

УДК 621.928.93:697.946

DEVELOPMENT OF THE FLUE GAS CLEANING SYSTEM OF BOILER UNITS OPERATING ON SOLID FUEL**РОЗРОБКА СИСТЕМИ ОЧИЩЕННЯ ДИМОВИХ ГАЗІВ КОТЕЛЬНИХ АГРЕГАТИВ ПРИ РОБОТІ ЇХ НА ТВЕРДОМУ ПАЛИВІ****Hlushchenko O. / Глущенко О.Л.***s.t.s., as.prof. / к.т.н., доц.*

ORCID: 0000-0002-9230-9958

Litvinov M. / Литвинов М.П.*master's degree / магістр**Dniprovsky State Technical University, Kamianske, Dneprostroievskaja 2, 51918**Дніпровський державний технічний університет, Кам'янське, Дніпробудівська 2, 51918*

Анотація. В роботі проводиться дослідження впливу роботи котельного агрегату, який працює на пилоподібному паливі на стан навколишнього середовища; розроблені дієві заходи щодо зменшення викидів та покращення екологічного стану регіону шляхом розробки та впровадження комбінованої системи очищення димових газів. Проведені розрахунки пиловловлюючих пристроїв дозволяють стверджувати про доцільність та перспективність використання багатосхідцевого пристрою очищення відхідних газів (двох- та більше ступенів), наприклад, першим східцем очищення встановлюється циклонний апарат (очищення від крупних фракцій пилу, більше 10 мкм), а другим східцем – електрофільтр, який очищує відхідні гази від більш м'якої фракції пилу (менше 10 мкм). Така комбінація пиловловлюючого обладнання дозволяє досягнути майже 100 % ступеня очищення запиленних димових газів і є найбільш ефективним та екологічно доцільним варіантом вирішення проблеми забруднення навколишнього середовища.

Ключові слова: котельний агрегат, відцентровий циклон, електрофільтр, захист навколишнього середовища, фракційний склад пилу, відхідні гази, гранично припустимі викиди, інерційні пиловловлювачі, небезпечні та шкідливі фактори.

Вступ. Захист навколишнього середовища від шкідливих викидів є однією з найгостріших проблем сучасності. Забруднення атмосфери й світового океану загрожує існуванню рослинного й тваринного світу.

Атмосфера - це найцінніший природний ресурс для промислового виробництва. Кисень й азот повітря інтенсивно використовуються в багатьох галузях промисловості. Головними споживачами кисню є пристрої, які спалюють тверде, газоподібне або рідке паливо. За середньостатистичними даними, в усьому світі щорічно спалюється близько 10...12 млн. т. умовного палива для спалювання якого потрібно близько 60 млн. т. повітря. Основним джерелом відтворення кисню є лісові масиви, але їхні площі постійно зменшуються за рахунок господарської діяльності людини й крім того, багато порід дерев гинуть саме через атмосферні забруднення.

Однак, на стан атмосфери найбільше згубно впливає інший фактор - це забруднення атмосфери летучими відходами промислового виробництва. В усьому світі в повітря щорічно викидається в середньому близько 500 млн. т твердих часток і близько 30...35 млрд. т таких розповсюджених газоподібних забруднень, як оксиди вуглецю, сірки й азоту. Робота переважної більшості теплових агрегатів пов'язана з виділенням газів, що містять пил і різні газоподібні компоненти, що шкідливо впливають на організм людини.



Найбільш масовими забруднювачами повітряного басейну є: сірчистий ангідрид, окис азоту, окис вуглецю, різні вуглеводні та пил. Тривале забруднення цими та іншими небезпечними речовинами шкідливо впливає на здоров'я людини. При цьому збільшується загальний рівень захворюваності, що обумовлено ураженням окремих органів і систем організму. На стан екологічної ситуації в Україні впливає також прояв еколого-географічних проблем. У місцях розміщення промисловості й інтенсивного руху автотранспорту реєструють найвищу міру забруднення атмосферного повітря на одиницю площі.

Таким чином, сучасні великі промислові міста, які характеризуються високою щільністю населення, опиняються у гіршому положенні відносно забруднення атмосферного повітря, якщо не вживати заходи по захисту останнього. Всього в повітряний басейн України щорічно викидається понад 20 млн. т. шкідливих речовин. Незважаючи на зниження об'ємів викидів, рівні забруднення атмосферного повітря у багатьох промислових містах залишаються високими. Головними причинами повільного зменшення викидів і рівнів забруднення є використання технологій, велика кількість яких не відповідає сучасним екологічним вимогам, значний об'єм морально застарілого і фізично зношеного устаткування, невиконання в зазначені терміни заходів по зниженню викидів в атмосферу, низький рівень експлуатації пилогазоочисних споруд [1].

Постановка задачі. Для покращення екологічної ситуації необхідно впроваджувати різноманітні пиловловлюючі пристрої, здатні забезпечити відповідний відсоток (за вимогами ГПВ) очищення відпрацьованих димових газів. Очищення газів виконують з метою подальшого використання самого газу або домішок, що містяться в ньому, з метою охорони повітряного простору від забруднень шкідливими речовинами.

У складі проекту нормативів ГПВ обов'язково розробляються і затверджуються наступні конкретні заходи по зниженню викидів в атмосферу:

- оснащення джерел викидів шкідливих речовин пилогазоочисними установками;
- заміна або реконструкція морально і фізично застарілих пилогазоочисних установок;
- виведення із експлуатації старих, екологічно неблагополучних виробництв;
- впровадження мало - і безвідходних технологічних процесів та ін.

Для очищення промислових викидів використовують різні конструкції очисних споруд, що відрізняються як за принципом роботи, так і по здатності затримувати пил і гази.

Очисні споруди для уловлювання пилу умовно можна розділити на 4 групи, відповідно до принципу їх роботи: сухі механічні пиловловлювачі; апарати фільтрації; електростатичні фільтри; апарати мокрого очищення.

Найбільше поширення отримали циклонні пиловловлювачі. Ефективність таких пиловловлювачів пропорційна розміру часток, їх класу і обернено пропорційна до величини нахилу. У зв'язку з цим під час вилучення



великодисперсного пилу їх ефективність може досягти 85-90 %, але вона істотно нижча для мілккодисперсного пилу. Нескладні по своєму конструктивному оформленню батарейні циклони (мультициклони), які дозволяють очищати великі об'єми газів. Основним напрямом в розробці циклонних апаратів є зниження їх гідравлічного опору за рахунок поліпшення аеродинамічних характеристик шляхом встановлення спеціальних пристроїв. Значний інтерес представляють циклони з рециркуляцією потоку для витягання великих концентрацій пилу - до 30 г/м³. Циклонні апарати застосовують як самостійні споруди, а також в комбінації з іншим газоочисним устаткуванням для витягання з повітря значних мас пилу.

Ще одним із перспективних і найбільш ефективних пристроїв для очищення димових газів від золи є електрофільтри. Електричне очищення димових газів від золи базується на електрофізичних явищах, які відбуваються в газах, що перебувають під дією різко неоднорідного електричного поля між електродами електрофільтрів [2].

Електрофільтри мають високу ефективність очищення газів – до 99 %; здатність вловлювати частинки будь-яких розмірів, включаючи і субмікронні, при концентрації частинок в газі до 50 г/м³; низьку експлуатаційну витрату електроенергії близько 0,1÷0,5 кВт/год на 1000 м³/год димових газів.

В даній роботі пропонується розробити комбіновану, двосхідцеву пиловловлюючу установку, яка буде складатися з двох очисних пристроїв: відцентровий циклон типу ЦН-15 (перший східець очистки від крупнодисперсної фракції пилу) і електрофільтр типу ПГДС-4-53 (другий східець очистки від мілккодисперсного пилу).

Результати роботи. В роботі виконано розрахунок запропонованої пиловловлюючої установки «відцентровий циклон - електрофільтр» для очищення запилених димових газів, які відходять від котельного агрегату, що працює на пилоподібному паливі. Відцентровий циклон встановлюється в якості першого східця очищення – від фракцій пилу більше 10 мкм, електрофільтр – другий східець, призначений для вловлювання мілккодисперсної фракції пилу (менше 10 мкм).

Розрахунки відцентрового циклону та електрофільтру проводяться по методиці, представлений у [3]. Вихідні дані та результати розрахунку відцентрового циклону типу ЦН-15 представлені в таблиці 1, а вихідні дані та результати розрахунку електрофільтру типу ПГДС-4-53 представлені в таблиці 2.

Таблиця 1 - Вихідні дані та результати розрахунку відцентрового циклону типу ЦН-15

| <i>Найменування величини</i> | <i>Одиниці виміру</i> | <i>Значення величини</i> |
|------------------------------------|-----------------------|--------------------------|
| <i>1</i> | <i>2</i> | <i>3</i> |
| Вихідні дані для розрахунку | | |
| 1. Об'єм газу, що очищується | м ³ /год. | 5000 |



| 1 | 2 | 3 |
|---|-------------------|-------------|
| 2. Температура газу, що надходить на очищення | °C | 50 |
| 3. Вологовміст газу | г/м ³ | 2,0 |
| 4. Барометричний тиск | мм.рт.ст (Па) | 750 (99990) |
| 5. Розрідження газу перед циклоном | мм.вод.ст (Па) | -10 (-98,1) |
| 6. Запиленість газу | г/нм ³ | 2,0 |
| 7. Густина пилу | кг/м ³ | 2350 |
| 8. Густина газу | кг/м ³ | 1,2 |
| Результати розрахунку | | |
| 1. Густину вологого повітря | кг/м ³ | 0,287 |
| 2. Діаметр одного циклону | мм | 595 |
| 3. Швидкість газу в циліндричній частині циклону | м/с | 2,46 |
| 4. Гідравлічний опір групи циклонів | Па | 154,23 |
| 5. Діаметр часток пилу на вході в циклон | мкм | 4,18 |
| 6. Ступінь полідисперсності | - | 7,42 |
| 7. Загальна ефективність очищення газу в одиночному циклоні | % | 88,93 |
| 8. Загальна ефективність очищення газу групового циклона | % | 89,04 |
| 9. Кінцева запиленість очищеного повітря | г/нм ³ | 0,2192 |

Таблиця 2 – Результати розрахунку електрофільтру типу ПГДС-4-53

| <i>Найменування величини</i> | <i>Одиниці виміру</i> | <i>Значення величини</i> |
|--|-----------------------|--------------------------|
| 1 | 2 | 3 |
| Вихідні дані | | |
| 1. Встановлена потужність | год./рік | 4700 |
| 2. Витрата газу | м ³ /год. | 180000 |
| 3. Густина газів | кг/м ³ | 1,31 |
| 4. Температура газів | °C | 180 |
| 5. Концентрація пилу перед електрофільтрами | г/нм ³ | 1,19 |
| 6. Концентрація пилу після електрофільтрів | мг/нм ³ | 1180 |
| 7. Сумарна концентрація забруднюючих речовин (при нормі q<1) | | 1,21-2,05 |
| 8. Швидкість потоку | м/с | 1,0 |
| 9. Розрідження в системі | кПа | 2,0 |
| 10. Робоча напруга | кВ | 100 |
| 11. Склад димових газів: | % | |
| - CO ₂ | | 13 |
| - H ₂ O | | 16,5 |
| - O ₂ | | 6,5 |
| - N ₂ | | 64 |



| Результати розрахунку | | |
|--|-------------------|--------------------------|
| 1. Густина газів при робочих умовах | кг/м ³ | 0,77 |
| 2. Витрата газу при робочих умовах | м ³ /с | 85 |
| 3. Необхідна площа поперечного перерізу електрофільтру | м ² | 85 |
| 4. Фактична швидкість газу | м/с | 1 |
| 5. Відносна густина газів при нормальних умовах | - | 0,63 |
| 6. Критичну напруженість електричного поля при негативній короні | В/м | 4,28·10 ⁶ |
| 7. Критичне напруження корони | кВт | 24,6 |
| 8. Лінійна щільність струму корони | А/м | 1,2·10 ⁻³ |
| 9. Напруженість електричного поля | В/м | 5,61 |
| 10. Молекулярна маса газової суміші | кг/моль | 28,69 |
| 11. В'язкість газової суміші | Па·с | 0,155·10 ⁻⁴ |
| 12. Швидкість руху (швидкість дрейфу) часток розміром більше 1 мкм | м/с | 23,96·10 ⁴ ·г |
| 13. Загальний ступінь очищення газу в електрофільтрі | % | 99,98 |
| 14. Зміст пилу в газі, що очищується | г/нм ³ | 0,0119 |

Результати розрахунків представлені на рисунках 1 – 4.



Рисунок 1– Дисперсний склад пилу у відцентровому циклоні

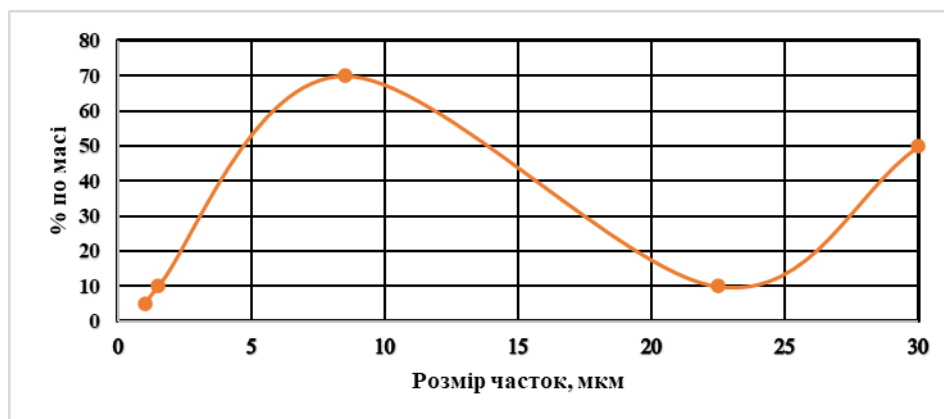


Рисунок 2 – Дисперсний склад пилу в електрофільтрі

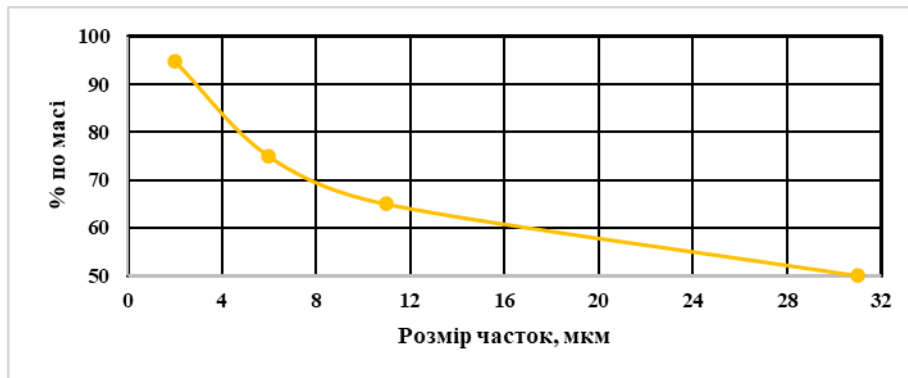
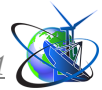


Рисунок 3 - Масовий розподіл пилу по розмірах в циклоні

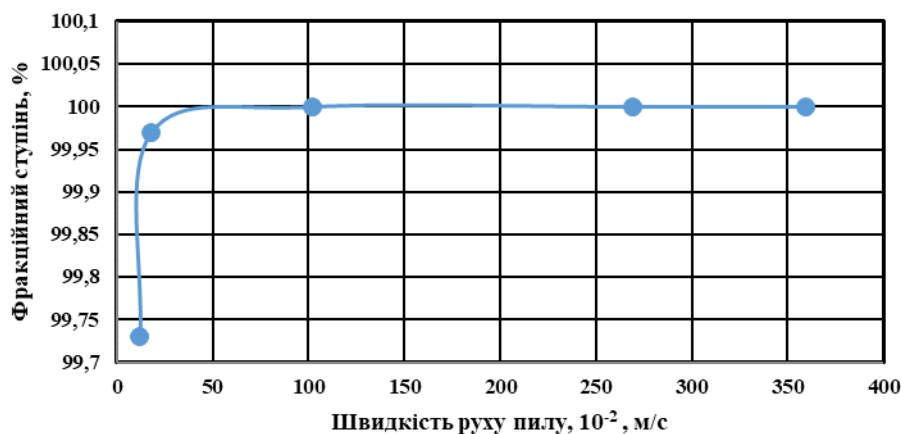


Рисунок 4 – Фракційний ступінь очищення газу в електрофільтрі

Результати розрахунку показують, що дисперсний склад пилу в електрофільтрі змінюється зворотно пропорційно, тобто зі збільшенням розміру часток відсоток по масі, в більшості випадків, зменшується, в циклоні все навпаки, зі збільшенням розміру часток відсоток по масі збільшується. Масовий розподіл пилу по розмірах в циклоні змінюється, таким чином, що при збільшенні розміру часток, зменшується і відсоток по масі. Що до фракційного ступеня очищення газу в електрофільтрі, можна сказати, що при збільшенні швидкості руху пилу, збільшується і відсоток вловлювання пилу.

Висновки. Зробивши аналіз отриманих результатів, можна зробити висновок, що використавши дво- або трьохсхідцеву схему очищення запиленних газів, можна досягти значно більшого відсотку очищення. Тобто, в якості першого східця очищення пропонується встановити відцентровий циклонний апарат, який буде вловлювати пил крупних фракцій пилу, а другим східцем - електрофільтр, який остаточно буде вловлювати пил мілкої фракції, яка пройшла крізь циклонний апарат і не була вловлена в ньому. Загальна ефективність запропонованої схеми очищення димових газів складає більше 99 %.

Література.

1. Тимонин А.С. Инженерно-экологический справочник. Т.1. – Калуга: Издательство Н. Бочкаревой, 2003. – 917с.



2. Техника пылеулавливания и очистки промышленных газов: Справ. изд. Алиев Г.М. – А. М.: Metallurgiya, 1986. – 544 с.

3. Пылеулавливание и очистка газов в черной металлургии. Изд. 2-е, перераб. и доп. Юдашкин М.Я. М: Metallurgiya, 1984. – 320 с.

Abstract. *The paper examines the influence of the operation of the boiler unit, which runs on pulverized fuel, on the state of the environment; effective measures have been developed to reduce emissions and improve the ecological condition of the region through the development and implementation of a combined flue gas cleaning system. The performed calculations of dust-capturing devices allow us to assert the feasibility and perspective of using a multi-stage exhaust gas cleaning device (two or more stages), for example, a cyclone device is installed as the first stage of cleaning (cleaning from large fractions of dust, larger than 10 microns), and an electrostatic precipitator is used as the second stage, which cleans exhaust gases from a smaller fraction of dust (less than 10 microns). Such a combination of dust-capturing equipment allows to achieve almost 100% degree of purification of dusty flue gases and is the most effective and ecologically appropriate option for solving the problem of environmental pollution.*

Keywords: *boiler unit, centrifugal cyclone, electrostatic precipitator, environmental protection, fractional composition of dust, waste gases, maximum permissible emissions, inertial dust collectors, dangerous and harmful factors.*

Стаття відправлена: 19.04.2023р.

© Глущенко О.Л.