

УДК 66.074.48:621.928.9**Д.О. СЕРЕБРЯНСЬКИЙ**, канд. техн. наук, головний інженер

ТОВ «Інститут промислової екології», м. Київ

М.В. СЕМЕНЮК, аспірант, **С.В. ПЛАШИХІН**, асистент

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут» (НТУУ «КПІ»), м. Київ

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ОЧИСТКИ ДИМОВИХ ГАЗІВ ВІД ТВЕРДИХ ЧАСТОК ТА ДІОКСИДУ СІРКИ

Надано результати експериментальних досліджень ефективності очистки димових газів від твердих часток та діоксиду сірки двоступеневою системою вискоєфективних відцентрових фільтрів. Результати досліджень надали змогу встановити концентрацію твердих часток та діоксиду сірки на виході з двоканального відцентрового фільтра ЦФ1-2-0,6Г та шестиканального відцентрового фільтра ЦФ2-6-0,6.

Ключові слова: десульфуризація, тверді частки, діоксид сірки, система очистки.

Десульфуризація димових газів займає ключове місце в області охорони навколишнього середовища. У більшості країн з високим рівнем розвитку промисловості десульфуризація димових газів стала галуззю господарства зі значними капіталовкладеннями, управлінським, науково-технічним і виробничим апаратом, а також із законодавствами, нормативами з проектування й експлуатації установок очистки газів від оксидів сірки. Створено десятки потужних машинобудівних і приладобудівних фірм, які розробляють і випускають обладнання та прилади для цих цілей [1].

Сьогодні перед усіма галузями промисловості поставлено завдання – досягти сучасних гранично допустимих норм на викиди шкідливих речовин в навколишнє середовище (директиви 2001/80/ЄС).

Один із перспективних шляхів удосконалення обладнання для очистки газів від золи та діоксиду сірки – створення пиловловлювачів, у яких поєднано декілька принципів очистки [2, 3].

Авторами цієї роботи запропоновано комплексну двоступеневу систему очистки відхідних газів котла потужністю 180 кВт від золи та діоксиду сірки з використанням методу напівсухої десульфуризації. На основі проведеного аналітичного огляду методів очищення димових газів від SO₂ обрано NID-технологію, що передбачає застосування напівсухого способу з введенням у газовий потік тонкодисперсного порошку вапна (близько 100–150 кг/год) та подачею компресором через форсунку тонкорозпиленої води.

Класифікацію методів десульфуризації димових газів, що містять SO₂, можна здійснювати за різними ознаками: типом і характером процесу, типом вживаного сорбенту або одержуваного продукту тощо. Прийнята

Європейською економічною комісією ООН класифікація розподіляє всі методи десульфуризації відносно однієї з характерних ознак процесу на нерегенераційні (нециклічні) та регенераційні (циклічні) [4].

Застосування методів лужного, подвійного лужного, вапнякового чи вапняного очищення (установки першого покоління) спричинює утворення великої кількості твердих і рідких відходів, для яких необхідно відводити спеціальні площі. В деяких випадках доводиться захороняти одержувані продукти, що може призвести до отруєння ґрунтових вод [5].

Оскільки експлуатація газоочисного устаткування здійснюється в умовах контакту не тільки з повітрям, але й з продуктами взаємодії води та вапна, це призводить до періодичного залипання шламом каналів сепараційної камери і бункера, а також пришвидшує корозію металу. Розчини солей і кислоти, як правило, викликають сильнішу корозію. Іржа покриває метал пухким шаром, під яким процес продовжується далі.

У зв'язку з цим виникає потреба в очищенні апарата в процесі експлуатації і захисті внутрішніх елементів фільтра від агресивного середовища.

Експериментальні дослідження для визначення ефективності роботи двоступеневої системи очистки відхідних газів котла потужністю 180 кВт від золи та діоксиду сірки проведено на стенді з двоканальним відцентровим фільтром ЦФ1-2-0,6Г (перший ступінь) та шестиканальним відцентровим фільтром ЦФ2-6-0,6 (другий ступінь) [6]. Схему експериментального стенду наведено на рис. 1.

Конструкція двоканального відцентрового фільтра ЦФ1-2-0,6Г надає змогу на стадії проектування варіювати співвідношення щілин між його парними та не-

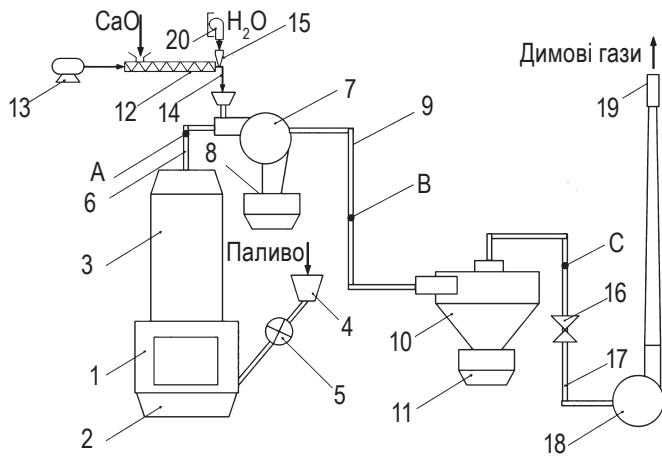


Рисунок 1 – Експериментальний стенд:

- 1 – топка котла з колосниковою решіткою; 2 – бункер шлаку;
- 3 – теплообмінник; 4 – бункер подачі твердого палива;
- 5 – шнек для подачі палива; 6 – газохід після котла;
- 7 – двоканальний відцентровий фільтр ЦФ1-2-0,6Г;
- 8 – бункер для золи та продуктів сіркоочистки; 9 – газохід після двоканального відцентрового фільтра ЦФ1-2-0,6Г;
- 10 – шестиканальний відцентровий фільтр ЦФ2-6-0,6;
- 11 – бункер для золи та продуктів сіркоочистки; 12 – шнековий підживлювач для подачі сорбенту на вході у ЦФ1-2-0,6Г;
- 13 – електродвигун шнекового підживлювача для подачі сорбенту на вході у ЦФ1-2-0,6Г; 14 – патрубок подачі сорбенту на вході у ЦФ1-2-0,6Г; 15 – патрубок подачі води на вході у ЦФ1-2-0,6Г; 16 – шибер для регулювання димових газів;
- 17 – газохід після шестиканального відцентрового фільтра ЦФ2-2-0,6; 18 – димосос; 19 – димова труба;
- 20 – розпилювальна форсунка (А, В, С – точки для замірів)

парними каналами для зміни співвідношень транзитних та рециркуляційних потоків. Оскільки одним з основних параметрів, що значно впливають на процес десульфуризації, є час перебування газу, який очищають, та сорбенту в апараті, розглянуто чотири варіанти розташу-

вання каналів з такими співвідношеннями транзитного та рециркуляційного потоків (K_p/K_{tr}): 0,2; 0,3; 0,4; 0,5. Для аеродинамічних розрахунків було використано створену 3D-модель апарата, яка відповідає реальному конструкторському виконанню.

Модель апарата складається з криволінійного ($K_{кр}$), транзитного (K_{tr}), рециркуляційного (K_p) каналів та каналу переходу потоку в бункер (K_b).

Геометричні розміри моделей апарата та каналів для чотирьох варіантів моделювання зображено на рис. 2.

Слід зауважити, що процентне відношення рециркуляційного потоку до транзитного для експериментального апарату становить 20 %, а для промислового зразка – 40 %. Зменшення на 20 % співвідношення рециркуляційного та транзитного потоків скорочує час перебування часток у відцентрових фільтрах у два рази (з 4 до 2 с).

Експериментальна установка (рис. 1) працює під розрідженням, яке створює димосос 18. Димові гази з котла надходять у газохід 6, де змішуються із сорбентом (CaO), що поступає через патрубок 14 в двоканальний відцентровий фільтр 7 (ЦФ1-2-0,6Г). В апараті відбувається процес десульфуризації й очищення димових газів від твердих часток. Уловлена зола та продукти десульфуризації потрапляють у бункер 8. Сорбент подають за допомогою шнекового підживлювача 12, який працює за рахунок електродвигуна 13, та зволожують шляхом тонкодисперсного розпилу води, що подається через патрубок 15 форсунками 20 типу «ТУМАН». Масу сорбенту та об'єм води попередньо вимірюють за допомогою вагів.

Очищений газовий потік поступає через вихідну трубу двоканального відцентрового фільтра в газохід 9, а звідти – у шестиканальний відцентровий фільтр 10 (ЦФ2-6-0,6). В апараті відбувається відділення золи та продуктів десульфуризації від газового потоку. Вловлена зола та продукти десульфуризації потрап-

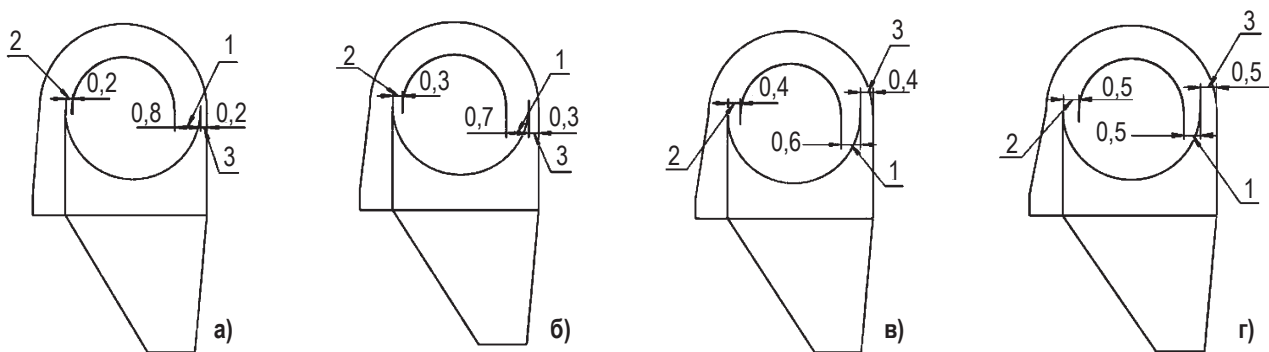


Рисунок 2 – Геометричні розміри моделі апарата:

- 1 – канал транзитного потоку; 2 – канал рециркуляційного потоку; 3 – канал переходу потоку в бункер;
- а), б), в), г) – співвідношення рециркуляційного та транзитного каналів 0,2; 0,3; 0,4; 0,5 відповідно

ляють у бункер золи 11; очищений газовий потік через газохід 13 виходить у димову трубу 15.

Для процесу напівсухої десульфуризації димових газів за розробленою методикою модернізації опалювальних котлів для зменшення токсичних викидів було розраховано необхідну кількість негашеного вапна та води для його гасіння в різних режимах навантаження лабораторної моделі котла. Результати цього розрахунку наведено в табл. 1.

Таблиця 1 – Потреба в негашеному вапні та воді для його гасіння для процесу напівсухої десульфуризації димових газів

Потрібна кількість речовини, кг/год	Навантаження котла, кВт		
	90	135	180
Потреба в негашеному вапні m_{CaO}	1,984	2,976	3,968
Витрати води на гасіння вапна $m_{H_2O(CaO)}$	0,638	0,956	1,275
Витрати гашеного вапна $m_{(CaOH)_2}$	2,62	3,93	5,24

Вимірювання масової концентрації і фізичних параметрів газового потоку в точках відбору проб виконували за допомогою газоаналізатора MRU Optima 7, який є багатофункціональним приладом із засобами відбору та підготовки проб до аналізу.

Під час дослідів використано експериментальні дані матеріальних потоків та складу відходів напівсухої десульфуризації димових газів у котлі (табл. 2).

Таблиця 2 – Експериментальні дані матеріальних потоків та складу відходів напівсухої десульфуризації димових газів у котлі

Параметр	Навантаження котла, кВт		
	90	135	180
Витрати вугілля, V , кг/год	19,5	27,3	39,0
Необхідна кількість повітря на спалювання V кг/год палива, V_p , m^3 /год	224	335	447
Дійсний об'єм продуктів згоряння палива, V_p , m^3 /год	408	612	816
Середня концентрація золи на виході з котла, C_v , $г/м^3$	2,66	2,89	2,77

Експериментальні дані, що їх отримано в результаті проведених лабораторних випробувань двоступінчастої системи газоочистки, наведено в табл. 3.

На основі експериментальних даних побудовано ряд залежностей, які характеризують ефективність роботи кожного рівня газоочистки та всієї системи газоочистки в цілому.

Графічні залежності аеродинамічного опору двоканального відцентрового фільтра ЦФ1-2-0,6Г, шестиканального відцентрового фільтра ЦФ2-6-0,6 та сумарного аеродинамічного опору системи газоочищення від витрат димових газів через апарат у режимах навантаження котла 50 % (90 кВт), 75 % (135 кВт) та 100 % (180 кВт) наведено на рис. 3.

Таблиця 3 – Результати експериментальних досліджень ефективності очистки діоксиду сірки в системі напівсухої десульфуризації

Параметр	Навантаження котла, кВт					
	90		135		180	
	розрахунок	експеримент	розрахунок	експеримент	розрахунок	експеримент
За котлом						
Об'єм димових газів, V_p , m^3 /год	408,0	408,0	612,0	612,0	816,0	816,0
Концентрація діоксиду сірки, C_{SO_2} , $г/м^3$	6,293	6,293	6,293	6,712	6,293	6,596
Концентрація діоксиду вуглецю, C_{CO_2} , $г/м^3$	371,950	371,950	371,950	369,88	371,950	388,54
Концентрація кисню, C_{O_2} , $г/м^3$	94,028	94,028	94,028	86,368	94,028	85,981
На виході з двоканального відцентрового фільтра						
Об'єм димових газів V_p , m^3 /год	412,08	413,0	618,12	613,0	824,16	826,0
Концентрація діоксиду сірки, C_{SO_2} , $г/м^3$	3,147	3,682	3,147	3,535	3,147	3,624
Концентрація діоксиду вуглецю, C_{CO_2} , $г/м^3$	373,389	385,471	373,389	362,542	373,389	378,269
Концентрація кисню, C_{O_2} , $г/м^3$	97,029	85,267	97,029	89,896	97,029	89,884
На виході з шестиканального відцентрового фільтра						
Об'єм димових газів V_p , m^3 /год	416,20	416	624,30	620	832,40	834
Концентрація діоксиду сірки, C_{SO_2} , $г/м^3$	2,832	3,249	2,832	3,286	2,832	3,328
Концентрація діоксиду вуглецю, C_{CO_2} , $г/м^3$	373,389	389,652	373,389	361,583	373,389	380,834
Концентрація кисню, C_{O_2} , $г/м^3$	98,082	89,856	98,082	92,568	98,082	91,714



На рис. 4 зображено ефективність очистки твердих часток у двоканальному відцентровому фільтрі ЦФ1-2-0,6Г, шестиканальному відцентровому фільтрі ЦФ2-6-0,6 та сумарна ефективність системи газоочищення залежно від витрати димових газів через апарат.

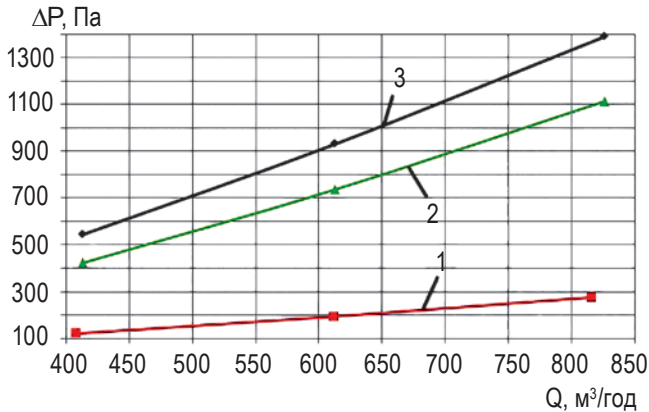


Рисунок 3 – Аеродинамічний опір системи газоочищення в цілому та її елементів окремо:
 1 – двоканального відцентрового фільтра;
 2 – шестиканального відцентрового фільтра; 3 – сумарний аеродинамічний опір системи газоочищення

З рис. 3 видно, що діапазон зміни перепаду тиску складає 540–1400 Па (залежно від режиму навантаження котла). Для режиму оптимальних витрат димових газів через відцентровий фільтр 600 м³/год, що відповідає навантаженню шарової топки котла 75 %, аеродинамічний опір двох послідовно встановлених відцентрових фільтрів (графік 3) становитиме 930 Па.

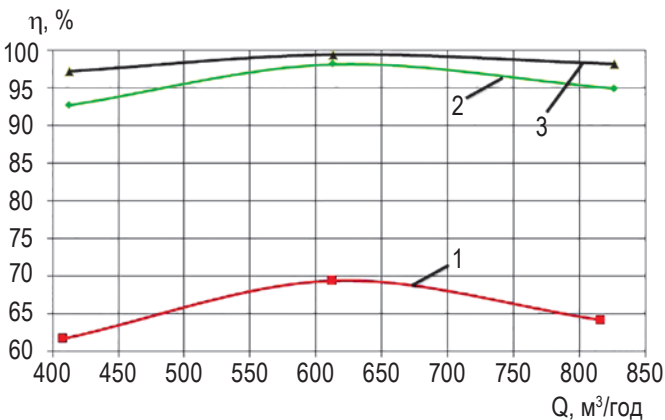


Рисунок 4 – Ефективність очистки твердих часток у системі газоочищення в цілому та її елементів окремо:
 1 – у двоканальному відцентровому фільтрі;
 2 – у шестиканальному відцентровому фільтрі;
 3 – сумарна ефективність вловлювання твердих часток у системі газоочищення

Ефективність вловлювання твердих часток у двоканальному відцентровому фільтрі коливається в межах

60–70 %, а у шестиканальному відцентровому фільтрі – в межах 93–97 %; сумарна ефективність вловлювання твердих часток сягає 99 % (рис. 4).

Розподіл значень концентрації діоксиду сірки в системі газоочищення залежно від навантаження котла зображено на рис. 5, з якого видно, що усереднене значення ефективності очистки діоксиду сірки в двоканальному відцентровому фільтрі ЦФ1-2-0,6Г становить 40–50 %. За рахунок додаткового зв'язування діоксиду сірки в газозоді 9 (рис. 1) та шестиканальному відцентровому фільтрі ЦФ2-6-0,6 остаточна концентрація SO₂ знижується ще на 10–15 % – до 3,2–3,3 г/м³.

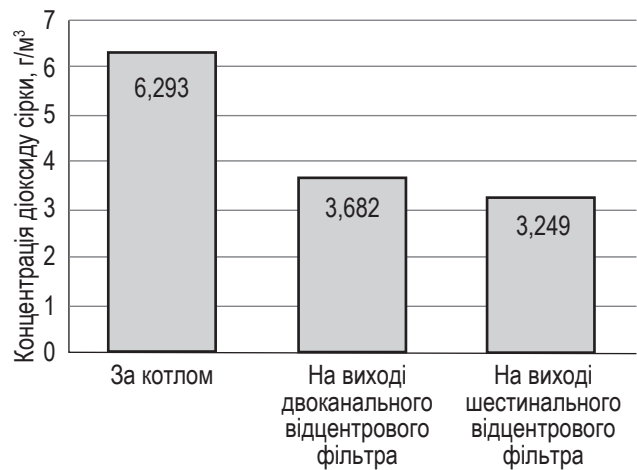


Рисунок 5 – Розподіл концентрації діоксиду сірки в системі газоочищення

ВИСНОВКИ

1. Процес очистки димових газів від золи та діоксиду сірки досліджено на моделі топки з шаровим спалюванням вугілля марки «Г» в трьох режимах навантаження котла (на 50, 75 та 100 %) відповідно до його потужності (90, 135 та 180 кВт). Модель топки була обладнана двоступінчастою системою очистки – дво- та шестиканальним відцентрованими фільтрами.

2. Температура димових газів у всіх режимах роботи моделі топки котла не перевищувала 180 °С, при цьому загальний аеродинамічний опір коливався в межах 550–1400 Па залежно від режиму роботи, а витрата димових газів знаходилася в діапазоні 400–800 м³/год. Відцентрові фільтри мали частку рециркуляційного потоку щодо транзитного на рівні 20 %.

3. Концентрація твердих часток на виході з моделі топки котла внаслідок введення реагенту для процесу десульфуризації змінювалась від 12,6 до 12,8 г/м³ залежно від режиму навантаження котла. Цей же показник після першого ступеня очистки коливався в діапазо-

ні 4–5 г/м³, а після другого ступеня – від 0,1 до 0,38 г/м³. Ефективність очистки першого ступеня досягла 70 %, другого – 98 %.

4. Введення в димові гази до 3,97 кг/год реагенту СаО та близько 1,27 кг/год тонкорозпиленої води дало можливість знизити концентрацію SO₂ у димових газах з 6,3 до 3,2 г/м³, при цьому загальна ефективність сіркоочистки досягла 60 %.

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. **Гладкий А. В.** Современное состояние и перспективы мирового развития методов десульфуризации отходящих промышленных газов / А. В. Гладкий // Промышленная и санитарная очистка газов. – М. : ЦИНТИхимнефтемаш, 1990. – 28 с.
2. **Saleem A.** Аммиачная абсорбция SO₂ приобретает значение / А. Saleem, К. Е. Janssen, Р. А. Ireland // Мир серы, N, P, K. – 1994. – N 4. – С. 23–29.
3. **Лазарев В. И.** Очистка отходящих газов за рубежом: перспект. аналит. докл. / В. И. Лазарев. – М. : ГКНГ СССР : ВИНТИ, 1988. – 19 с.
4. **Носков А. С.** Воздействие ТЭС на окружающую среду и способы снижения наносимого ущерба / А. С. Носков, М. А. Савинкина, Л. Я. Анищенко. – Новосибирск, 1990. – 184 с.
5. Защита окружающей среды при производстве энергии на тепловых электростанциях / Под ред. Г. Г. Ольховского, Л. И. Кроппа. – М. : Энергоатомиздат, 1991. – 156 с.
6. **Пат. 78157 Украина, МПК В04С1/00.** Центробежный фильтр / Серебрянский Д. А., Приемов С. И. ; заявитель и патентообладатель Серебрянский Д. А. – № а200510543; заявл. 08.11.05 ; опубл. 15.02.07, Бюл. № 2. – 3 с. : ил.

Поступила в редакцию 17.01.2015

Представлены результаты экспериментальных исследований эффективности очистки дымовых газов от твердых частиц и диоксида серы двухступенчатой системой высокоэффективных центробежных фильтров. Результаты исследований позволили определить концентрацию твердых частиц и диоксида серы на выходе из двухканального центробежного фильтра ЦФ1-2-0,6Г и шестиканального центробежного фильтра ЦФ2-6-0,6.

Results of experimental investigation of cleaning efficiency of flue gas from solid particles and sulfur dioxide by two-stage system with high-efficiency centrifugal filters are given. Results of the investigation enable determining concentration of solid particles and sulfur dioxide at outlet of two-channel centrifugal filter ЦФ1-2-0,6Г and six-channel centrifugal filter ЦФ2-6-0,6.

Уважаемые авторы, читатели, подписчики и рекламодатели!

Напоминаем о возможности оформления подписки на журнал «Экология и промышленность» на 2015 год:
ГП «Пресса» (Каталог видань України) – индекс 92050
Каталог РФ «Газеты. Журналы» – индекс 95492

Периодичность выхода издания – один раз в квартал.

По вопросам подписки и рекламы обращаться в отдел маркетинга:
телефон: +380(57) 758-07-33, e-mail: market@energostal.kharkov.ua