

## АНАЛИЗ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ПРОИЗВОДСТВА АЗОТНОЙ КИСЛОТЫ

**В.А. Ермолаева**, канд. хим. наук, доцент

**Д.М. Поликарпова**, студент

**Муромский институт (филиал) Владимирского государственного университета  
им. А.Г. и Н.Г. Столетовых  
(Россия, г. Муром)**

***Аннотация.** дана характеристика процесса производства азотной кислоты контактным окислением аммиака, также произведена характеристика целевого продукта – азотной кислоты. Рассмотрено и описано основное технологическое оборудование. Произведен расчет материального и теплового баланса производства азотной кислоты. Рассчитаны физические теплоты прихода и расхода, теплоты от экзотермических реакций, теплота, подводимая извне, количество азота, поступающего в систему с потоком воздуха, количество кислорода, расходуемого на окисление аммиака до оксидов азота.*

***Ключевые слова:** азотная кислота, аммиак, материальный и тепловой баланс.*

### **Цель работы**

Азотная кислота – продукт, являющийся одним из исходных продуктов для получения большинства азотосодержащих веществ. Цель работы заключается в изучении технологического процесса производства азотной кислоты с помощью контактного окисления аммиака. При исследовании процесса производства необходимо охарактеризовать целевой продукт, исходное сырье, рассмотреть и описать технологический процесс получения кислоты, описать основное технологическое оборудование, рассчитать тепловой и материальный балансы, рассмотреть контроль производства, изучить вопросы охраны труда и окружающей среды, проблемы утилизации и обезвреживания отходов.

### **Характеристика целевого продукта**

В проведенной работе рассмотрен процесс производства азотной кислоты с помощью контактного окисления аммиака, а также дана характеристика целевого продукта - азотной кислоты.

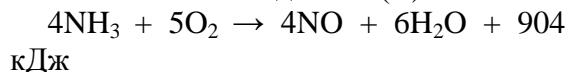
Азотная кислота – это бесцветная жидкость с температурой замерзания - 41°C и температурой кипения 86°C. HNO<sub>3</sub> является сильным окислителем. При её действии многие органические вещества разлагаются, а некоторые воспламеняются. Химические свойства

азотной кислоты увеличиваются, когда она разбавлена. Охарактеризовано исходное сырье. Исходным сырьем является аммиак [1]. Аммиак в обычных условиях - это бесцветный газ вдвое легче воздуха с резким характерным запахом нашатырного спирта, кроме того, ядовит. С кислородом и воздухом способен образовывать взрывоопасные смеси. Аммиак имеет хорошую растворимость в воде и других растворителях.

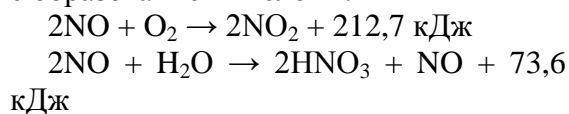
### **Характеристика технологического процесса**

Рассмотрено и описано основное технологическое оборудование и технологический процесс получения азотной кислоты контактным окислением аммиака. Азотную кислоту получают контактным окислением аммиака в две стадии [2]:

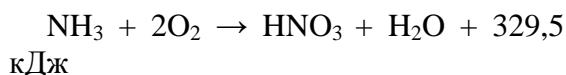
- первая стадия – контактное окисление аммиака в оксид азота (II):



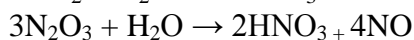
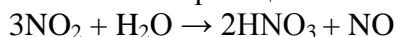
- вторая стадия – окисление NO<sub>2</sub> в высшие оксиды и поглощение их водой с образованием кислоты:



Так, суммарная реакция получения азотной кислоты может быть представлена следующим уравнением:



Процесс образования азотной кислоты описывается реакциями:



Аммиак в жидком виде поступает через ресивер в испаритель, где температура 10–16 °С и давление 0,6 МПа. Далее происходит очищение аммиака в газообразном состоянии от разных механических примесей в фильтре и масла. Затем уже очищенный аммиак направляется в подогреватель, где принимает температуру 80–120 °С. Аммиак и очищенный воздух затем поступают в смесительную камеру контактного аппарата. Образовавшаяся при этом аммиачно-воздушная смесь содержит 9,6–10,0% аммиака. Далее эта смесь поступает на двухступенчатый катализатор. Нитрозные газы при температуре 840–860 °С поступают в котел-утилизатор, который располагается прямо под контактным аппаратом. После котла-утилизатора газы охлаждаются в экономайзере и водяном холодильнике до достижения температуры 55 °С.

При их охлаждении происходит конденсация водяных паров с образованием 40–45%-ной азотной кислоты, которая подается в газовый промыватель, куда же поступают и нитрозные газы. В промывателе одновременно с охлаждением происходит промывка нитрозных газов от нитрит-нитратных солей и дальнейшая конденсация азотной кислоты.

Кислота из нижней части аппарата следует в абсорбционную колонну, а промытые газы сжимаются в компрессоре до давления 11–12,6 Мпа, нагреваясь при этом до 210–230 °С. После сжатия нитрозные газы снова охлаждаются в холодильнике до 155–165 °С на первой ступени. На второй степени требуемая температура снижается до 60–65 °С. Следующий этап - абсорбционная колонна. В верхнюю часть поступает паровой конденсат (H<sub>2</sub>O) с температурой не выше 40 °С. Снизу выходит 58–60%-ная азотная кислота, далее поступающая в продувочную колонну для

удаления растворенных в ней оксидов азота, и затем направляется в хранилище.

Произвели практический расчет материального баланса производства с использованием следующих исходных данных: концентрация продукционной HNO<sub>3</sub> – 50%; H<sub>2</sub>O – 50%, состав аммиачно-воздушной смеси, %: NH<sub>3</sub> – 11%; O<sub>2</sub> – 17 %; N – 67 %; H<sub>2</sub>O – 3; производительность цеха – 180000 т /год; производительность агрегата – 4400 т /год [3,4].

Рассчитали количества прихода и расхода веществ, объемные концентрации, количество водяных паров, кислорода, азота и оксида азота.

Примеры расчетов:

Рассчитываем часовую производительность по формуле:

$$\text{Пч} = \text{П}/24 \cdot 0,965 \cdot 365 = 180000/24 \cdot 0,964 \cdot 365 = 26,416 \text{ т час} = 26416 \text{ кг/час}$$

где П – производительность цеха, т/год; 24 – часов в сутки;

0,965 – коэффициент использования оборудования; 365 – дней в году.

При средней производительности моногидрата азотной кислоты одним агрегатом 4400 т/год количество установок в проектируемом цехе составит:

$$N = \text{Пч}/\text{Пагр} = 26,416/5,130 = 5,14$$

где Пагр – средняя производительность одного агрегата, т/час.

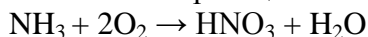
Для обеспечения заданной производительности нужно взять 5 установок, тогда по моногидрату на 1 установку составит:

$$\text{П} = \text{Пч}/N = 26,416/5,1 = 5,1 \text{ т час или } 4400/63 = 69,84 \text{ кмоль}$$

где 63 – молекулярная масса азотной кислоты.

Расчет материального баланса на 1 агрегат в час:

Далее определяем теоретическое количество аммиака необходимого для получения 4,4 т /час моногидрата азотной кислоты по реакции:



Т. к. на получение 1 моль моногидрата кислоты расходуется 1 моль аммиака, то для получения 69,84 кмоль моногидрата соответственно необходимо 69,84 кмоль аммиака. Рассчитаем расход NH<sub>3</sub>

со степенью окисления и абсорбции окислов азота:

$C_{1NH_3} = \Pi/0,96 \cdot 0,98 = 5,236$  кг или 149,22 кмоль

где 0,96 – степень окисления аммиака (доли); 0,98 – степень абсорбции.

Расход сухого воздуха с 10,3 % содержанием аммиака:

149,22 кмоль аммиака соответствует 10,3 % об.

X кмоль воздуха соответствует 89,7 % об.

$X_1 = 1299,51$  кмоль/ час воздуха.

Количество водяных паров, вносимых потоком воздуха при среднем содержании 0,2 % об.:

1299,51 кмоль воздуха – 98,2 % об.

X кмоль воды – 0,2 % об.

$X_2 = 2,64$  кмоль/ час водяных паров.

Количество кислорода, поступающего в систему с потоком воздуха:

$C_{1O_2} = x_1 \cdot 0,21 = 272,89$  кмоль/час

где  $x_1$  – расход сухого воздуха; 0,21 – содержание кислорода в воздухе.

Количество азота, поступающего в систему с потоком воздуха.

$C_{1N_2} = x_1 \cdot 0,79 = 1026,61$  кмоль/час

Где 0,79 – содержание азота в воздухе.

Данные расчета материального баланса производства представлены в сводной таблице 1.

Таблица 1. Приход в контактный аппарат

Компонент	Кмоль	% об.	кг	% вес
Аммиак	149,22	10,27	2541,36	6,33
Кислород	272,89	18,80	4366,07	21,80
Азот	1026,61	70,73	14099,28	71,29
Вода	5,57	0,20	100,34	0,12
Итого:	1454,29	100	21107,05	100

Так же произвели расчет теплового баланса производства азотной кислоты. Исходными данными служат: температура аммиачно–воздушной смеси, температура от сеток с нитрозными газами, тепло газа в котле–утилизаторе. Рассчитали физические теплоты прихода и

расхода, теплоты от экзотермических реакций, подводимую теплоту. Для расчета теплового баланса воспользовались формулами нахождения теплоты и температуры.

Результаты расчетов представлены в сводной таблице теплового баланса.

Таблица 2. Тепловой баланс азотной кислоты контактным окислением аммиака

Статья прихода	кДж	Статья расхода	кДж
Тепло, поступающее с аммиачно – воздушной смесью при $t = 200$ °С	$8,70 \cdot 10^4$	Тепло, уходящее от сеток нитрозными газами при температуре конверсии 900 °С	$3,36 \cdot 10^4$
		Расход тепла на получение пара	$5,20 \cdot 10^4$
Всего	$8,70 \cdot 10^4$	Всего	$8,56 \cdot 10^4$

### Контроль производства и охрана труда

Изучили охрану труда и окружающей среды. В производстве азотной кислоты каталитическим окислением аммиака кислородом воздуха контролируются следующие параметры: температура, концентрация, чистота полученной азотной кислоты.

При производстве кислоты в виде отходов производства образуются "хвостовые" газы, очищаемые реакторами каталитической очистки и вентиляци-

онными выбросами вредных веществ. Кроме того, в цехе существуют вентиляционные выбросы оксидов азота и  $NH_3$  из контактного и машинного отделений, насосной производственной кислоты. Также нужно помнить, что производство азотной кислоты является небезвредным, поэтому для персонала должны применяться средства индивидуальной защиты (СИЗ), к которым относятся: спецодежда, спецобувь, индивидуальный фильтрующий противогаз, рукавицы, защитные очки с резиновой

полумаской, защитный щиток из оргстекла, резиновые кислото-защитные перчатки и специальную кислото-защитную одежду.

#### **Заключение**

Таким образом, в работе исследовали технологический процесс производства азотной кислоты, основное технологическое оборудование, рассчитали материальный и тепловой балансы.

В настоящее время азотная кислота используется очень широко, охватывая многие отрасли промышленности, такие как:

- химическую (изготовление взрывчатых веществ, различных органиче-

ских красителей, пластмасс, натрия, калия, пластмасс, кислот);

- сельскохозяйственную (используется для производства азотных минеральных удобрений); металлургическую (травление и растворение металлов);

- фармакологическую (входит в состав препаратов для удаления кожных образований); ювелирное производство (применяется для определения чистоты драгоценных сплавов и металлов);

- военную (входит в состав взрывчатых веществ как нитрующий реагент);

- ракетно-космическую (является одной из составляющих ракетного топлива).

#### **Библиографический список**

1. Ермолаева В. А., Семочкина К. Ю. Материальный и тепловой баланс производства аммиака из азотоводородной смеси // Наука без границ. 2018. № 4 (21). С. 94-97.

2. Мухленов И.П. Общая химическая технология Портал научно-технической информации [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://nglib.ru/annotation.jsp?book=014935>

3. Ермолаева В.А., Ткачева Д.Р. Материальный и тепловой баланс производства фтористого водорода, Машиностроение и безопасность жизнедеятельности. - 2017. - № 1(31). - с. 5-11.

4. Ермолаева В.А., Лаврова Е.В. Технологические параметры сушки криолита в барабанной сушильной печи, Современные научные исследования и разработки. - 2018. - № 3 (20). - с. 336-339.

## **ANALYSIS OF THE TECHNOLOGICAL PROCESS OF NITRIC ACID PRODUCTION**

**V.A. Ermolaeva**, *candidate of chemical sciences, associate professor*

**D.M. Polikarpova**, *student*

**Murom institute of Vladimir state university A.G. and N.G. Stoletovykh (Russia, Murom)**

**Abstract.** *The characteristic of the process of nitric acid production by contact oxidation of ammonia is given, and the target product, nitric acid, is also characterized. The basic technological equipment is considered and described. The material and heat balance of nitric acid production is calculated. The physical heats of arrival and consumption, heat from exothermic reactions, heat supplied from outside, the amount of nitrogen entering the system with the air flow, the amount of oxygen consumed to oxidize ammonia to nitrogen oxides are calculated.*

**Keywords:** *nitric acid, ammonia, material and heat balance.*