

## МАТЕРИАЛЬНЫЙ И ТЕПЛОВОЙ БАЛАНС ПРОИЗВОДСТВА СИНТЕТИЧЕСКОЙ СОЛЯНОЙ КИСЛОТЫ

Н.А. Гоматин, студент

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

**Аннотация.** Дана характеристика процесса производства синтетической соляной кислоты методом растворения газообразного хлороводорода в воде, а хлороводород, в свою очередь, получается путем сжигания водорода в хлоре, произведена характеристика целевого продукта – соляной кислоты. Охарактеризовано исходное сырье – водород и хлор. Рассмотрено и описано основное технологическое оборудование, и технологический процесс. Произведен практический расчет материального и теплового баланса производства. Рассчитаны физические теплоты прихода и расхода, теплоты от экзотермических реакций, теплота, подводимая извне, количество природного газа, необходимое для наружного обогрева печи. Для расчета теплового баланса использованы формулы нахождения теплоты по удельной теплоемкости, числу молей и температуры веществ. Результаты расчетов представлены в сводных таблицах. Изучена безопасность технологического процесса производства соляной кислоты, вопросы охраны труда и окружающей среды.

**Ключевые слова:** соляная кислота, хлор, водород, материальный и тепловой баланс.

### Цель работы

Цель работы заключается в изучении технологического процесса производства синтетической соляной кислоты. При исследовании производства необходимо охарактеризовать целевой продукт, исходное сырье, рассмотреть и описать технологический процесс получения соляной 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 дана характеристика процесса производства синтетической соляной кислоты методом растворения газообразного хлороводорода в воде, а хлороводород, в свою очередь, получается путем сжигания водорода в хлоре.

Произведена характеристика целевого продукта, соляной кислоты. Соляная кислота (также хлороводородная, хлористоводородная кислота, хлористый водород) — раствор хлороводорода (HCl) в воде, сильная одноосновная кислота. Бесцветная, прозрачная, едкая жидкость, «дымящаяся» на воздухе (техническая соляная

кислота желтоватого цвета из-за примесей железа, хлора и пр.). Молярная масса 36,46 г/моль. Соли соляной кислоты называются хлоридами.

Соляная кислота представляет собой раствор газообразного хлористого водорода HCl в воде. Последний представляет собой гигроскопичный бесцветный газ с резким запахом. Обычно употребляемая концентрированная соляная кислота содержит 36 – 38% хлористого водорода и имеет плотность 1,19 г/см<sup>3</sup>. Такая кислота дымит на воздухе, так как из неё выделяется газообразный хлороводород; при соединении с влагой воздуха образуются мельчайшие капельки соляной кислоты. Она является сильной кислотой и энергично взаимодействует с большинством металлов. Однако такие металлы, как золото, платина, серебро, вольфрам свинец, соляной кислотой практически не травятся.

Охарактеризовано исходное сырье. Исходным сырьем является водород и газообразный хлор. Водород - является одним из наиболее распространенных химических элементов. Основное количество этого элемента находится в связанном состоянии. В виде соединений с углеродом, водород входит в состав нефти, горючих

природных газов и всех организмов. Водород представляет собой газ без цвета и запаха. Характерна для водорода растворимость в некоторых металлах, например, в железе. Хлор - химически активный неметалл. Является типичным представителем галогенов, токсичен, хорошо растворим в воде, при контакте с влажным воздухом начинает дымиться. В природе хлор не встречается в газообразном состоянии, а только в виде соединений с другими газами. В условиях, приближенных к нормальным, это ядовитый едкий газ зеленоватого цвета. Имеет больший вес, чем воздух, поэтому «стелится» по земле. В спокойном состоянии не горит, но при высоких температурах входит во взаимодействие с водородом, после чего возможен взрыв.

#### **Характеристика технологического процесса**

Рассмотрено и описано основное технологическое оборудование, и технологический процесс получения соляной кислоты. Метод получения HCl - газа основан на сжигании водорода в хлоре по данной реакции:



Синтез хлористого водорода происходит из чистого хлора и водорода при очень высокой температуре – более 1500°C в печи с последующей абсорбцией. Теоретическая температура факела пламени равна 2500 °C. Практически, вследствие некоторой диссоциации HCl, температура пламени снижается до 2200-2400 °C. Избыток одного из компонентов газовой смеси (обычно водорода) несколько понижает температуру горения [1].

Хлор и водород подают в печь из отдельных резервуаров. После синтеза образовавшаяся смесь поступает в холодильник где охлаждается до 1500 °C. Из холодильника газ подается в абсорбер где происходит сам процесс превращения газообразного хлороводорода в жидкий. Абсорбция хлористого водорода производится в колоннах при относительно высокой температуре. Затем весь не прореагировавший газ поступает в санитарную башню, которая представляет из себя абсорбционную колонну меньших размеров в ней происходит абсорбция оставшегося газообразного хлороводорода. Абсорбция хлористого водорода водой при соблюдении указанных условий проходит почти нацело. Лишь незначительная часть хлористого водорода (около 0,52 %), поступившего на абсорбцию, остается непоглощенной, и ее необходимо обезвреживать. Для получения химически чистой соляной кислоты иногда устанавливают кварцевые абсорберы. Абсорбция хлористого водорода из холодных газов дает более высокую концентрацию получаемой кислоты, так как улучшается тепловой баланс. Полученная соляная кислота собирается в баллоны и отвозится на склад.

Произвели практический расчет материального баланса производства соляной кислоты [2,3]. По следующим исходным данным: масса начального продукта, концентрация готового продукта, процент чистоты поступающего в печь хлора и водорода, избыток подаваемого водорода в печь синтеза.

Расчет материального баланса был произведен по следующим формулам:

$$m_{\text{HCl}} = m \cdot \omega \quad (2)$$

$$m_{\text{H}_2\text{O}} = m - m_{\text{HCl}} \quad (3)$$

Таблица 1. Материальный баланс печи синтеза хлороводорода

| Приход          | Количество |                     |       | Расход                      | Количество |                     |       |
|-----------------|------------|---------------------|-------|-----------------------------|------------|---------------------|-------|
|                 | кг         | м <sup>3</sup>      | % об  |                             | кг         | м <sup>3</sup>      | % об. |
| Cl <sub>2</sub> | 3890,4     | 1227,3 <sub>9</sub> | 47,35 | HCl                         | 4000       | 2454,7 <sub>9</sub> | 94,71 |
| При-<br>меси    | 79,4       | 25,05               | 0,96  | При-<br>меси                | 79,4       | 25,05               | 0,97  |
| H <sub>2</sub>  | 119,6      | 1339,5 <sub>2</sub> | 51,67 | Избы-<br>ток H <sub>2</sub> | 7,8        | 87,36               | 3,37  |
| Итого           | 4089,4     | 2591,9 <sub>6</sub> | 99,99 | Итого                       | 4087,2     | 2591,9 <sub>6</sub> | 99,05 |

Невязка баланса 0,94%

Таблица 2. Материальный баланс абсорбера HCl

| Приход                      | Количество          |                     |       | Расход                      | Количество          |                     |       |
|-----------------------------|---------------------|---------------------|-------|-----------------------------|---------------------|---------------------|-------|
|                             | кг                  | м <sup>3</sup>      | % об  |                             | кг                  | м <sup>3</sup>      | % об  |
| HCl                         | 4000                | 874,47              | 34,74 | HCl                         | 4000                | 874,47              | 34,74 |
| При-<br>меси                | 79,4                | 25,05               | 0,92  | При-<br>меси                | 79,4                | 25,05               | 0,92  |
| Избы-<br>ток H <sub>2</sub> | 7,8                 | 87,36               | 3,37  | Избы-<br>ток H <sub>2</sub> | 7,8                 | 87,36               | 3,37  |
| H <sub>2</sub> O            | 6385,2              | 1580,3 <sub>2</sub> | 60,97 | H <sub>2</sub> O            | 6385,2              | 1580,3 <sub>2</sub> | 60,97 |
| Итого                       | 10472, <sub>4</sub> | 2591,9 <sub>6</sub> | 100   | Итого                       | 10472, <sub>4</sub> | 2591,9 <sub>6</sub> | 100   |

Сделали расчет теплового баланса производства соляной кислоты на стадии абсорбции хлороводорода в абсорбере после сжигания в печи исходных газов. Исходными данными служат: теплоемкость воды и хлороводорода, температура воды на входе, температура HCl идущего на абсорбцию, тепловой эффект абсорбции хлороводорода, температура в процессе абсорбции, удельная теплота парообразо-

вания, температура соляной кислоты на выходе, тепловые потери.

Расчет был произведен по уравнению теплового баланса:

$$Q_{ф.п} + Q_a = Q_{и.в} + Q_{ф.р} + Q_{п} \quad (2)$$

где:  $Q_{ф.п}$  – физический приход теплоты;  $Q_a$  – теплота абсорбции;  $Q_{и.в}$  – теплота испарения воды;  $Q_{ф.р}$  – физический расход теплоты;  $Q_{п}$  – тепловые потери.

Таблица 3. Тепловой баланс абсорбера HCl

| Приход                 | Q, МДж | %     | Расход              | Q, МДж | %     |
|------------------------|--------|-------|---------------------|--------|-------|
| с HCl                  | 559,0  | 33,37 | с HCl               | 627,0  | 37,46 |
| с H <sub>2</sub> O     | 810,0  | 48,36 | испарение           |        |       |
| теплота абсорб-<br>ции | 306,0  | 18,27 | H <sub>2</sub> O    | 911,0  | 54,42 |
|                        |        |       | потери теп-<br>лоты | 136    | 8,12  |
| Итого                  | 1675   | 100   | Итого               | 1674   | 100   |

Невязка баланса 0,0066%

Изучили охрану труда и окружающей среды. Все работы с соляной кислотой должны проводиться в спецодежде и оч-

ках, так же все рабочие должны быть обеспечены промышленными фильтрующими противогазами. В случае разлива ее

смывают большим количеством воды или щелочного раствора. Производство синтетической соляной кислоты не влияет на окружающую среду т.к. при производстве не образуется никаких отходов, отсюда следует, что производство синтетической соляной кислоты является экономным и

безвредным для окружающей среды методом производства [3].

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

#### Библиографический список

1. Мухленов И.П. Общая химическая технология Портал научно-технической информации [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://nglib.ru/annotation.jsp?book=014935>
2. Ермолаева В.А., Семочкина К.Ю. Материальный и тепловой баланс производства аммиака из азотоводородной смеси // Наука без границ. – 2018. – №4 (21). – С. 94-97.
3. Ермолаева В.А., Ткачева Д.Р. Материальный и тепловой баланс производства фтористого водорода, Машиностроение и безопасность жизнедеятельности. – 2017. – №1 (31). – С. 5-11.

### MATERIAL AND THERMAL BALANCE OF PRODUCTION OF SYNTHETIC HYDROCHLORIC ACID

N.A. Gomatin, *student*

Murom institute (branch) Vladimir state university  
(Russia, Murom)

**Abstract.** *The process of production of synthetic hydrochloric acid by the method of dissolving gaseous hydrogen chloride in water is given, and hydrogen chloride, in turn, is obtained by burning hydrogen in chlorine, the target product is hydrochloric acid. The starting material is hydrogen and chlorine. The main technological equipment and technological process are considered and described. The practical calculation of the material and heat balance of production is made. The physical heats of arrival and consumption, heat from exothermic reactions, heat supplied from outside, the amount of natural gas necessary for external heating of the furnace are calculated. To calculate the heat balance, the formulas for determining the heat by specific heat, number of moles and temperature of substances are used. The results of calculations are presented in summary tables. The safety of the technological process of production of hydrochloric acid, the issues of labor protection and the environment was studied.*

**Keywords:** *hydrochloric acid, chlorine, hydrogen, material and heat balance.*