

С.В. Крюков, студент гр. ТЭБ-132 (КузГТУ), М.А. Чемакин, студент гр. ТЭБ-132 (КузГТУ)

Научные руководители: А.Р. Богомолов, д.т.н., доцент, вед.н.с. (ИТ СО РАН), г.Новосибирск, И.В. Дворовенко, к.т.н., доцент, доцент (КузГТУ)

## **ИССЛЕДОВАНИЯ ПО УЛАВЛИВАНИЮ ОКСИДОВ СЕРЫ ИЗ ДЫМОВЫХ ГАЗОВ НА ПИЛОТНОЙ КОТЕЛЬНОЙ**

Сжигание угля на тепловых станциях является хорошо отработанной технологией с высоким коэффициентом полезного действия, основная проблема тепловых станций заключается в дымовых газах, состоящих, в том числе, из окислов серы и азота, углекислого газа.

Анализ методов очистки газовых выбросов [1] показывает, что для очистки больших объемов газов с малым содержанием оксидов серы, наиболее приемлем абсорбционный способ очистки, при условии решения проблемы утилизации или же использования аппаратов с наименьшим водопотреблением. Использование «мокрой» очистки практически не требует предварительной подготовки газа, позволяет одновременно проводить очистку от газообразных и механических компонентов. Поскольку диоксид серы обладает кислотными свойствами, поглотителями должны быть щелочные растворы. Они должны быть дешевы и легкодоступны в больших количествах поскольку объем выбрасываемых газов отдельно взятым источником может составлять от сотни тысяч до миллионов кубических метров в час. На практике, для очистки от оксидов серы, обычно используются следующие абсорбенты: вода, водные растворы:  $\text{Na}_2\text{SO}_3$  (18-25%),  $\text{NH}_4\text{OH}$  (5-15%),  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ,  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ,  $\text{NaOH}$  (15-20%),  $\text{KOH}$ ,  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_3$  (15-20%),  $\text{ZnSO}_4$ ,  $\text{K}_2\text{CO}_3$ , суспензии  $\text{CaO}$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{MnO}$ ,  $\text{CaCO}_3$ .

Наиболее дешевый и доступный поглотитель оксидов серы – вода. Опыт работы «мокрых» скрубберов для очистки дымовых газов показывает, что вода поглощает существенную часть  $\text{SO}_3$ , образуя серную кислоту и в очень малой степени  $\text{SO}_2$ . Для увеличения поглощения  $\text{SO}_2$  разработан процесс «Flakt-Hydro» [1], где в качестве поглотителя используют морскую воду, которая имеет слабощелочную реакцию. За счет этого растворимость оксидов серы в ней резко возрастает.

В рамках реализации Федеральной целевой программы предполагается проведение исследований по абсорбционной очистке дымовых газов на пилотной установке [2]. Для изучения этих процессов был спроектирован и создана экспериментальная лабораторная абсорбционная установка для улавливания окислов серы и азота из смеси газов (рис.1). Целью исследований было получение наиболее доступных и недорогих абсорбентов и отработка технологий по снижению вредных выбросов из дымовых газов. Ос-

новными элементами стенда являются скруббер (труба) Вентури 3 и циклон 4, установленный после скруббера. В состав установки входят также насосы, газодувки, контрольно-измерительные приборы. Установка может подключаться к действующему котлу и очищать газы после котла или работать автономно, во втором случае для генерации газов используются сжатые газы или электропечь в которой осуществляется сжигание серы.

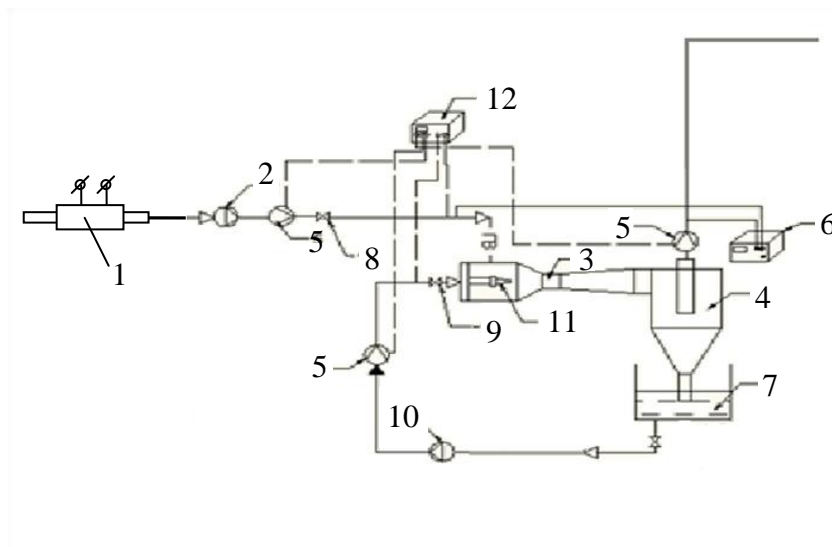


Рис. 1. Схема экспериментальной установки:

- 1 – электропечь;
- 2 – воздушная дувка;
- 3 – скруббер Вентури;
- 4 – циклон; 5 – расходомер;
- 6 – газоанализатор; 7 – резервуар;
- 8, 9 – вентили; 10 – насос;
- 11 – форсунка;
- 12 – измерительный блок

Очистка дымовых газов осуществляется распыливанием воды или водных растворов поглотителей в горловине скруббера Вентури, через который движется поток дымовых газов. Вредные газы поглощаются в процессе абсорбции или хемосорбции и отводятся в емкости с водой или водными растворами поглотителей.

Работа установки в автономном режиме (без подключения к дымоходу котла) осуществляется следующим образом: воздушной дувкой 2 воздух подается в скруббер Вентури 3, туда же насосом 11 из резервуара 7 через форсунку 12 поступает вода (водный раствор поглотителя); в скруббере происходит смешивание газов и воды; затем смесь поступает в циклон 4, где происходит отделение жидкости от газов, газы по внутренней трубе циклона поступают вверх и выбрасываются в атмосферу, жидкость стекает в резервуар 7. При поглощении окислов серы устанавливается электропечь и дополнительная газодувка. При работе с котлом воздушная дувка 2 засасывает газы из дымохода в скруббер Вентури.

Для анализа состава газов использовали газоанализаторы Testo 300 XXL, зонды которых устанавливали на входе в скруббер и после него. Установка позволяет производить измерения при различных расходах воды и газов и различном исходном составе газов.

Были проведены предварительные опыты по улавливанию оксида серы из смеси с воздухом водой и раствором карбамида для отработки методики исследования и измерений. Результаты экспериментов по улавливанию окислов серы водой представлены в табл.2, по улавливанию окислов серы водным раствором карбамида – в табл.3.

Таблица 1.

Результаты исследования на экспериментальной установке (вода)

Расход воды, кг/с	Начальная концентрация SO <sub>2</sub> , ппм	Конечная концентрация SO <sub>2</sub> , ппм	Расход воздуха G, м <sup>3</sup> /с	Степень очистки, %
0,1375	67	1	0,01789	98,51
0,1375	84	2	0,01789	97,62
0,1375	96	4	0,01789	95,83
0,1375	108	6	0,01789	94,44
0,1375	113	8	0,01789	92,92
0,1375	128	11	0,01789	91,41
0,1375	133	13	0,01789	90,23
0,1375	137	14	0,01789	89,78
0,1375	144	17	0,01789	88,19
0,1375	148	19	0,01789	87,16
0,1375	150	20	0,01789	86,67
0,1375	152	21	0,01789	86,18
0,1375	154	22	0,01789	85,71
0,1375	155	23	0,01789	85,16
0,1375	156	24	0,01789	84,62

Таблица 2.

Результаты исследования на экспериментальной установке  
(5% водный раствор карбамида)

Расход воды, кг/с	Начальная концентрация SO <sub>2</sub> , ппм	Конечная концентрация SO <sub>2</sub> , ппм	Расход воздуха G, м <sup>3</sup> /с	Степень очистки, %
0,1375	60	1	0,01649	98,33
0,1375	65	1	0,01649	98,46
0,1375	72	1	0,01649	98,61
0,1375	79	2	0,01649	97,47
0,1375	81	3	0,01649	96,30
0,1375	88	4	0,01649	95,45
0,1375	94	4	0,01649	95,74
0,1375	97	4	0,01649	95,88
0,1375	106	4	0,01649	96,23
0,1375	112	6	0,01649	94,64
0,1375	114	7	0,01649	93,86
0,1375	118	8	0,01649	93,22
0,1375	120	9	0,01649	92,50
0,1375	123	12	0,01649	90,24
0,1375	126	12	0,01649	90,48

На рис. 2 показана зависимость степени улавливания оксида серы  $\text{SO}_2$  от начальной концентрации  $\text{SO}_2$ . Полученные данные показывают примерно равную степень улавливания оксидов водой и водным раствором карбамида.

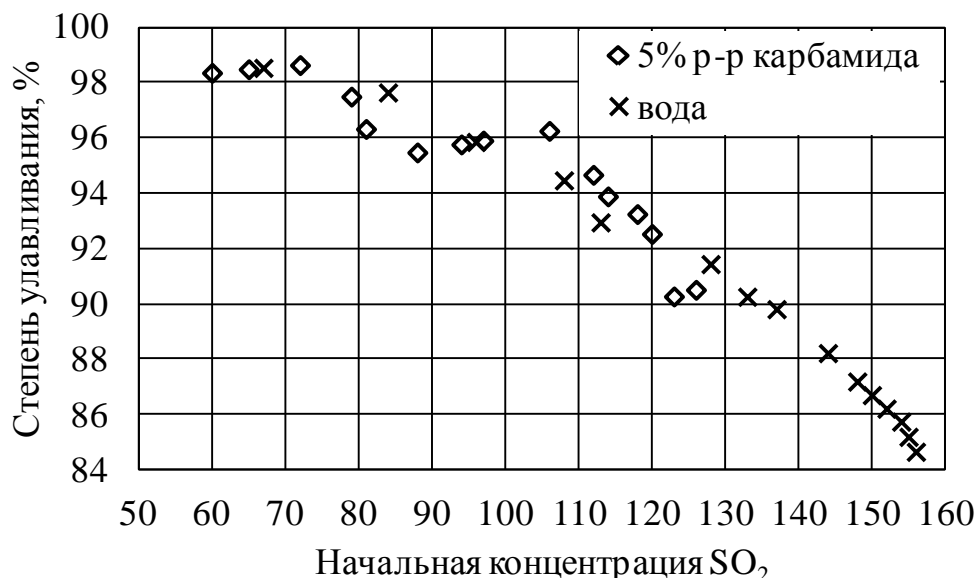


Рис.2. Очистка дымовых газов от оксида серы водным раствором карбамида

Работа выполнена при финансовой поддержке государства в лице Минобрнауки России в рамках реализации Федеральной целевой программы «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2014-2020 годы», по Соглашению №14.583.21.0004 о предоставлении субсидии от 16 июля 2014 г. Уникальный идентификатор научных исследований (проекта) RFMEFI58314X0004.

### Список литературы:

1. Зайцев, В. А. Промышленная экология [Электронный ресурс] : учебное пособие / В. А. Зайцев. — Эл. изд. — М. : БИНОМ. Лаборатория знаний, 2012. — 382 с. : ил.
2. Sysolyatin, A.S. Experimental Setup for Studying the Capture of Sulfur and Nitrogen Oxides from Flue Gases / A.S. Sysolyatin, S.V. Kryukov, M.A. Chemakin, I.V. Dvorozenko// MATEC Web of Conferences, 2016, Vol. 72 (2016), Heat and Mass Transfer in the System of Thermal Modes of Energy – Technical and Technological Equipment (HMTTSC-2016), Tomsk, Russia, April 19-21, 2016, Published online: 09 August 2016. – DOI: <http://dx.doi.org/10.1051/matecconf/20167201110> – Article available at <http://www.matec-conferences.org/articles/matecconf/abs/2016/35/contents/contents.html>.