е. Ю., Жданов А.В./ Рос. хим. ж. (Ж. Рос. хим. об-ва им. Д.И. Менделеева), 2006, т. L, № 3.
2. Жмай Л., Христианова Е. Аммиачная селитра в России и в мире. Современная ситуация и перспективы // Мир серы, N, P и K. – 2004, № 2, с. 8-12.
3. Фотинич И.Д. Производство азотных удобрений/ Под ред. В. Б. Левинского. – М.: Госхимиздат, 1956.
4. Аммиачная селитра в России и мире. Современная ситуация и перспективы/ Л. Жмай, Е. Христианова, ООО «Азотэкон». Мир серы, N, P и K, выпуск 2, 2004 г.
5. Технология неорганических веществ и минеральных удобрений/ Курс лекций. Нижний Новгород, 2007.
6. Теория процесса слеживаяния гранулированной аммиачной селитры и возможные пути борьбы со слеживаемостью/ Н.П. Курин. Известия Томского ордена трудового красного знамени политехнического института, Т. №71, Томск, 1952.
7. Gaggioli,R.A., Sama,D.A., Qian,S.&El-Sayed,M. (1991). Integration of a New Process into an Existing Site: A case Study in the Application of Exergy Analysis, J.of Engineering for Gas Turbines and Power; 113,170-183.
8. Kirova-Yordanova,Z. Energy Integration in Chemical Plants: The Pros and Cons. A Second Law-Based Evaluation of Industrial Experience. PI'99. Proceedings of the International Conference on Process Integration.Copenhagen, Denmark, Vol. 2, 1999. pp. 78-80.

9. Kirova-Yordanova,Z. Application of the exergy method to environmental impact estimation: The nitric acid production as a case study, Energy 36, 2011. 3733-3744.
10. Kirova-Yordanova,Z., Hrusulev,G., Atanasova,L. Exergy Analysis of Ammonia Plants: A Comparison of Energy-Integrated and Non-Integrated Plants.ECOS'95: Proceedings of the ASME International Conference Efficiency, Costs, Optimization, Simulation and Environmental Impact of Energy Systems.Istanbul, Turkey,Vol. 1, 1995. p.237 – 242.
11. Linnhoff,B.,Alanis,F.J. Integration of a New Process into an Existing Site: A case Study in the Application of Pinch Technology, J.of Engineering for Gas Turbines and Power,113, 1991. p. 159-169.
12. Szargut,J., Morris, D.R.,Steward, F.R. Exergy Analysis of Thermal, Chemical and Metallurgical Processes, New York, NY: Hemisphere Publishing Co, 1998
13. Постоянный технологический регламент №3 производства селитры аммиачной и КАС цеха № 3. Том I/ ПАО «КуйбышевАзот», г. Тольятти. 2017.
14. Патент RU83712U1. Установка для осушки сжатого воздуха. Л. Г. Кузнецов, А.А. Ефремов, А.В. Бураков. 2009.
15. И.Л. Кнунянц.. Краткая химическая энциклопедия/ М.: ГНИ Советская энциклопедия, 1967. 1184 с.
16. Касаткин, А.Г. Основные процессы и аппараты химической технологии : Примеры и справочные таблицы / А.Г. Касаткин. – М. ; Л. : Гос. научно-техн. изд-во хим. лит., 1941. – 251 с.
- 17 Краткий справочник физико-химических величин / Под редакцией К.П. Мищенко и А.А. Равделя, - Л.: Химия, 1974 г.

18. Физические свойства наиболее известных химических веществ. Справочное пособие /РХТУ им. Д. И. Менделеева. М., 2003.
19. Гутник С.П. Расчеты по технологии органического синтеза. М: Химия, 1988. – 272 с.
20. Павлов. К.Ф., Романков П.Г., Носков А.А. Примеры и задачи по курсу процессов и аппаратов химической технологии. – Л: Химия, 1987. – 576.
21. Основные процессы и аппараты химической технологии. Пособие по проектированию. Под ред. Ю.И. Дытнерского М: Химия 1991. – 496 с.
23. Общая органическая химия, т.3, азотосодержащие соединения. Пер. с англ. А.Я. Черняк. Под редакцией Н.К. Кочеткова и А.В. Бакиновского. М.: Химия, 1982.