

ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА»  
Факультет гірничо-металургійний  
Кафедра безпеки праці та охорони довкілля

**АВТОРЕФЕРАТ**  
**кваліфікаційної роботи**

на здобуття освітнього ступеня магістра

за підсумками виконання  
освітньо-професійної програми  
«Інноваційні технології та системи  
захисту навколишнього середовища»  
за спеціальністю 183 Технології захисту навколишнього середовища

**на тему «Вдосконалення системи аспірації та газоочисної установки на  
дільниці коксортування коксового цеху»**

Здобувач



Володимир ГАЛАЙ

Кам'янське, 2024

Кваліфікаційною магістерською роботою є рукопис.

Робота виконана у Технічному університеті «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА» на кафедрі безпеки праці та охорони довкілля.

Керівник:

Максимова Наталія Миколаївна, канд. техн. наук, доцент, доцент кафедри безпеки праці та охорони довкілля

Захист відбудеться 23 січня 2024 р. о 09:00 год на засіданні екзаменаційної комісії ([https://teams.microsoft.com/l/meetup-join/19%3ameeting\\_NWMzYzdiMTgtOGQ1ZS00NDQyLTgyNmItNTk0Njk1YzQ0YTQ2%40thread.v2/0?context=%7b%22Tid%22%3a%221f6a60da-12a6-4028-9d77-a98fa5c6b40f%22%2c%22Oid%22%3a%2201efadc2-6354-43fb-8f92-8e8c2485636b%22%7d](https://teams.microsoft.com/l/meetup-join/19%3ameeting_NWMzYzdiMTgtOGQ1ZS00NDQyLTgyNmItNTk0Njk1YzQ0YTQ2%40thread.v2/0?context=%7b%22Tid%22%3a%221f6a60da-12a6-4028-9d77-a98fa5c6b40f%22%2c%22Oid%22%3a%2201efadc2-6354-43fb-8f92-8e8c2485636b%22%7d)).

Електронна версія автореферату розміщена в Інституційному репозитарії ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА» 20 січня 2024 р.

## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ

**Актуальність теми досліджень.** Виробничі процеси супроводжуються впливом як на виробниче середовище, так і на довкілля, що проявляється, зокрема, за рахунок викидів забруднюючих речовин в атмосферне повітря. Тому, задача сталого розвитку технічних і організаційних заходів з покращення умов праці та мінімізації впливу на довкілля є актуальною. Аспірація є необхідною складовою процесів, що супроводжуються виділенням пилу і газів, тому пошук шляхів вдосконалення систем аспірації та газоочисних установок, зокрема на дільниці коксортування коксового цеху, є актуальним науково-практичним завданням.

**Мета і завдання дослідження.** Метою кваліфікаційної роботи є обрати оптимальний варіант вдосконалення системи аспірації існуючої установки сортування коксу для забезпечення якості повітря в робочих зонах обслуговуючого персоналу, зменшення екологічного тиску на прилеглі території та оптимізацію операційних витрат.

Для досягнення мети в роботі необхідно розв'язати наступні задачі:

- 1) проаналізувати особливості коксового пилу;
- 2) обрати оптимальний шлях для вдосконалення системи аспірації;
- 3) визначити найкращу технологію для очищення повітря від пилу в умовах удосконаленої системи аспірації;
- 4) розрахувати основні параметри для вибору газоочисного обладнання;
- 5) розглянути сучасні аспекти інтегрованої системи екологічного управління, управління охороною здоров'я та безпекою праці на металургійному підприємстві;
- 6) розрахувати очікувані еколого-економічні ефекти від вдосконалення системи аспірації та газоочисної установки на дільниці коксортування коксового цеху

**Об'єкт досліджень** – видалення забрудненого повітря із робочих зон персоналу та його рециркуляція після очищення.

**Предмет дослідження** – система аспірації коксортувалки коксового цеху.

**Методи дослідження.** Для виконання визначених завдань було використано загальнонаукові методи досліджень, а саме: спостереження, інструментальні вимірювання, лабораторні дослідження, розрахунки, порівняння та аналіз результатів.

На підставі огляду науково-технічної літератури на тему облаштування вентиляційних систем та способів очищення повітря від пилу, проведено розрахунки продуктивності аспіраційних пристроїв необхідної для забезпечення прийнятних умов, виконані розрахунки екологічної та економічної ефективності проєкту.

Визначено спосіб оптимізації роботи аспіраційних пристроїв для зменшення експлуатаційних витрат. Вирішено проблему поводження з пилом отриманим із очищеного повітря

**Структура кваліфікаційної роботи.** Робота складається зі вступу, 5 розділів, висновків, списку використаних джерел, 1 додатку. Загальний обсяг роботи становить 82 сторінок, робота містить 20 рисунків, 9 таблиць. Список використаних джерел складається з 29 джерел.

## **ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ**

**У першому розділі** «Аналіз існуючих методів боротьби з викидами пилу в коксохімічній промисловості» виконано огляд викидів коксохімічного виробництва, серед яких визначено найбільш небезпечні, розглянуто природу пилоутворення та особливості коксового пилу.

У низці основних металургійних виробництв коксохімічному належить "провідне" місце за різноманітністю, високою токсичністю і специфічним задушливим запахом багатьох газоподібних викидів.

Концентрації шкідливих речовин, як от бензол, нафталін, бензапирен, у продуктах горіння і у неорганізованих викидах у десятки і сотні разів перевищують ГДК у повітрі. Уловлювання і нейтралізація цих токсичних речовин є безумовною необхідністю, кардинальне скорочення викидів, можливе шляхом глибокої модернізації основних технологічних процесів і обладнання, включно з газоочисними апаратами та установками. Основне джерело викидів в повітря – це газів від процесу коксування. Крім того, багато викидів є розсіяними викидами від різних джерел, таких як розвантаження, зберігання, транспортування, дроблення і змішування (підготовлення) вугілля. Тому слід приділяти більше уваги можливостям вдосконалення системи аспірації коксового пилу з робочих зон персоналу ділянки коксортувалки з подальшим очищенням повітря, що скидається, від пилу.

Під час сортування валового коксу на товарні класи за крупністю основною забруднюючою речовиною повітря є пил, дисперсний склад якого –  $d_m=80:340$  мкм. Коксовий пил є високоабразивним, гідрофобним і майже не злежується.

При транспортуванні, перевантаженні, грохоченні коксу відбувається інтенсивне пиловиділення.

Обладнання що використовують для очищення аспірованого повітря від коксового пилу:

- на першій ступені використовують одиночні та групові циклони, ефективність (80-85%) для крупнодисперсного пилу.
- на другому ступені – мокрі пиловловлювачі, ефективність (до 99%).
- використання рукавних фільтрів на другому ступені або індивідуально дозволяє очистити повітря на 99,95%.

Системи збору та відведення пилових викидів представлені найчастіше пиловловлюючим пристроєм та системою повітропроводів, також використовуються локальні укриття з очищенням повітря безпосередньо в місці відбору. Під час конструювання необхідно враховувати наступні аспекти: 1) куполи

(зонти), повітропроводи і укриття повинні інтегруватися в єдину конструкцію з технологічним обладнанням і не заважати робочим процесам; 2) повітрозабірники мають бути максимально наближеними до джерела пилоутворення; 3) розміри зонтів в плані не можуть бути меншими за джерело пилоутворення; 4) зменшення розмірів зонта призводить до збільшення витрати повітря, що аспірується; 5) поле швидкостей в приймальному отворі кожуха рекомендується регулювати відповідно до швидкості в потоці виділень шкідливих речовин, використовуючи вставки, розсіювачі та випрямляючі решітки.

**У другому розділі «Обґрунтування вдосконалення системи аспірації та газоочисної установки на дільниці коксортування коксового цеху»** означено місцеві екологічні проблеми та причини їх виникнення, описано сутність коксохімічного виробництва, наведено технологічну схему діючого коксового цеху та детальний огляд обладнання для подрібнення, сортування і відвантаження коксової продукції, представлено детальний огляд існуючої газоочисної установки (ГОУ) дільниці. Представлені результати досліджень ефективності роботи ГОУ, на підставі яких окреслені напрямки для вдосконалення цієї установки.

Підприємство з повним металургійним циклом суттєвий вплив на екологічний стан прилеглого регіону.

Основним процесом хімічної переробки кам'яного вугілля для отримання коксу є високотемпературне коксування. Технологічний процес виробництва коксу складається з наступних основних операцій: завантаження камер коксування вугільної шихтою; коксування; видача коксу; мокре гасіння коксу; сортування і відвантаження коксу; обігрів печей; відведення газу з камер коксування і його охолодження. Завершальною стадією виробництва продукції є транспортування конвеєрами, подрібнення, розсів на фракції та відвантаження коксу у залізничні вагони, що відбувається на дільниці коксортування коксового цеху. Вказані процеси супроводжуються виділенням коксового пилу, основними джерелами якого є: місця перевантаження, подрібнення, розсіву та

завантаження у вагони. Для відведення забрудненого пилом повітря із робочих зон коксортувалки ділянка обладнана ГОУ (рис. 1).

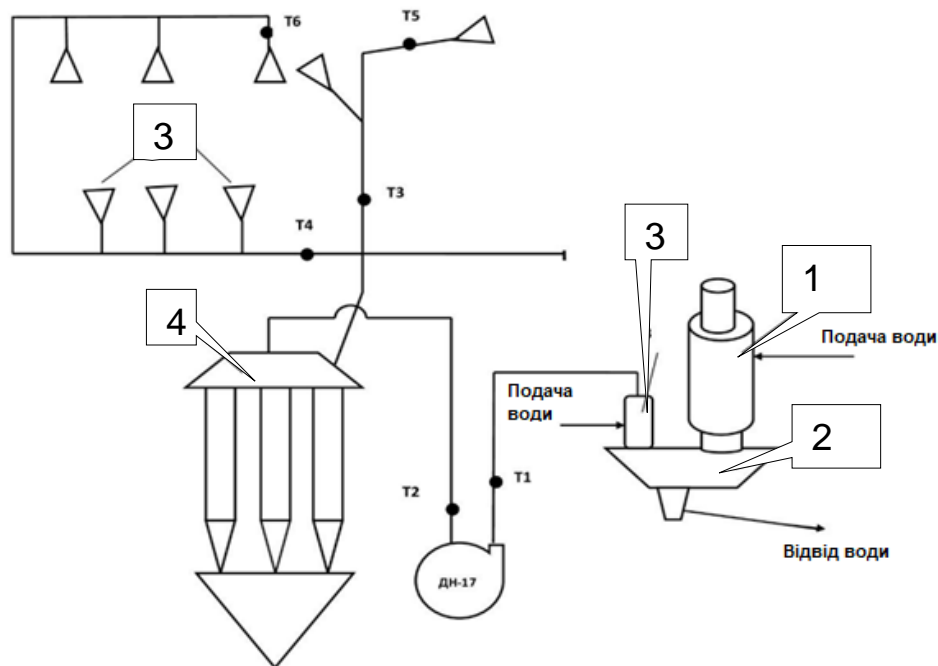


Рисунок 1 – Схема обладнання ГОУ: 1 – скруббер; 2 – краплеуловлювач; 3 – щелевий коагулятор; 4 – груповий циклон; 5 – система газопроводів з прийомними зонтами

За час експлуатації ГОУ виявлено ряд недоліків, які зменшують надійність та енергоефективність цього обладнання: 1) розгалужена мережа газопроводів ускладнює наладку рівномірності розподілу газового потоку; 2) швидке абразивне зношення матеріалу газопроводів за рахунок високих швидкостей потоку з наближенням до димососу; 3) надмірні витрати електроенергії для роботи димососу на подолання гідравлічного опору розгалуженої системи газопроводів; 4) надмірні витрати електроенергії за рахунок неможливості регулювання кількості задіяного обладнання. Коксортувалка має дві черги, які працюють циклічно (то одна то друга) при цьому ГОУ одна і нероздільна, тобто 40% потужності витрачається на прокачку через ГОУ чистого повітря із робочих зон не працюючого обладнання.

Для оцінки ефективності та доцільності роботи ГОУ було проведено експеримент з інструментальними вимірами за допомогою аспіратуру ASA – 4M вмісту коксового пилу в повітрі робочих зон приміщень коксортувалки під час роботи установки з ГОУ, та повторне вимірювання в тих самих точках без використання ГОУ: приміщення дробарки, майданчик біля валкового грохоту, майданчик біля вібраційного грохоту, майданчик загального навантажувального жолобу. В ході досліджень виявлено, що у разі відключення ГОУ максимальна концентрація пилу в робочих зонах складає  $7,1 \text{ мг/м}^3$ , при включеній ГОУ  $4,9 \text{ мг/м}^3$ .

За результатами досліджень отримано:

1) пил крупнодисперсний та легко піддається уловлюванню, ГОУ має фактичну ефективність більш ніж 99,5%;

2) велика кількість пилу перед входом до групового циклону (концентрація  $8000 \text{ мг/м}^3$ ) в умовах не значної різниці між концентрацією коксового пилу в повітрі робочих зон під час роботи ГОУ та з відключеною ГОУ ( $\sim 2 \text{ мг/м}^3$ ) свідчить про значно завищені об'єми аспірації для забезпечення необхідної швидкості газопилового потоку для ефективної роботи циклонів. Оптимальна швидкість газу на вході в циклон 20-25 м/с, за меншої швидкості недостатня дія відцентрових сил на частинки пилу;

3) ключову роль у попередженні виходу коксового пилу в робочі зони коксортувалки відіграють укриття осередків пиління та їх якість.

Таким чином, більша частина енергії необхідної для роботи димососу, який забезпечує роботу ГОУ, витрачається на подолання місцевих гідравлічних спротивів газоходів, компенсацію прососів в газоходах, забезпечення швидкості газового потоку необхідної для нормальної роботи циклонів; в наслідок завищених об'ємів аспірації винос пилу в газоходи перевищується в десятки разів, екологічний податок, який розраховується як добуток фактичного вмісту пилу у викидах після очистки на об'єм аспірації і на час роботи установки сплачується надмірно. Якість повітря в робочих зонах і у викидах зі стаціонарного організованого джерела відповідають встановленим нормати-

вам, але світові тенденції спрямовані на підвищення вимог до якості атмосферного повітря, що дає привід для пошуку шляхів вдосконалення.

**У третьому розділі** «Технологічні та конструктивні рішення щодо вдосконалення системи аспірації та газоочисної установки на дільниці коксортування коксового цеху» наведено огляд напрямків оптимізації аспіраційного обладнання та запропонована технологія аспірації та очищення повітря, яка повинна бути використана під час проектуванні обладнання. Для очищення аспірованого повітря від коксового пилу запропоновано використовувати рукавні фільтра, представлені основні конструктивні рішення їх розміщення.

За довідником з найкращих доступних технологій в металургії (НДТМ) рекомендовано для установок з регулювання гранулометричного складу коксу (коксосортвалок) поєднання двох методів боротьби з викидами забруднюючих речовин: 1) використання закритих будівель для розміщення обладнання або облаштування укритть; 2) ефективне відведення (аспірація) запиленого повітря або газу з подальшим його очищенням від пилу. Рівень викидів, який можливо забезпечити шляхом використання рекомендованих заходів, може складати  $<10 \text{ мг/нм}^3$ . Тому доцільно забезпечити установку пристроями з мінімальною витратою аспіраційного повітря для забезпечення припинення виділення пилу з укриття.

Технологія локалізації пиловиділень за допомогою аспіраційних укриттів з подальшим очищенням повітря безпосередньо на місці позбавляє від проблем під час транспортування запиленого повітря та дозволяє зменшити винос пилу за рахунок зменшення швидкості забору повітря.

Розрахунки параметрів аспірації та обладнання для очищення повітря виконано за методикою, до основи якої покладено рівняння повітряного балансу. Кількість повітря, що видаляється, з укриття за ізотермічних умов, рівняється кількості повітря, що поступає в укриття по жолобам, через відкриті робочі пройми та щілини. В укритті має підтримуватися розрідження, яке забезпечує в нещільностях і отворах зустрічний потік повітря, та перешкоджає витіканню пилу в приміщення.

В підсумку розраховано необхідну продуктивність місцевих аспіраційних пристроїв, що склала від 6 до 16 м<sup>3</sup>/год

Із проведених розрахунків можливо зробити висновок, що основним фактором якій впливає на необхідну продуктивність місцевої аспірації є кількість і розміри технологічних отворів укриття зони активного пилоутворення.

Оптимальним рішенням для виконання задач проєкту є технологія реалізована компанією DFT – використання конвеєрних струменевих фільтрів, яка дозволяє досягнути значень залишкового пилу <1мг/нм<sup>3</sup>. Пил повертається безпосередньо до матеріального потоку, відходи відсутні.

Необхідна площа фільтрувальної тканини в рукавному фільтрі визначається втратою тиску газу, яка залежить від швидкості фільтрації, частоти регенерації та низки інших факторів. Згідно рекомендацій щодо швидкості фільтрації було розраховано площу фільтрувальної поверхні для кожного пристрою (від 96м<sup>2</sup> до 273м<sup>2</sup>), після чого було визначено фактичну швидкість та виконано перевірочні розрахунки, які підтвердили результати попередніх розрахунків.

Щоб конвеєри не ставали джерелом пилу, від обслуговуючого персоналу вимагається багато уваги до їхнього технічного стану, своєчасна заміна та ремонт зношених і зруйнованих частин, зокрема й стрічки конвеєра.

**У четвертому розділі «Охорона праці»** наведено огляд організаційної структури сучасного металургійного підприємства щодо управління охороною праці та захисту навколишнього середовища. Представлені основні аспекти інтегрованої системи управління, яка складається з системи екологічного управління та системи управління охороною здоров'я та безпекою праці встановлює єдині вимоги до організації та функціонування систем, що діють на підприємстві.

**У п'ятому розділі «Розрахунок ефективності проєкту з вдосконалення системи аспірації та газоочисної установки на дільниці коксосортування коксового цеху»** визначено очікуваний екологічний і економічний ефекти, яких можна досягнути у разі реалізації проєкту.

Екологічні та економічні операційні покращення досягаються за рахунок зниження вмісту пилу на виході із фільтру (до 6,0 мг/м<sup>3</sup>), а також зменшення сумарного середньодобового об'єму повітря, що аспірується (440 тис. м<sup>3</sup>/добу), в наслідок підвищення ефективності аспірації і виключення аспірації повітря над обладнанням, що не працює.

Середньорічний об'єм викидів коксового пилу з аспірації коксортувалки буде складати 0,96т/рік. Тобто реалізація проекту дозволить знизити викиди пилу в навколишнє середовище від обладнання коксортувалки в 25 разів.

Витрати електроенергії на роботу ГОУ складатимуть 44165 кВт·год/рік. Реалізація проекту дозволить підвищити енергоефективність аспіраційного обладнання коксортувалки в 13,6 разів.

Ставка екологічного податку для забруднюючих речовин (сполук), які не увійшли до п. 243.1 Податкового Кодексу України та на які не встановлено клас небезпечності (крім двоокису вуглецю), застосовується залежно від установлених орієнтовно безпечних рівнів впливу таких речовин (сполук) в атмосферному повітрі населених пунктів (п. 243.3). Для коксового пилу ставка екологічного податку складає 96,99 грн/т. Щорічна економія складатиме 2 243 грн/рік.

Річна вартість за електроенергію, яка необхідна для експлуатації існуючої ГОУ, складатиме 2733,5тис.грн/рік.

Сумарний економічний ефект від реалізації проекту за рахунок зниження затрат на виробництво становитиме 2 735,7 тис. грн/рік.

## **ВИСНОВКИ**

У кваліфікаційній роботі вирішена актуальна науково-практична задача, що полягає у визначенні найкращого шляху вдосконалення системи аспірації ділянки коксортувалки спрямоване на покращення умов праці, зменшення екологічного навантаження на територію, та оптимізацію витрат на виробництво основної продукції.

В роботі вирішені наступні питання:

1. На підставі огляду науково-технічних джерел виявлено, що коксовий пил: вибухових властивостей не має; майже не злежується; належить до групи гідрофобних часток, що є протипоказником для уловлювання в мокрих пиловловлюючих апаратах; є крупнодисперсним, крупністю від 80 до 340 мкм. Крупність пилу залежить від швидкості руху повітря в зоні пилоутворення.

2. При значеннях швидкості повітря, що втягується в укриття зони пиління, більше 1 м/с вихід пилу з цих зон припиняється, а отже дану швидкість можна прийняти як оптимально ефективну при підборі аспіраційного обладнання.

3. Під час експерименту підтверджено ефективність існуючої системи аспірації для забезпечення якості повітря робочих зон, але виявлено значне скорочення пилоутворення в умовах відключення примусової вентиляції зон активного пиління. Це дозволило зробити висновок про необхідність зменшення продуктивності аспіраційного пристрою до мінімальної, що забезпечує припинення виходу пилу з укриття, та розрахувати параметри місцевого відсосу.

4. За результатами аналізу доступних технологій обрано оптимальну для використання в умовах коксосортувалки коксового цеху, а саме використання струменевих рукавних фільтрів, встановлених безпосередньо на укриття зон активного пилоутворення.

5. Розглянуто аспекти інтегрованої системи управління, яка складається з системи екологічного управління, системи управління охороною здоров'я та безпекою праці, що діють на сучасному металургійному підприємстві повного циклу.

6. Розрахунково підтверджено екологічну ефективність та надано прогноз покращення щорічного фінансового результату за рахунок зменшення виробничих витрат у разі реалізації проекту вдосконалення системи аспірації та газоочисної установки на ділянці коксосортування коксового цеху.

## ПЕРЕЛІК ПУБЛІКАЦІЙ ЗА РЕЗУЛЬТАТАМИ ВИКОНАННЯ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ

1. Halai V. A., Maksymova N. M. Review of dust protection measures in the areas of coke industry development. MININGMETALTECH 2023 – THE MINING AND METALS SECTOR: INTEGRATION OF BUSINESS, TECHNOLOGY AND EDUCATION. Volume 2. 2023. URL: <https://doi.org/10.30525/978-9934-26-361-3-137>.

### АНОТАЦІЯ

**Галай В.А. Вдосконалення системи аспірації та газоочисної установки на дільниці коксортування коксового цеху.**

Кваліфікаційна робота на здобуття ступеня магістра за спеціальністю 183 Технології захисту навколишнього середовища.

Робота присвячена скороченню викидів коксового пилу в навколишнє середовище, за рахунок радикальної зміни технології аспірації забрудненого повітря із зон пилоутворення, та технології очищення видаленого повітря.

За рахунок експериментальних досліджень виявлено ключовий недолік існуючої системи аспірації повітря із зон пилоутворення, а саме – необхідність транспортування потоку зі швидкістю не менш ніж мінімально необхідна для роботи групового циклону, що призводить до значних втрат. Запропоновано використовувати місцеві пилозахисні укриття з вбудованими пилососами, розраховано їх продуктивність та основні параметри рукавних фільтрів для них. Технологія відноситься до безвідходних за рахунок повернення уловленого пилу в технологічний потік під час регенерації фільтрів. Це дозволить досягнути операційних покращень в економічних та екологічних показниках підрозділу за рахунок зменшення витрат на енергоресурси та оплату екологічних податків за викиди пилу зі стаціонарних організованих джерел.

**Ключові слова:** система аспірації, газоочисна установка, коксортування, коксовий пил, струменевий рукавний фільтр.

## **ABSTRACT**

**Halai V.A. Improvement of the aspiration system and gas cleaning equipment at the coke sorting section of the coke shop.**

Qualification work for a master's degree in the specialty 183 Environmental Protection Technology.

The work is devoted to the reduction of coke dust emissions into the environment by radically changing the technology of aspiration of contaminated air from dust formation zones and the technology of purification of the removed air.

Experimental studies have revealed a key disadvantage of the existing system of aspiration of air from dust formation zones, namely, the need to transport the flow at a speed not less than the minimum required for the operation of a group cyclone, which leads to significant losses. It is proposed to use local dust shelters with built-in dust pumps, their performance and the main parameters of bag filters for them are calculated. The technology is classified as non-waste due to the return of the captured dust to the process flow during filter regeneration. This will allow achieving operational improvements in the economic and environmental performance of the unit by reducing energy costs and paying environmental taxes for dust emissions from stationary organized sources.

**Keywords:** aspiration system, gas cleaning unit, coke sorting, coke dust, jet bag filter.