

УДК 66-936.42

Профессор С.Ю. Панов, аспирант М. Химвинга,
соискатель А.В. Зинковский

(Воронеж. гос. ун-т. инж. технол.) кафедра машин и аппаратов химических производств.
тел. (473) 249-91-13

E-mail: sergey.panov@mail.ru, kafedra-mahp@mail.ru

Professor S.Iu. Panov, graduate M. Himwiinga,
applicant A.V. Zinkovskii

(Voronezh state university of engineering technology) Department of machines and apparatus in
chemical industries. phone (473) 249-91-13

E-mail: sergey.panov@mail.ru, kafedra-mahp@mail.ru

Повышение эффективности аппарата распылительного типа при решении проблем промышленной экологии

Improving the efficiency of spray type devices when solving problems in industrial ecology

Реферат. Выполненная работа направлена на повышение эффективности скруббера распылительного типа путем совмещения процессов и улучшения гидравлической обстановки в аппарате. Поставленная задача решается разработкой двухступенчатой системы очистки пиролизного газа на базе эжекторных скрубберов. Их преимущество – центральный форсуночный подвод, что позволяет скрубберу действовать по принципу эжекторного насоса. Каплеулавливающее устройство разработанного аппарата расположено в корпусе аппарата и представляет собой цепи, подвешенные на хомуте, смонтированном в нижней части горловины трубы посредством штырей и двух разъемных соединений. Работу скруббера проверяли на примере абсорбционной очистки газов от оксида серы. В качестве хемосорбента было принято решение использовать карбонат кальция, полученный в качестве побочного продукта при производстве нитроаммофоски на заводе ОАО «Минудобрения». Предварительные результаты показывают, что при стехиометрическом соотношении Ca/S на входе равном примерно 2,0 выброс SO_2 снижается на 80-90 %, что значительно больше, чем намечалось – 70 % что соответствовало остаточной концентрации менее 30 мг/м³. Отчасти это объясняется большей степенью улавливания и отложение сорбента на цепной завесе (не более 20 мг/м³). Предложенный аппарат для очистки газов позволяет: повысить эффективность очистки газов; повысить надежность работы; повысить степень очистки газового потока без применения дополнительного оборудования; снизить металлоемкость и сложность конструкции; удешевить процесс очистки; упростить конструкцию аппарата.

Summary. This carried out work is aimed enhancing the efficiency of the spray scrubber by combining processes and improving hydraulic conditions in the device. The problem of treating waste gases is often characterized by unique features and the significant factor that makes it difficult to find a solution to the problem of treatment is the low and/or variable concentration of the pollutant. With a removal efficiency of up to 98 %, wet treatment technology in scrubber type devices is the only practical method advantageous to the treatment of waste gases. The set objective is solved by developing a two-stage treatment system for pyrolysis gas based on ejector scrubbers. Their advantage - a central nozzle supply that allows the scrubber to operate on the principle of an ejector pump. A drift eliminator of the developed device is located on the case unit and a chain is suspended from a clamp mounted on the lower part of the tube neck by pins and two detachable joints. The operation of the scrubber was checked in compliance with the absorption gas treatment of sulfur dioxide. A chemical sorbent, calcium carbonate which is produced as a by-product in the manufacture of nitroammophos at JSC "Minudobrenia" factory is used. Preliminary results indicate that the stiochiometric inlet ratio of Ca/S equals about 2.0 and SO_2 emissions reduce by 80-90 %, significantly larger than the planned 70 % and subsequently corresponds to the residue concentration of less than 30 mg/m³. This is explained by the greater degree of capture and deposition of the sorbent on the chain curtain (not more than 20 mg/m³). The proposed device for treating gases enables: improvement in the efficiency of gas treatment; increased reliability; increase in the degree of treatment of the gas flow without the use of additional equipment; reduction in metal and design complexity; reduction on the cost of the treatment process and simplification in the device design.

Ключевые слова: очистка газов, повышение эффективности, диоксид серы, абсорбция, скруббер, эжектор

Keywords: gas purification, improvement of the efficiency, sulfur dioxide, absorption, scrubber, ejector

Защита воздушного бассейна от промышленных выбросов – это актуальная проблема в настоящее время. Ежегодно на земном шаре в воздух выбрасывается 250 млн. т золы, десятки миллионов тонн сернистого газа, оксидов азота и других веществ, способных загрязнить большие территории, сделать

их непригодными для жизни людей, животных и растений, вызвать коррозию металла машин, строений и аппаратов. Наиболее радикальная защита воздуха от газовых выбросов – совершенствование производственных процессов их очистки [1-3].

© Панов С.Ю., Химвинга М., Зинковский А.В., 2014

Проблема очистки отходящих газов часто характеризуется своеобразными особенностями: газы, выбрасываемые в атмосферу, имеют высокую температуру, содержат большое количество пыли, улавливание которой представляет значительные трудности (особенно при необходимости высокой степени очистки). Существенным фактором, затрудняющим разрешение проблемы очистки является низкая и/или переменная концентрация вредного компонента.

В настоящее время основной вклад в загрязнение атмосферного воздуха дымовыми газами на территории России вносят следующие отрасли: теплоэнергетика (тепловые и атомные электростанции, промышленные и городские котельные и др.), далее предприятия черной металлургии, нефтедобычи и нефтехимии, автотранспорт, предприятия цветной металлургии и производство строительных материалов (таблица 1) [2].

С 1 июля 2004 г. для действующих ТЭС европейской части России введены нормы II Протокола Международной конвенции о трансграничном переносе (МКТП) загрязняющих веществ [4]. С установлением новых стандартов проблема очистки газовых выбросов стала более актуальной, особенно если учитывать то обстоятельство, что количество выбросов в Российской Федерации намного превышает аналогичные показатели в европейских странах (таблица 1).

Т а б л и ц а 1

Суммарные выбросы загрязняющих веществ в европейских странах за 2010 г.

Страна	Загрязнитель			
	SO _x	NO _x	NH ₄	Летучие органические соединения
Россия	1302	2369	830	2081
Германия	449	1323	548	1053
Великобритания	406	1106	284	789
Франция	262	1080	645	852
Италия	210	964	379	1080
Швеция	34	161	52	197

Очистка выбросов от загрязняющих веществ включает в себя различные методы, например, абсорбционный, адсорбционный, термическое дожигание [3]. С эффективностью очистки до 98 % технология мокрой очистки в аппаратах скрубберного типа является единственным практически выгодным методом для очистки отходящих газов [5].

Основными недостатками тарельчатого и насадочного скруббера является то, что они могут забиваться, а также образование осадка на тарелках и насадках. Данных недостатков лишены аппараты распылительного типа, в частности эжекторные скрубберы.

Задачей нашего исследования является разработка конструкции аппарата распылительного типа и изучение процесса химической очистки газовых выбросов.

Поставленная задача решается разработкой двухступенчатой системы очистки пиролизного газа на базе эжекторных скрубберов. Их преимущество – центральный форсуночный подвод, что позволяет скрубберу действовать по принципу эжекторного насоса. Для решения поставленной задачи были рассмотрены и проанализированы уже существующие разработки.

Технологическая схема установки со скруббером представлена на рисунке 1.

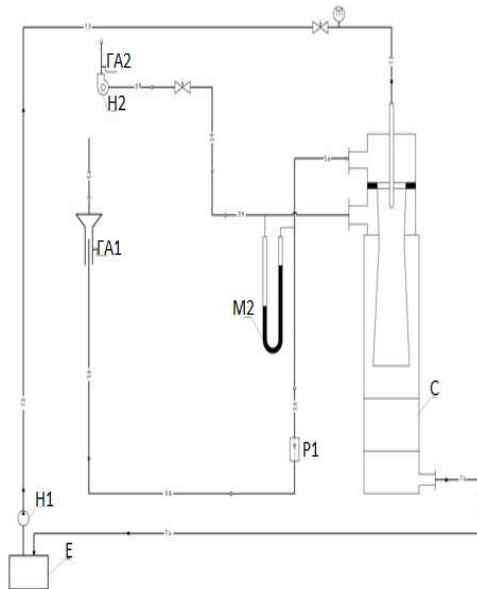


Рисунок 1. Схема экспериментальной установки.

Загрязненный газ, содержащий оксиды серы, равномерно подается в аппарат. Также при входе происходит измерение начальной концентрации оксидов серы газоанализатором (GA1). Далее газ попадает в камеру смешения эжекторного скруббера (C). В скруббере происходит взаимодействие с раствором сорбента. Сорбент подается насосом (H1) из емкости (E) и эжектируется через форсунку в камеру смешения. Отработанный сорбент сливается через патрубок в емкость (E). Очищенный газ с помощью вентилятора (H2) выводится в атмосферу. Концентрация оксидов серы на выходе контролируется газоанализатором (GA2).

Расход подаваемого воздуха определяется ротаметром (P). Гидравлическое сопротивление

ление эжекторного скруббера измеряется дифференциальным манометром (М2).

Фотография и схема скруббера представлены на рисунке 2.

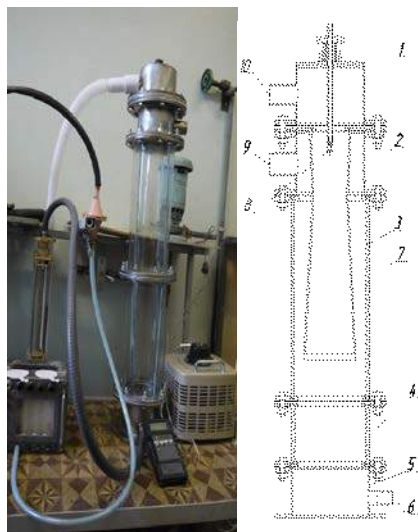


Рисунок 2. Фото и схема эжекторного скруббера

Аппарат для мокрой очистки газов представляет собой аппарат цилиндрической формы, состоит из цилиндрического корпуса, состоящего из нескольких секций 1-5 с плоским дном и патрубками для вывода шлама 6 и очищенного газа 10, встроенного в корпус контактного устройства, состоящего конфузорно-диффузорной трубы 7, форсунки 8. Каплеулавливающее устройство расположено в корпусе аппарата и представляет собой цепи, подвешенные на хомуте, смонтированном в нижней части горловины посредством штырей и двух разъемных соединений (на рисунке не показано) [6].

Камера смешения состоит из служащего для увеличения скорости газа конфузора, в котором размещено сопло (форсунка), горловины, где происходит взаимодействие газовых вредных компонентов с сорбентом и протекают процессы коагуляции, а также за счет снижения скорости восстанавливается часть давления, затраченного на создание высокой скорости газа.

Сечения конфузора и горловины в камере смешения подобраны таким образом, чтобы создать условия для эжекции газов первичным высоконапорным потоком.

Жидкость вытекает из форсунки 8 с большой скоростью в виде струи, которая дробится на капли, и которые образуют в сечении горловины трубы 7 капельную завесу, аналогичную по своим характеристикам фильтровальной зернистой насадке. Твердые частицы и газовые молекулы, движущиеся в газовом потоке, проходя

сквозь капельную завесу, улавливаются каплями в результате столкновения. На одной капле могут осаждаться несколько частиц, то есть происходит динамическая коагуляция.

Капли воды распыляются на мелкие частицы в виде тумана и заполняют весь объем конфузора трубы 7, через патрубок из камеры всасывания поступает газ с частичками пыли которые захватываются каплями воды и под действием силы тяжести подаются вниз и выводятся через патрубок вывода шлама, очищенный газ выводится из аппарата.

Далее капли жидкости попадают на каплеулавливающее устройство, осаждаются на цепях и стекают по ним в виде пленки. Газ, поступая в каплеулавливающее устройство, проходит дополнительную очистку за счет взаимодействия с пленкой жидкости на цепях. Далее под действием гравитационных сил происходит осаждение жидкости с уловленной пылью в днище аппарата.

Расчет гидравлического сопротивления цепного каплеулавливающего слоя выполнен на основе определения эквивалентного диаметра каналов такого слоя d_{Σ} и диаметре элемента (звена цепи) d_3 . Расчет значений d_{Σ} и d_3 приведен в таблице 2.

Т а б л и ц а 2

Расчет значений эквивалентного диаметра d_{Σ} для слоя из цепей

Звено	Пористость слоя из цепей, ε	Объем одного звена, V_0 , м ³	Число звеньев, n , 1/м ³	Поверхность одного звена, f_0 , м ²	Удельная поверхность, a , м ² /м ³	Эквивалентный диаметр d_{Σ} , м	Диаметр фильтрующего элемента (звена), d_3 , м
Ø4x28 мм	0,72	$1,104 \cdot 10^{-6}$	$2,53 \cdot 10^5$	$1,1 \cdot 10^{-3}$	$2,78 \cdot 10^2$	$1,03 \cdot 10^{-2}$	$7,69 \cdot 10^{-3}$
Ø3x20 мм	0,72	$0,444 \cdot 10^{-6}$	$6,31 \cdot 10^5$	$5,92 \cdot 10^{-4}$	$3,73 \cdot 10^2$	$7,7 \cdot 10^{-3}$	$5,65 \cdot 10^{-3}$

Эти величины найдены в работе по известным формулам [7]:

$$d_3 = \frac{4\varepsilon}{a}, \quad (1)$$

$$\frac{w_1 \cdot d_{\Sigma}}{\varepsilon \cdot v} = \frac{0,45}{(1-\varepsilon)\sqrt{\varepsilon}} \cdot \frac{w_1 \cdot d_3}{v}, \quad (2)$$

где ε – пористость "цепного" слоя; a – удельная поверхность элементов такого слоя, м²/м³.

Работу скруббера проверяли на примере абсорбционной очистки газов от оксида серы.

В качестве хемосорбента было принято решение использовать карбонат кальция, полученный в качестве побочного продукта при производстве нитроаммофоски на заводе ОАО «Минудобрения» (рисунок 3).

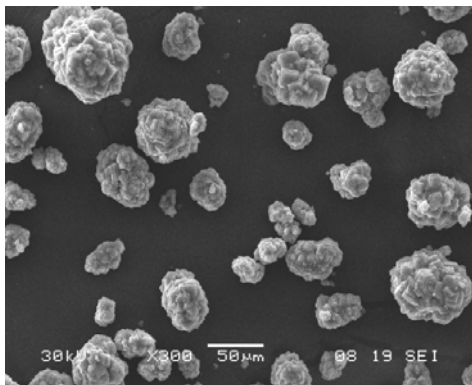


Рисунок 3. Микрофотография сорбента

Данные показывают высокую эффективность улавливания оксидов серы на уровне 99 – 99,4 % (рисунки 4, 5).

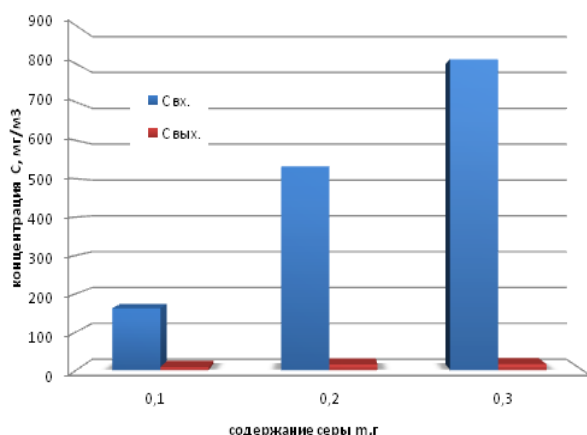


Рисунок 4. Эффективность улавливания SO₂ 5- % раствором сорбента

ЛИТЕРАТУРА

- 1 Лазарев Н.В., Гадаскина И.Д. Вредные вещества в промышленности: справочник для химиков, инженеров и врачей. М.: Химия, 2001. 608 с.
- 2 Вихрев Ю. В. Повышение эффективности и улучшение экологических характеристик современных энергоустановок // Энергетик. 2002. № 3. С. 9-10
- 3 Кол А.Л., Ниелсен Р. Газоочистка: учеб. пособие для студентов. Хьюстон, 1997. 1395 с.
- 4 ГОСТ Р 50831-95 Установки котельные. Тепломеханическое оборудование. Общие технические требования. М.: Госстандарт России, 1995.

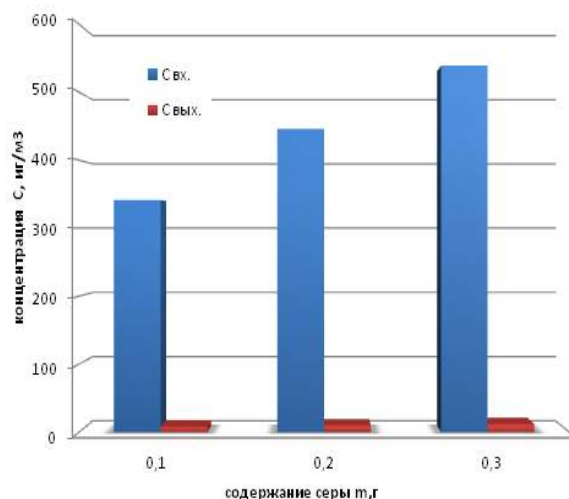


Рисунок 5. Эффективность улавливания SO₂ 10- % раствором сорбента

Предварительные результаты показывают, что при стехиометрическом соотношении Ca/S на входе равном примерно 2,0 выброс SO₂ снижается на 80-90 %, что значительно больше, чем намечалось - 70 %. Что соответствовало остаточной концентрации менее 30 мг/м³. Отчасти это объясняется большей степенью улавливания и отложение сорбента на цепной завесе (не более 20 мг/м³).

Предложенный аппарат для очистки газов позволяет:

- повысить эффективность очистки газов;
- повысить надежность работы;
- повысить степень очистки газового потока без применения дополнительного оборудования;
- снизить металлоемкость и сложность конструкции;
- удешевить процесс очистки;
- упростить конструкцию аппарата.

- 5 Вальдберг А.Ю., Николайкина Н.Е. Защита атмосферы: учеб. пособие для вузов. М.: Дрофа, 2008.

- 6 Заявка на изобретение №153016, Россия. Аппарат для мокрой очистки газов / Панов С.Ю., Химвинга М., Зинковский А.В.; Заявл. 29.11.13.

- 7 Горемыкин В.А., Красовицкий Ю.В., Логинов А.В., Панов С.Ю. Энергосберегающее пылеулавливание при производстве керамических пигментов по “сухому способу”. Воронеж: Воронежский государственный университет, 2001. 296 с.

REFERENCES

- 1 Lazarev N.V., Gadaskina I.D. Vredniye veshchestva v promyshlennosti [Harmful substances in industries]. Moscow, Khimiia, 2001. 608 p. (In Russ.).
- 2 Vikhrev Iu. V. Enhancement of efficiency and improvement of ecological characteristics of modern energy installations. *Energetik*. [Power engineer], 2002, no. 3, pp. 9-10. (In Russ.).
- 3 Kohl A.L., Nielsen R. Gas purification. Houston, 1997. 1395 p.
- 4 GOST R 50831-95 Ustanovki koitel'nye. Teplomekhanicheskoye oborudovaniye. Obshchie tekhnicheskie trebovaniia. [Boiler plants. Thermal mechanical equipment. General technical requirements]. Moscow, Gosstandard Russii, 1995. (In Russ.).
- 5 Val'dberg A.Iu., Nikolaikina N.E. Zashita atmosfery [Protection of the atmosphere]. Moscow, Drofa, 2008. (In Russ.).
- 6 Panov S.Iu., Himwiinga M., Zinkovskii A.V. Apparat dlia mokroi ochistki gazov [Device for wet treatment of gases]. Application for invention no. 153016, RF. 2013.
- 7 Goremykin V.A., Krasovitskii Iu.V., Loginov A.V., Panov S.Iu. Energoberegaiushchee pyleulavlivanie pri proizvodstve keramicheskikh pigmentov po sukhomu sposobu [Energy efficient dust removal in the production of ceramic pigments using the "dry method"]. Voronezh, VGU, 2001. 296 p. (In Russ.).