

ПРОБЛЕМА УЛАВЛИВАНИЯ СЕРЫ ИЗ ДЫМОВЫХ ГАЗОВ КОТЕЛЬНЫХ КРУПНЫХ ЦЕНТРАЛЬНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СТАНЦИЙ

ЭНЕРГОСТРОЙ, МОСКВА

В. Я. Рыжкин

Задача обеспыливания дымовых газов является в настоящее время достаточно разработанной с технической стороны.

Эксплуатация имеющихся установок должна выяснять целесообразность и выгодность пылеуловителей различных конструкций в применении к тем или иным реальным условиям.

Гидравлический тип пылеуловителей повидимому не уступит по своим качествам механическим и электрическим фильтрам даже в тяжелых климатических условиях нашего Союза¹⁾.

В последнее время возникла новая и сложная проблема очистки дымовых газов от серы в связи с эксплуатацией крупных центральных электрических станций, сжигающих многосернистые угли и расположенных близ густо населенных местностей.

В нашем строительстве эта проблема приобретает весьма актуальное значение в связи с сооружением в пределах городской черты или по соседству с большими поселками ряда станций, предназначенных для работы на малоценных сортах угля с большим содержанием серы. Достаточно упомянуть о теплоцентралях г. Москвы. (Хамовническая и Дербеновская) и Бобриковской станции—на подмосковном угле с содержанием серы до 3%; о Кизелевской станции—на кизелевских углях с содержанием серы до 8%; о Северо-Донецкой и Эсхаре—на лисичанском угле с содержанием серы до 8%; о Челябинской станции—на челябинском угле с содержанием серы до 2%.

I. Возникновение и сущность проблемы

Новая задача возникла следующим образом. В Англии в 1928 году Союз фермеров подал в суд на Объединенные электростанции г. Манчестера, обвиняя станцию Бартон, находящуюся близ Манчестера в губительном действии дымовых газов на соседние посевы. Сущность дела заключается в том, что при сжигании от 550 до 560 т угля в сутки, около 11 т серы выбрасывалось через 12 дымовых труб в атмосферу. При этом скорость выхода газов из дымовых труб достигала всего лишь 4—4,5 м/сек. против 9—12 м/сек. при нормальной нагрузке. При слабом ветре значительная часть газов осаждалась на соседних полях, производя пагубное воздействие на растительность, что легко было установить. Было выяснено, что вредное воздействие на растительность началось еще в 1924 г. Ответчик указывал на невозможность сжигания угля без выбрасывания двуокиси серы в атмосферу, а также на то, что увеличение высоты дымовых труб на 9—12 м, не принесло бы практически

пользы в данном случае. В первой инстанции дело выиграло Объединение; во второй инстанции—Союз фермеров, и в настоящее время дело находится на рассмотрении в последней инстанции—в палате лордов. В середине 1929 года сильное движение поднялось в Лондоне против сооружения новой электрической станции Battersea на Темзе, расход угля на которой должен составить до 2000 т в сутки.

В движении приняли участие технические, художественные и общественные организации, а также отдельные лица. Оппозиция протестовала против сооружения станции в городе и требовала переноса ее к устью Темзы на одну линию со станцией Barking¹⁾.

Новая проблема обязана своим возникновением интенсивному возрастанию мощности современных станций, на которых расход угля достигает 2000—3000 т и до 5000 т в сутки. При этих условиях начинает проявляться разрушительное действие безцветных ангидридов серной и сернистой кислоты.

Допустим, что среднее содержание серы в английских углях составляет 1,5%. В таком случае на станции, мощностью такого же порядка что и Battersea, в течение суток будет выбрасываться в атмосферу до 30 т серы или до 90 т серной кислоты, что составляет продукцию большого химического завода. Можно ожидать вредного действия содержащих серу газов на наружные стены зданий, на мебель, картины, обои и т. д.; однако, наиболее разрушительно воздействие на растительность.

Возможные методы решения проблемы

Для определения наилучших методов устранения указанных явлений необходимо проведение большой изыскательской работы. Вообще предполагается, что вся ограническая или летучая сера в угле сгорает в двуокись (SO₂) или триокись (SO₃) серы, образующую при соединении с влагой сернистую H₂SO₃ или серную (H₂SO₄) кислоту. Благодаря высоким температурам в топке значительная часть твердой или неорганической серы также возгоняется; остальное количество серы выпадает с золой и шлаками.

Одним из способов извлечения серной и сернистой кислоты может служить промывание газов сильными струями воды, чистой или с небольшим содержанием щелочи, например, извести.

Хорошо известно, что в большинстве углей большая часть серы содержится в форме железистых пиритов и в меньшей степени в виде других неорганических примесей. Поэтому другим воз-

¹⁾ Р. Г. Грановский—„Мокрый способ обеспыливания и очистки дымовых газов“. „Тепло и сила“, № 5, стр. 22, 1930 г.

¹⁾ Combustion, октябрь 1929 г., стр. 43.

можным способом является обогащение углей путем тщательной промывки их от наличной зольности в 15—25%, до зольности в 4—6%, благодаря чему большое количество пиритов должно быть извлечено из угля.

II. Результаты исследования сернистых углей

Для правильного выбора топлива электрических станций больших городов необходимо провести систематическое изучение углей, рентабельных для сжигания, в отношении содержания в них серы. В битуминозных и полубитуминозных углях содержание серы колеблется в весьма широких пределах: от 0,1 до 6,0% в Англии и до 8% в САСШ.

В статье рассмотрены исследования трёх отечественных углей: подмосковных из 6 разных шахт, лисичанского (донецкого) и кизеловского, а также некоторых продуктов их обогащения и коксования. Содержание серы, которая в различной форме содержится в этих углях (на сухую массу), иллюстрируется таблицей, составленной по проведённым в ней данным.

Т а б л и ц а 1

Содержание серы в отечественных углях

Параметр	Уголь		
	лисичанский	подмосковный	кизеловский
Общее содержание серы, %	2,23 – 7,38 (4,37)	2,95 – 4,51 (3,66)	4,3 – 9,0
В том числе, %:			
органической	0,76 – 3,70 (2,21)	0,37 – 1,97 (1,58)	–
колчеданной	0,22 – 3,86 (1,17)	0,87 – 2,59 (1,83)	–
сульфатной	0,20 – 2,08 (0,99)	0,15 – 0,29 (0,22)	2,5 – 4,5

П р и м е ч а н и е. В скобках указаны средние значения содержания серы.

Анализы углей и продуктов их переработки приводят автора статьи к выводу, что...

... для удаления серы из угля следует применять какие-либо другие методы. Единственным способом, оправдавшим себя в настоящее время на практике в полупромышленном масштабе, повидимому, является промывка дымовых газов водой. В этой области предстоят еще большие исследования и введение технических усовершенствований. Технические требования к мокрому способу улавливания серы можно сформулировать таким образом:

1. Совмещение мокрого способа улавливания серы с удалением пыли (летучей золы) из дымовых газов.

2. Компактность установки, простота конструкции и малые начальные затраты.

3. Малый расход воды и щелочных реактивов для нейтрализации серной кислоты, где необходимо их применение.

III. Мокрый способ очистки дымовых газов от серы

Обширные опыты по промывке дымовых газов от серы были проведены по заданию строительства станции Battersea в течение апреля—августа 1929 года на английской станции Grove Road¹⁾.

Основные вопросы, возникающие при мокром способе улавливания серы таковы: начальные и эксплуатационные расходы, расход воды для промывки и способы улавливания отработавшей воды.

В отчете, описывающем опыты на станции Grove Road, первый вопрос совершенно не затронут²⁾.

Техническая сторона опытов описана достаточно подробно. При этом указывается, что щелочность воды в Темзе достаточна для нейтрализации всех кислот, извлеченных из дымовых газов, при условии предварительного смешения воды из ловителей серы с отработавшей водой из конденсаторов. Однако, нет уверенности в том, что щелочность Темзы из года в год не меняется. Ежедневный спуск 90 т серной кислоты в Темзу является весьма серьезной проблемой и, возможно, более правильной явится промывка газов щелочной водой, например известковой, тем более, что две другие станции на Темзе: Barking и Chelsea современем могут также применить улавливание серы из дымовых газов.

Для проведения экспериментальных работ на станции Grove Road была сооружена установка, показанная на рис. 1, состоящая из цилиндрической поглотительной башни высотой 8,25 м и диаметром 1 020 мм. Башня оборудована тремя группами брызгал, по 40 штук в группе, расположенными на высоте соответственно 3—5,2—7,3 м над землей. В большинстве опытов, между двумя верхними рядами брызгал башня заполнялась поглотительными кольцами. Дымовые газы отсасывались из дымовой трубы эксгаустером и по трубе диаметром 300 мм поступали в башню, где, поднимаясь вверх, подвергались промывке струями воды, подаваемой специальным насосом.

Очищенные газы выбрасывались из поглотительной башни в атмосферу через короткую трубу диаметром 300 мм. Количество прогоняемых газов регулировалось регистром при входе газов в поглотительную башню и замерялось при помощи трубки Пито. На обеих трубах 300 мм, по которым газы подводились к поглотительной башне и отводились из нее, были установлены приборы для замера тяги и температур, а также отбора газовых проб.

¹⁾ Combustion—март 1930 г. стр. 41.

²⁾ Arden и R. V. Wheder—„Treatment of Sulphur Fumes in Connection with the working of the Proposed Electric Power Station of the London Power Company of Battersea».

Для промывки газов употреблялась вода из городского водопровода, подаваемая центробежным насосом к брызгалам. После промывки газов вода из башни собиралась в одном из двух гальванизированных железных баках, приключенных к системе дренажа. При желании, можно было применить систему замкнутой циркуляции промывочной воды.

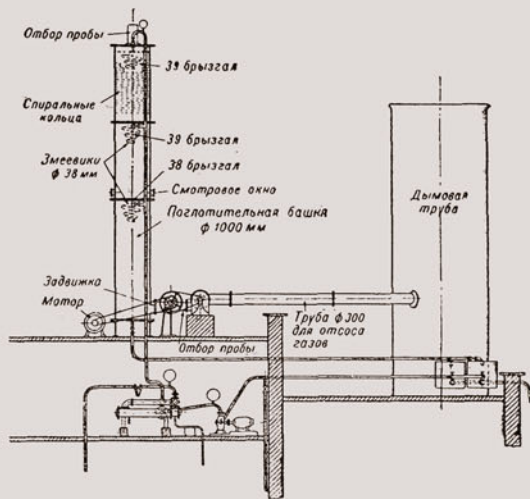


Рис. 1.

За время опытов на станции сжигалось два сорта угля: с содержанием серы в среднем 3,63—3,90% и 0,99—1,23%.

Распределение серы на пиритную, сульфатную и органическую характеризуется следующей таблицей:

Таблица 2

Сорт угля	Содержание серы (проценты)			
	Принятая	Сульфатная	Органическая	Всего
1. Northumberland	2,63	0,11	0,90	3,64
2. "	2,93	0,08	0,89	3,90
3. Scotch	0,72	0,06	0,45	1,23
4. "	0,56	0,05	0,38	0,99

В отчете приведены точные результаты опытов по удалению серы, полученные в разнообразных условиях в отношении количеств воды и скорости газов.

Таблица 3 дает сводку результатов опытов с холодной промывочной водой средней температуры 19°C при входе в башню и 29,5°C при выходе из нее.

Опыты показали, что для удаления 100% серы при высокой начальной кислотности газов необходимо пропустить до 45—58 куб. м воды на 1 т угля сожженного под котлами. При этом продолжительность соприкосновения равна 12—14 сек.

С увеличением скорости газов, эффективность удаления серы падает, оставаясь, однако, еще достаточно высокой (90%) при длительности контакта всего 8 сек.

Таблица 3

Сорт угля	Скорость газов м/сек	Время соприкосновения сек.	Кислотность газов до опыта	После опыта	Процент удаленной серы	Расход воды в тоннах на 1 т сожженного угля
Серия опытов E 1—расход воды 8,5 куб. м/час						
Scotch	0,58	14	1,9	0	100	58
	0,67	12	1,6	0	100	45
	0,8	9	1,6	0,1	94	34
	1,04	8	1,3	0,1	90	29
	1,10	7	1,2	0,3	78	28
Scotch и Northumberland смесь	0,16	7	1,1	0,3	73	26
	0,67	12	2,7	0,3	90	45
Northumberland	0,91	9	2,5	0,4	84	33
	0,58	14	4,9	0	100	58
	0,10	7	3,5	1,4	59	28
Серия опытов E 2—расход воды 4,9 куб. м/час.						
Scotch	0,55	13	1,70	0,23	87	32
	0,91	9	1,35	0,25	82	19
Northumberland	0,70	12	4,25	1,55	64	25
	0,88	9	4,30	1,10	74	20
	0,88	9	4,10	2,60	37	20
	0,10	7	4,50	2,10	53	16
	0,10	7	4,07	1,67	59	16
Серия опытов F—расход воды 3,4 куб. м/час. (малая подача воды к верхней группе брызгал)						
Northumberland	0,67	12	3,9	0,95	76	17
	0,70	11 1/2	5,3	1,45	73	16 1/2
	0,70	11 1/2	4,0	0,4	90	16 1/2
	0,95	9	5,4	0,46	91	12
	0,98	8 1/2	5,5	1,40	75	12
	1,00	8	3,94	0,54	86	11
	1,10	7	6,0	1,00	83	10
Расход воды 3,2 куб. м/час верхняя группа брызгал не действует						
Scotch	0,70	11 1/2	1,1	0,05	95	16 1/2
	0,98	8 1/2	0,9	0,09	90	12

При проведении опытов с горячей водой верхняя группа брызгал не работала. Увлажненные поглощательные кольца в верхней части башни способствовали улавливанию серы. Температура употребляемой воды равнялась в среднем 63°C, температура газов перед башней ~ 88°C и после башни ~ 60°C.

Результаты опытов представлены в следующей таблице 4.

Употребление значительных количеств воды (до 65 куб. м на 1 т сожженного угля) не оправдало себя, в то же время опыты с высокосортными углями с малым содержанием серы показали, что достаточно 6 куб. м воды на 1 т сожженного угля для удаления 90% сернистых газов, если скорость газов равняется 0,98 м/сек.

Сравнение с результатами опытов на холодной воде показывает, что употребление горячей воды значительно повысило эффективность установки. На первый взгляд этот результат является парадоксальным, так как растворимость газов с повышением температуры воды падает, однако возможно такое объяснение, что при повышенной температуре около 63°C большая часть сернистой кислоты SO₂

окисляется в серную кислоту SO_3 , лучше растворимую в воде, благодаря чему общий эффект установки повышается. При температуре воды около 63°C и температуре газов до промывки 88°C и после промывки 60°C , оказывается достаточным расход $17-21$ куб. м воды на 1 т угля для извлечения до 96% всей серы, в то время как удаление $90-94\%$ серы требует $29-34$ куб. м холодной воды $19-29^\circ\text{C}$.

Доказательством окисления SO_2 в SO_3 служит отсутствие каких-либо следов SO_2 в горячей воде после промывки.

Присутствие SO_2 в холодной воде было довольно значительно и анализы показали наличие в промывочной воде сульфитов. Анализы горячей воды указали на полное отсутствие сульфитов и тиосульфитов, все количество серы за исключением, может быть 2 или 3% , содержалось в воде в виде сульфатов.

Таблица 4

Серия опытов Н,Н 1 Н 2—расход воды $3,2$ куб. м/час

Сорт угля	Скорость газов м/сек.	Время соприкосновения сек.	Кислотность газов до опыта	После опыта	Процент удаления серы	Расход воды в тоннах на 1 т угля
Scotch	0,55	15	1,16	0,05	96	21
	0,58	14	0,74	0,07	91	20
	0,58 ¹⁾	14	1,50	0,42	72	20
	0,64	13	1,12	0,08	93	18
	0,67	12	1,63	0,07	96	17
	0,73	11	1,22	0,09	93	16
	0,85	9 ^{1/2}	1,28	0,09	93	13 ^{1/2}
	0,85	9 ^{1/2}	0,91	0,18	80	13 ^{1/2}
	0,94	9	1,06	0,09	91	12
	1,03	8	0,57	0,09	84	11
Scotch и Northumberland смесь	0,07	7 ^{1/2}	0,67	0,13	81	11
	1,10	7	1,23	0,13	89	10 ^{1/2}
	0,61 ¹⁾	13 ^{1/2}	2,16	0,95	56	19
Northumberland	0,61 ¹⁾	13 ^{1/2}	1,89	0,60	68	19
	0,94 ¹⁾	9	1,91	0,49	74	12
Northumberland	0,67	12	4,58	0,65	86	17
	0,88	9	5,06	0,52	90	13
	1,13	7	5,19	9,71	86	10

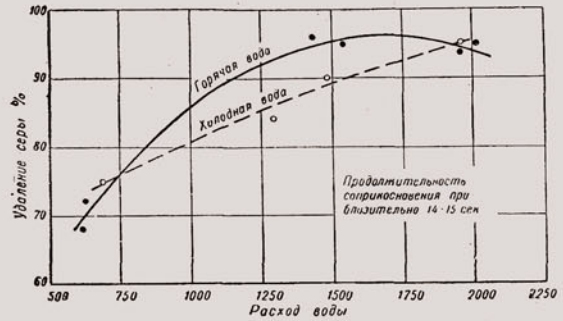


Рис. 2.

Обязано ли это явление каталитическому действию содержащегося в газах уноса или выделяющегося озона или, перекиси водорода при прохождении газов через горячую воду можно будет установить только путем дальнейшего экспериментирования.

Кривая рис. 2 показывает зависимость процента удаляемой из газов серы от расходов воды, для случаев употребления холодной и горячей воды. При расходе воды в $6,7$ куб. м/час поглощается около 95% серы, если вода горячая, и около 78% , если вода холодная. Время соприкосновения равно в обоих случаях $14-15$ сек.

IV. Энергостроительство СССР и проблема улавливания серы

Нижеследующая таблица дает ориентировочные цифры годовых количеств серы, которую возможно регенерировать при сжигании многосернистых углей на крупнейших электро- и теплоцентралях Союза, а также примерные цифры необходимого расхода воды для промывания дымовых газов от серы.

В основу расчетов положены с одной стороны преимущественно данные Украинского института прикладной химии, работы которого мы неоднократно цитировали и с другой стороны проектный материал по английской электростанции Battersea.

Таблица 5

		1	2	3	4	5	6	7	8
		Н квт	1 000 т угля в год	С ср. процент	S год 1 000 т	S пер. 1 000 т	H_2SO_4 т/год	Расход угля т/час	куб. м воды/сек
1	Бобриковская	300 000	1 700	2,4	41	10 000	30 000	300	1,0
2	Хамовническая	—	1 100	2,4	26	6 500	20 000	200	0,7
3	Северо-Донецкая	150 000	750	4,0	30	7 500	23 000	150	0,5
4	Эсхар	170 000	750	4,0	30	7 500	23 000	150	0,5
5	Кизеловская	150 000	600	5,0	30	7 500	23 000	120	0,4
6	Челябинская	150 000	660	1,5	10	2 500	8 600	150	0,5
	Всего	—	—	—	—	—	128 100		

Всего в год возможно регенерировать до $128 000$ т серной кислоты, что при цене 75 руб. за 1 т составит продукцию в сумме около $9 500 000$ руб. в год.

Организуемые в ближайшее время в Союзных

исследовательских институтах опыты по исследованию многосернистых углей СССР должны послужить для выяснения наилучших методов устранения сернистых газов из атмосферы и уточнения цифры последней таблицы.