

**ИССЛЕДОВАНИЕ ГИДРОДИНАМИКИ И МАССООБМЕНА
В КОЛОННОМ АППАРАТЕ С НАСАДКОЙ ПВН**

Чагин О.В., Колобов М.Ю., Миронов Е.В.

Чагин Олег Вячеславович, Колобов Михаил Юрьевич, Миронов Евгений Викторович
Ивановский государственный химико-технологический университет,
г. Иваново, Россия. 153000, Ивановская область, г. Иваново, пр. Шереметевский, д. 7.
E-mail: chagin@isuct.ru, mikhailkolobov@rambler.ru, mironov_81@mail.ru

Статья посвящена исследованию влияния режимных параметров работы колонного аппарата с насадкой ПВН на гидравлическое сопротивление аппарата и на эффективность очистки технологических выбросов от аммиачной селитры и свободного аммиака. Экспериментальная установка позволяет также снизить температуру орошающей жидкости до значений $15\div 25^{\circ}\text{C}$, что существенно улучшает условия газоочистки.

Ключевые слова: очистка газовых выбросов, скруббер, пакетная вихревая насадка

**STUDY OF HYDRODYNAMICS AND MASS TRANSFER
IN COLUMN APPARATUS WITH PVN NOZZLE**

Chagin O.V., Kolobov M.Yu., Mironov E.V.

Chagin Oleg Vyacheslavovich, Kolobov Mikhail Yurievich, Mironov Evgeniy Viktorovich
Ivanovo State University of Chemical Technology,
Ivanovo, Russia. 153000, Ivanovo region, Ivanovo, Sheremetevsky ave., 7.
E-mail: chagin@isuct.ru, mikhailkolobov@rambler.ru, mironov_81@mail.ru

The article is devoted to the study of the influence of operating parameters of a column apparatus with a PVN packing on the hydraulic resistance of the apparatus and on the efficiency of purification of process emissions from ammonium nitrate and free ammonia. The experimental installation also makes it possible to reduce the temperature of the irrigating liquid to $15\div 25^{\circ}\text{C}$, which significantly improves the conditions for gas purification.

Keywords: purification of gas emissions, scrubber, batch vortex nozzle

Для химических предприятий по производству различных видов гранулированных минеральных удобрений эффективность очистки газовых выбросов является не только задачей экологической, но и экономической, позволяющей улавливать целевой продукт. Для производств минеральных удобрений целесообразно использовать мокрые способы очистки поскольку выбросы могут иметь температуру более 100°C и зачастую содержат кислые компоненты [1], при этом мокрые способы отличаются наименьшими эксплуатационными затратами [2]. Известно, что для улавливания частиц удобрений, а также газов, таких как аммиак, целесообразно использовать высокоэффективные скрубберы, снабженные структурированными контактными устройствами [3–6].

Для проведения исследований по очистке технологических выбросов производства аммиачной селитры в аппарате с высокоинтенсивной па-

кетной вихревой насадкой (ПВН) [7–9] была создана экспериментальная установка, позволяющая проводить исследования как гидравлического сопротивления насадочного слоя, так и процесса массообмена в аппарате с данной насадкой. Общий вид установки показан на рис. 1, а схема установки - на рис. 2.

Испытания проводились на секции скруббера №5 агрегата №2 цеха по производству аммиачной селитры ПАО «ДОРОГОБУЖ» (п. Верхнеднепровский, Смоленская обл.).

Установка состоит из скруббера 2 с пакетной вихревой насадкой 4, насоса 8 для подачи абсорбционной жидкости через ороситель 3, ёмкости исходной жидкости 7, ёмкости для сбора насыщенной жидкости 12, вентилятора 10, создающего разрежение и просос воздуха, а также систем измерения расходов орошающей жидкости 5.



Рис. 1. Общий вид установки
Fig. 1. General view of the installation

Установка состоит из скрубера 2 с пакетной вихревой насадкой 4, насоса 8 для подачи абсорбционной жидкости через ороситель 3, ёмкости исходной жидкости 7, емкости для сбора насыщенной жидкости 12, вентилятора 10, создающего разрежение и просос воздуха, а также систем измерения расходов орошающей жидкости 5.

Установка работает следующим образом. Смесь воздуха с примесями подается во входной, тангенциально расположенный патрубок, находящийся в нижней части колонны. Необходимая плотность орошения устанавливается при помощи регулирующих вентилях, а ее расход контролировался при помощи расходомера 5. Раствор на орошения подавался насосом 8. Для уменьшения уноса рабочей жидкости в верхней части колонны установлен каплеотбойник 1.

Для протяжки газовой фазы установлен вентилятор 10 с регулировкой оборотов преобразователем частоты. На выходе из вентилятора смонтирована труба диаметра 150 мм с пробоотборным узлом.

На входе и выходе из аппарата выдержан норматив прямолинейных участков с целью соблюдения чистоты отбора проб.

Требуемый расход газового потока устанавливался запорно-регулирующей арматурой и контролировался расходомерным устройством 9, включающим в себя измерительную диафрагму 11 и жидкостной дифференциальный манометр. Абсорбент собирался в нижней части колонны и отводился в сборную емкость 7. В качестве массообменного устройства в абсорбере была применена высокоэффективная массообменная пакетная вихревая насадка 2, высота которой варьировалась в пределах 1900÷2100 мм.

Проведены три этапа испытаний

Конфигурация экспериментальной установки в зависимости от этапа испытаний представлены в таблице 1. Испытания аппарата проводились в закрытом помещении при температуре окружающей среды в пределах 15÷28оС и давлении атмосферного воздуха в пределах 730÷760 мм.рт.ст.

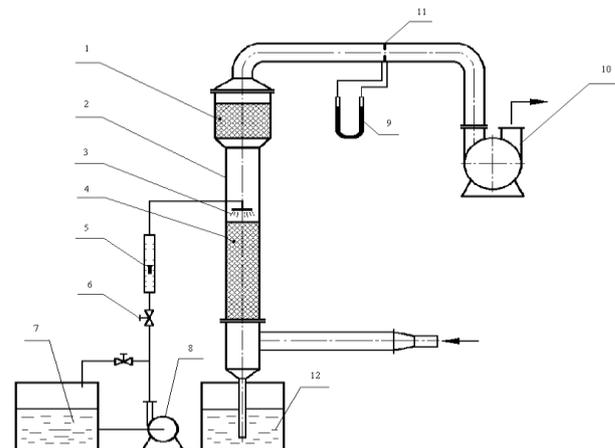


Рис. 2. Схема экспериментальной установки:

1 – каплеотбойник; 2 – скруббер; 3 – ороситель; 4 – пакетная насадка; 5 – расходомер жидкой фазы; 6 – вентиль; 7 – ёмкость исходного раствора; 8 – вентилятор; 9 – расходомерное устройство; 10 – вентилятор; 11 – измерительная диафрагма; 12 – емкость для сбора жидкости.

Fig. 2. Experimental setup diagram:

1 – drip eliminator; 2 – scrubber; 3 – sprinkler; 4 – packet nozzle; 5 – liquid phase flow meter; 6 – valve; 7 – capacity of the initial solution; 8 – fan; 9 – flow measuring device; 10 – fan; 11 – measuring diaphragm; 12 – capacity

Результаты промышленных экспериментальных исследований представлены в таблице 2.

Сравнительные характеристики начальной орошающей жидкости, а так же орошающей жидкости на выходе из аппарата с пакетной вихревой насадкой приведены в таблице 3.

Таблица 1

**Характеристики экспериментальной установки
Table 1. Characteristics of the experimental setup**

Требование	Этап I	Этап II	Этап III
Диаметр впускного коллектора, мм	100	150	150
Диаметр выпускного коллектора, мм	100	150	150
Расстояние точки забора технологических выбросов от стенки скруббера, мм	0	1350	1350
Расположение вентилятора	Нагнетание	Вытяжка	Вытяжка
Обороты вентилятора об/мин.	3000	4200	4800
Расположение пробоотборника на входе	Вертикально	Вертикально	Горизонтально
Расположение пробоотборника на выходе	Горизонтально	Горизонтально	Горизонтально
Эффективная высота насадки, мм	2100	1900	1900
Максимальная плотность орошения, м ³ /м ² в час	60	100	140
Максимальная скорость потока газовой фазы в колонне, м/с	3,4	4,8	5,2

Таблица 2

**Результаты промышленных экспериментальных исследований
Table 2. Results of industrial experimental studies**

№ эксперимента	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Содержание ам.селитры на входе, мг/м ³	1803,2	1872,6	576,8	600*	600*	604,7	358,3	358,3	358,3
Содержание аммиака на входе, мг/м ³	148,8	108,6	69	70*	70*	23,6	70,5	70,5	70,5
Содержание ам. селитры на выходе, мг/м ³	39,9	83,23	11,29	28,04	14,8	38,6	9,0	6,0	6,0
Содержание аммиака на выходе, мг/м ³	2,16	6,38	2,32	1,73	1,96	0,02	-	-	-
Скорость газовой фазы в колонне, м/с	3,1	3,1	3,1	2,6	3,5	2,7	2,6	2,6	2,6
Плотность орошения, м ³ /м ²	100	60	100	100	100	100	100	100	100
Перепад давления на колонне, Па	2700	2700	2700	2100	2900	2300	2100	2100	2100
Комментарии	Перекрыт шибер вентилятора действующего скруббера на 75% с целью увеличения концентрации выбросов.								

*- данные не замерялись. Значения приведены по результатам предыдущих измерений.

Сравнительные характеристики
Table 3. Comparative characteristics

№ п/п	Наименование показателя	Норма согласно технологическому регламенту	Результаты испытаний, $X \pm \Delta$	
			Начальная орошающая жидкость	Орошающая жидкость на выходе из Скруббера с ТН
1	2	3	4	6
1	Массовая концентрация аммиачной селитры (NH_4NO_3), %	не более 25	17,7	19,3
2	Массовая концентрация азотной кислоты свободной (HNO_3), г/дм^3	не более 20	0,059	0,059

В результате исследований достигнута массовая концентрация аммиачной селитры в исходящем газе после абсорбции – $16,3 \text{ мг/м}^3$, при этом КПД очистки составил $\eta=96,7\%$, массовая концентрация свободного аммиака на выходе – $1,5 \text{ мг/м}^3$, при этом КПД очистки составил $\eta=97,6\%$.

Определён оптимальный режим скруббера:

- 1) скорость газовой фазы в колонне - $2,6 \text{ м/с}$,
- 2) плотность орошения - $100 \text{ м}^3/\text{м}^2$,
- 3) перепад давления на колонне - 2100 Па .

Скруббер снабжен собственным каплеотбойником, поэтому не нуждается в установке каплеулавливателей в виде тканевых шатров. В соответствии с ГОСТ 27.002-89 работоспособность скруббера с пакетной вихревой насадкой в цикле производственных испытаний доказана.

Экспериментальная установка позволяет также снизить температуру орошающей жидкости до значений $15\div 25^\circ\text{C}$, что существенно улучшает условия газоочистки и уменьшает парение, особенно в холодное время года.

Полученные результаты содержания аммиачной селитры и свободного аммиака существенно ниже нормативных требований, что позволяет уменьшить высоту насадки в скруббере и, соответственно, снизить сопротивление по газовой фазе.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов, требующего раскрытия в данной статье.

The authors declare the absence a conflict of interest warranting disclosure in this article.

ЛИТЕРАТУРА

1. Чернышев А.К., Левин Б.В., Туголуков А.В. и др. Аммиачная селитра: свойства, производство, применение. М.: ЗАО «Инфохим», 2009. 544 с.
2. Страус В. Промышленная очистка газов. Пер. с англ. Ю.Я. Косого. М.: Книга по требованию, 2012. 616 с.
3. Тимонин А.С. Инженерно-экологический справочник. В 3-х т. Калуга: Изд-во Н. Бочкаревой, 2003. Т. 1. 915 с.
4. Олевский В.М. Технология аммиачной селитры. М.: Химия, 1978. 312 с.
5. Плановский А.Н. Процессы и аппараты химической технологии. М: Химия, 1968. 847 с.
6. Ужов В.Н., Вальдберг А.Ю., Мягков Б.И., Решидов И.К. Очистка промышленных газов от пыли. М.: Химия, 1981. 392 с.
7. Сиволецкий М.О., Чагин О.В., Блиничев В.Н., Колобов М.Ю. Математическое описание процесса смешения в статистическом смесителе с использованием вихревого смешивающего устройства. *Российский химический журнал*. 2019. Т. LXIII, № 3–4. С. 80–85. DOI: 10.6060/rcj.2019633.11

REFERENECES

1. Chernyshev A.K., Levin B.V., Tugolukov A.V. and others. Ammonium nitrate: properties, production, application. M.: ZAO "Infokhim", 2009. 544 p.
2. Ostrich V. Industrial gas purification. Per. from English Yu.Ya. Oblique. M.: Book on demand, 2012. 616 p.
3. Timonin A.S. Engineering and environmental reference book. In 3 volumes. Kaluga: Publishing house N. Bochkareva, 2003. T. 1. 915 p.
4. Olevsky V.M. Ammonium nitrate technology. M.: Khimiya, 1978. 312 p.
5. Planovsky A.N. Processes and apparatus of chemical technology. M: Chemistry, 1968. 847 p.
6. Uzhov V.N., Valdberg A.Yu., Myagkov B.I., Reshidov I.K. Purification of industrial gases from dust. M.: Khimiya, 1981. 392 p.
7. Sivolotsky M.O., Chagin O.V., Blinichev V.N., Kolobov M.Yu. Mathematical description of the mixing process in a statistical mixer using a vortex mixing device. *Russian chemical journal*. 2019. Vol. LXIII, N 3–4. P. 80–85. DOI: 10.6060/rcj.2019633.11

8. **Чагин О.В., Блиничев В.Н., Колобов М.Ю.** Эффективность процесса мокрого пылеулавливания в аппаратах с различными типами контактных устройств. *Современные наукоемкие технологии. Региональное приложение*. 2021. № 2(66). С. 89–93. DOI:10.6060/snt.20216602.00012
9. **Блиничев В.Н., Лабутин А.Н., Зуева Г.А., Колобов М.Ю., Алексеев Е.А., Волкова Г.В., Воробьев С.В., Козлов А.М., Кокурина Г.Н., Лысова М.А., Миرونнов Е.В., Натареев С.В., Невиницын В.Ю., Пономарева Ю.Н., Постникова И.В., Сахаров С.Е., Чагин О.В.** Проблемы разработки энерго- и ресурсосберегающих процессов, реакторных систем и оборудования интенсивного действия, моделирования и оптимального управления. *Изв. вузов. Химия и хим. технология*. 2023. Т. 66. Вып. 7. С. 185–202. DOI: 10.6060/ivkkt.20236607.6845j.
8. **Chagin O.V., Blinichev V.N., Kolobov M.Yu.** Efficiency of the wet dust collection process in devices with various types of contact devices. *Modern high technology. Regional application*. 2021. N 2(66). P. 89–93. DOI:10.6060/snt.20216602.00012
9. **Blinichev V.N., Labutin A.N., Zueva G.A., Kolobov M.Yu., Alekseev E.A., Volkova G.V., Vorobyov S.V., Kozlov A.M., Kokurina G.N., Lysova M.A., Mironov E.V., Natareev S.V., Nevinityn V.Yu., Ponomareva Yu.N., Postnikova I.V., Sakharov S.E., Chagin O.V.** Problems of the development of energy- and resource-saving processes, reactor systems and equipment of intense action, modeling and optimal management. *ChemChemTech [Izv. Vyssh. Uchebn. Zaved. Khim. Khim. Tekhnol.]*. 2023. V. 66. N 7. P. 185–202. DOI: 10.6060/ivkkt.20236607.6845j.

Поступила в редакцию 15.01.2024
Принята к опубликованию 18.02.2024

Received 15.01.2024
Accepted 18.02.2024