

С.О. Жуков, д.т.н., проф.
А.М. Кириченко, к.т.н., доц.
В.І. Мулявко, к.т.н., доц.
С.М. Панова, к.т.н.
Криворізький технічний університет

ПЕРСПЕКТИВНИЙ НАПРЯМОК ЗАХИСТУ АТМОСФЕРИ ВІД ВИКИДІВ ПИЛУ ПРИ ПЕРЕРОБЦІ ГРАНІТІВ ПОЛІССЯ

Викладені основні напрямки покращення пилоловлювання в цехах каменеобробки за рахунок удосконалення пилоочисної системи.

Технологічний процес переробки гранітів на будівельний щебінь супроводжується утворенням величезної кількості пилу, що не тільки забруднює повітряний басейн населених пунктів, але і викликає серйозні професійні захворювання серед працюючих на підприємствах. Багаторічний виробничий досвід, вивчення проектної документації свідчать про практично повсюдну зміну на каменедробильних заводах двохстадійної системи очищення забрудненого повітря (с.м.т. Пенізевичи Житомирської обл., с.м.т. Клесів, Томашгород Ровенської обл., м. Полонне, Староконстантинів Хмельницької обл.).

Як правило, на першій фазі очищення використовують циклони різних типів в одиночному виконанні або в залежності від необхідної продуктивності.

На другій стадії – рукавні фільтри рудничних типів (ФРУ, ФВ, ФВК, РФСП, ФРКН тощо) і в одиничному варіанті – барботажний фільтр (с.м.т. Клесів, КНИ № 472 МО України), тому що застосування «мокрих» пилоловлювачів дуже обмежується через необхідність підтримки позитивних температур повітря, що очищається, у зимовий період.

Об'єктивно, «сухе» пилоловлення приносить менше шкоди навколишньому середовищу, ніж «мокре», тому що залучення води в процес пилоловлення потребує додаткових як енергетичних витрат, так і необхідність наявності достатньої кількості води, шламового господарства, площ під нього тощо.

Ефективність пилоловлення «сухих» механічних апаратів залежить від механізму осадження, використовуваного в них гравітаційного (пилоосаджуючі камери), інерційного (жалюзійні апарати, камери з вертикальними перегородками тощо), відцентрового (одиночні і групові циклони, вихрові і динамічні пилоловлювачі) і механізми фільтрації (тканеві фільтри і фільтри з нетканних матеріалів).

Найбільш розповсюдженим типом «сухого» механічного пилоловлювача є циклони, що пояснюється їхнім дуже простим виготовленням і відсутністю частин, що рухаються, в апараті, надійністю в роботі за будь-яких температур газів і майже постійним гідравлічним опором.

Разом з тим гідравлічний опір високоефективних циклонів є досить великим і досягає 1250–1500 Па, а частки розміром 5 мкм і менше практично не вловлюються, що пояснюється вторинним віднесенням пилу через дуже складний характер руху газового потоку і малу довжину апарата.

Теоретичні дослідження очищення газів у циклонах дозволили одержати формулу, яка характеризує мінімальний (критичний) діаметр часток, що цілком вловлюються апаратом. При цьому приймався ряд допущень:

- а) частки не впливають одна на одну;
- б) при досягненні ступеня циклона частки не можуть бути знову віднесені газом;
- в) опір руху часток у газовому середовищі підкоряється закону Стокса.

Авторами було зроблено ще кілька припущень:

- а) потік є настільки турбулентним, що перебування частки в будь-якій точці неретину є рівновірогідним;
- б) дія відцентрових сил виявляється тільки в приграничному шарі;
- в) швидкість у криволінійному каналі змінюється за законом:

$$U = \frac{U_0}{12} \cdot \frac{p}{R}, \quad (1)$$

де U_0 – швидкість повітря в провідному патрубку циклона;

p – радіус-вектор точки, у якій визначається швидкість;

R – радіус циклона.

Тоді, використовуючи імовірнісний метод, одержимо формулу для розрахунку ефективності роботи циклона:

$$E = 1 - e^{-\frac{H \rho_q d_q^2 U_0^2}{2592 \eta_r Q}}, \quad (2)$$

де ρ_q , d_q – щільність і діаметр частки;

H – висота циклона;

η_r – динамічна в'язкість газу;

Q – продуктивність циклона.

Як видно з формули (2), ефективність уловлювання пилових часток у циклоні залежить від його висоти і швидкості газу в ньому. Практичні дослідження показують, що збільшення висоти апарата не призводить до відчутного росту ефективності, але при цьому тільки зростають енерговитрати. Надмірне збільшення швидкості може призвести до віднесення пилу з циклона і різкого збільшення гідравлічного опору.

Розрахунки за цією формулою показали, що ефективність уловлювання пилових часток 30 мкм і більше у циклоні діаметром 0,4 м не перевищує 60 %.

Це підтверджується дослідженнями і спостереженнями на каменедробильних заводах Полісся [2, 3].

Встановлено, що ефективність очищення повітря, що аспірується в циклонах різного типу і компоновання, не перевищувало 60 % і було причиною наднормативних викидів пилу в атмосферу. Невідповідність фактичної ефективності роботи циклонів їхнім технічним характеристикам зумовлена рядом організаційних і технічних причин, усунути які практично дуже складно, до них варто віднести:

1. Високу абразивність пилу, що утворюється в процесі дроблення, просівання і перервантажень гірських порід. Надходячи в циклон з великою швидкістю (від 18 до 22 м/с на вході і від 1,7 до 4,5 м/с у робочій частині), такий пил швидко протирає корпус, що призводить до необхідності його ремонту чи повної заміни після 3–6 місяців експлуатації. Часті заміни циклонів призводять до того, що в багатьох випадках їх продовжують експлуатувати в несправному стані з дуже низьким коефіцієнтом очищення.

2. Недотримання графіка розвантаження циклона призводить до заповнення бункера і різкого падіння ефективності його роботи.

3. Технічне виконання розвантажувальної частини бункерів на багатьох установках не забезпечує ретельної герметизації пилорозвантажуючих патрубків. Підсмоктування повітря через них значно знижує ефективність роботи апарата, а якщо воно досягає 18–20 %, ефективність роботи циклонів стає рівною нулю.

4. Ефективність роботи циклона залежить від його аеродинамічного опору, що є пропорційним динамічному тиску потоку. Тому в кожному конкретному випадку варто встановлювати оптимальну вхідну швидкість, яка забезпечує достатню ефективність пиловловлення й економічно припустимі витрати на подолання аеродинамічного опору апарата. Особливо помітним є падіння ефективності роботи циклона зі зменшенням швидкості руху потоку на вході, що неминуче виникає в процесі експлуатації аспіраційних систем через знос вентиляторів, збільшення аеродинамічного опору частини повітроводів від місць відсмоктування до циклонів у результаті пилоосадження в горизонтальних і слабопохилих їхніх ділянках, а також непродуктивних відсмоктувань на ділянках від циклонів до вентиляторів. Тому ефективність очищення різко падає і за результатами вимірів, у кращому випадку, складає 40–50 % її номінальної величини.

Кожна з перерахованих вище причин істотно впливає на якість роботи першого ступеня очищення, а спільний вплив декількох з них призводить до тих незадовільних результатів, що мають місце на практиці.

Збої в роботі першого ступеня очищення неминуче позначаються на ефективності роботи її другого ступеня і призводять до передчасного виходу з ладу всієї аспіраційної системи.

У тих випадках, коли запиленість повітря, що аспірується, не перевищує 7–10, а найчастіше 3–4 г/м³ технічно можливим є здійснення одноступінчастого очищення повітря від пилу в тканевих рукавних фільтрах, що можуть ефективно працювати при запиленості повітря до 20 г/см³.

Однак економічно це є недоцільним. Насамперед це пов'язано з необхідністю збереження оптимально високої повітропроникності фільтрувальних матеріалів у рівноважно запиленому стані. При високому пиловому навантаженні при фільтрації фільтрувальні матеріали згодом втрачають здатність утримувати після регенерації кількість пилу, достатню для забезпечення високої ефективності очищення газів від тонкодисперсних часток. Висока абразивність пилу призводить до зниження механічної міцності і стійкості, до стирання тканинних фільтрів. Спостерігаються просічка тканини та її пориви. Істотним недоліком експлуатації рукавних фільтрів є різке зниження їх продуктивності при фільтрації газів, насичених вологою, що ускладнює процес видалення накопиченого пилу й експлуатацію фільтра в цілому.

Тому основну масу найбільш крупного пилу необхідно вловлювати більш простими і дешевими апаратами. З усіх найпростіших пиловловлюючих апаратів найбільшою стабільністю в роботі відзначаються гравітаційні пилоосаджуючі камери. Відносно невеликі капітальні й експлуатаційні витрати при їхньому використанні вигідно відрізняють пилоосаджуючі камери від інших апаратів. Зміна аеродинамічних параметрів аспіраційних систем у процесі їхньої експлуатації, що завжди мають тенденцію в напрямку зменшення кількості аспіруемого повітря, не знижують коефіцієнта очищення в пилоосаджуючих камерах, як це має місце в циклонах, а підвищують його, тому що він є обернено-пропорційним швидкості руху запиленого повітряного потоку в камері. Через невелику швидкість руху пило-повітряних потоків у камерах абразивність пилу практично не впливає на термін служби останніх. Відзначаючись дуже невеликим аеродинамічним опором, пилова камера значно знижує загальний опір аспіраційної мережі, що дає можливість застосування низьконапірних, тобто більш економічних вентиляторів.

Ефективність роботи пилових камер залежить від цілого ряду параметрів, що відносяться до аеродинаміки пило-повітряного потоку, що очищується, його фізичного стану, фізико-механічних властивостей пилу, геометричних форм і розмірів камери. Справляючи вплив в той чи інший бік, можна активно впливати на ефективність роботи пилової камери, укрупнивши частки пилу – збільшити швидкість їхнього осадження й одночасно ефективність роботи камери при тих же геометричних розмірах. Одним з способів коагуляції часток пилу є розміщення на шляху їхнього руху різних матеріалів, що створюють електростатичний ефект у пило-повітряному потоці, що рухається. Зокрема, одним з таких матеріалів є капронові волокна, що характеризуються високою механічною міцністю і стійкістю до стирання при багаторазових вигинах. Крім електростатичного впливу на пиловий потік волокнисті капронові нитки сприяють механічній коагуляції часток і пилоосадженню через втрату енергії частки, що рухається, при ударі об волокна.

Таким чином, одним з перспективних способів підвищення ефективності роботи пилоосаджуючих камер є стабілізація режиму руху пило-повітряного потоку і зменшення висоти осадження шляхом установки розділових поверхонь по висоті і довжині робочої частини камери в сполученні з використанням вільно підвішеного капронового волокна по ширині камери.

Перевірка ефективності роботи горизонтальної пилоосаджуючої камери з волоконними шторами в промислових умовах була проведена на аспіраційній системі № 2 цеху середньодрібного дроблення Клесівського КНІ № 472. Пилоосаджуючі камери являють собою збірну металеву конструкцію, що складається з окремих модулів розміром 4,68x4,68x3,0 м. Площа поперечного перетину камери 21,9 м². По довжині було встановлено чотири модулі, довжина робочої частини камери склала 12 м [3].

Аналізуючи результати експериментів, необхідно відзначити дуже високе пилове навантаження на пиловловлювач. Однак стабільна оптимально ефективна швидкість повітря в камері (0,35 м/с) дозволила досягти очищення повітря від пилу в середньому до 95 % при мінімальній ефективності 93,9 % і максимальній 96,2 %, а кількість уловленого пилу склала від 54,31 до 115,15 г/с.

Промислові дослідження підтвердили високу ефективність роботи пилоосаджуючих камер з волоконними шторами, безсумнівною перевагою яких є простота в обслуговуванні, надійність у роботі і довговічність в експлуатації.

Враховуючи всі позитивні якості горизонтальних пилоосаджуючих камер з волоконними шторами, вони мають істотні недоліки, велику металоємність і досить великі габаритні розміри,

що вимагає значних площ на промайданчиках, які є дуже обмеженими на більшості підприємств. Крім того, у пиловловлювачах запилений повітряний потік послідовно проходить ряди пиловловлюючих елементів з постійною швидкістю, внаслідок чого уловлюються, в основному, частки однакової крупності і майже не уловлюються більш дрібні частки, що обумовлює більш низький ступінь очищення повітря від дрібнодисперсного пилу.

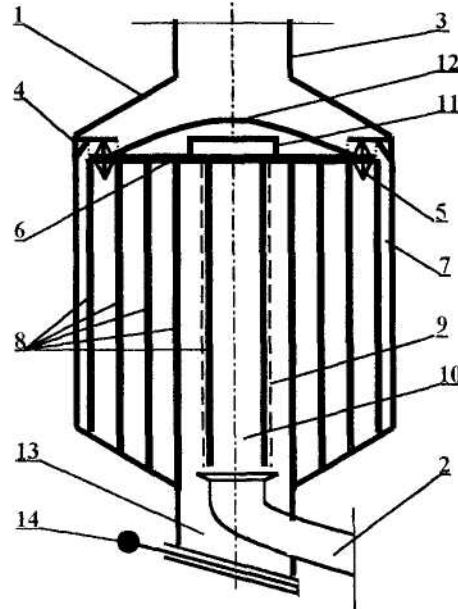


Рис. 1. Пилоосаджувача камера

Рішення поставленої задачі, підвищення ступеня очищення повітря від пилу досягається вертикальною пилоосаджувачою камерою (рис. 1).

Пиловловлювач містить корпус 1 з патрубком підведення 2 запиленого і відводу 3 очищеного повітря, у верхній частині на кронштейнах 4 і пружинах 5 установлена дископодібна перегородка 6 з утворенням кільцевого зазора 7 для відсмоктування очищеного повітря, до якої прикріплені верхні кінці ниток пиловловлюючих елементів 8, виконаних у вигляді співвісних циліндричних поверхонь різного діаметра (їхня довжина перекриває усю висоту корпусу), а також прикріплена труба 9, виготовлена з твердої сітки, що фіксує нитки першого пиловловлюючого елемента, усередині якої утворено компенсаційну камеру 10. На перегородці 6 установлено вібратор 11 з укриттям 12 для регенерації пиловловлюючих елементів 8. Пиловловлювач також містить бункер-накопичувач 13 для збору уловленого пилу з герметичним затвором 14.

Пиловловлювач працює в такий спосіб. Запилений потік повітря з великою швидкістю через вхідний патрубок 2 подається вертикально в компенсаційну камеру 10, утворену першим пиловловлюючим елементом 8, нитки якого зафіксовані трубою 9 з твердої сітки, і відбитою дископодібною перегородкою 6, де відбувається інтенсивне перемішування його з відбитим від перегородки 6 потоком і вирівнювання тиску в усіх точках камери 10, що призводить до перенапряму потоку, що очищається, горизонтально з утворенням радіальних потоків, початкові швидкості яких перпендикулярні до пиловловлюючих поверхонь 8 і є меншими швидкості потоку у вхідному патрубку:

$$V = \frac{d_{BX}^2 V_{BX}}{4 ДН}, \quad (3)$$

де d_{BX} – внутрішній діаметр вхідного патрубку;

V_{BX} – швидкість повітряного потоку в ньому;

$ДН$ – діаметр і висота компенсаційної камери.

Різке зменшення швидкості запиленого потоку в компенсаційній камері призводить до гравітаційного осадження з нього крупних часток. Подальше очищення повітря від пилу здійсню-

ється на рядах пиловловлюючих елементів, причому швидкість потоку зменшується при переході його від одного елемента до іншого за законом:

$$V = \frac{d_{BK}^2 V_{BK}}{8rH}, \quad (4)$$

де r – радіуси пиловловлюючих елементів.

Зменшення швидкості фільтрації призводить до збільшення ступеня очищення кожного наступного елемента через перевагу дифузійного осадження часток дрібнодисперсного пилу на нитках, пиловловлюючих елементів, тобто вони вловлюють пил усе меншого розміру. Загальний ступінь очищення визначається за формулою:

$$\eta = 1 - (1 - \eta_1)(1 - \eta_2) \dots (1 - \eta_m), \quad (5)$$

де $\eta_1, \eta_2, \dots, \eta_m$ – ступені очищення пиловловлюючих елементів у міру зростання їхнього радіуса; m – кількість рядів пиловловлюючих поверхонь.

Для горизонтальної пилоосаджуючої камери ступінь очищення розраховується за формулою:

$$\eta = 1 - (1 - \eta_i)^m, \quad (6)$$

де η_i – ступінь очищення кожного пиловловлюючого елемента.

Як видно з порівняння виразів (5) і (6), ступінь очищення пропонованого пиловловлювача буде більшою. Запилений потік, проходячи по черзі через пиловловлюючі елементи 8, очищується від усе більш дрібного пилу і попадає в кільцевий зазор 7, а звідти в патрубок для відводу очищеного повітря 3.

Уловлений пил періодично струшується включенням вібратора 11, потрапляючи в бункер-накопичувач 13, обладнаний герметичним затвором 14.

Геометричні параметри вертикальної пилоосаджуючої камери визначаються необхідною кількістю повітря, що підлягає очищенню.

Осадження пилу у вертикальній камері з волоконними шторами відбувається під впливом гравітаційних, інерційних і електростатичних сил [4]. На інтенсивність цього процесу впливає цілий ряд факторів: висота падіння пилової частки до поверхні осадження, розміри часток, кількість кінетичної енергії частки, що рухається разом з повітряним потоком, час перебування порошини в межах пилоосаджуючої камери, накопичення електростатичного заряду на частках пилу і нитках (волокнах) при трибоелектризації тощо.

Внутрішній устрій вертикальної камери виконано з розрахунком впливу на ці фактори убик підвищення ефективності пиловловлення. Для цієї мети до дископодібної перегородки у вигляді співвісних циліндричних поверхонь прикріплені верхні кінці ниток пиловловлюючих елементів з капронового волокна діаметром 1–15 мкм на усю висоту корпусу. Товщина розпушених концентричних штор – 50–70 мм.

Циліндричні штори служать як волоконний фільтр, у якому відбувається втрата кінетичної енергії порошини при проходженні між волокнами, що сприяє інтенсивній коагуляції дрібних пилових часток з наступним їх осадженням. Крім чисто механічної коагуляції пилових часток на волоконних шторах, останні створюють електростатичний ефект у пило-повітряному потоці, що рухається.

Принципова відмінність характеру взаємодії з пило-повітряним потоком вільно підвішених капронових волокон, які не мають основи й утоку, від взаємодії капронової тканини в процесі фільтрації полягає в тому, що в першому випадку частки пилу за своїми геометричними параметрами можуть вільно проходити між волокнами і, коагулюючи на них під дією сили ваги, інерційних і електростатичних сил, осаджуватися на нижню, обмежуючу поверхню. Тому робочі швидкості руху пило-повітряного потоку через вільно підвішені волокна можуть у 5–100 разів перевищувати максимально можливі швидкості фільтрації в тканинних фільтрах без істотної втрати напору.

Таким чином, на каменедробильних заводах Полісся є доцільним і технічно можливим здійснювати одноступінчате очищення повітря від пилу у вертикальних пилоосаджуючих камерах з волоконними шторами, що забезпечить нормальні санітарні умови на робочих місцях і попередить викиди зашпиленого повітря в атмосферу.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Мулявко В.И., Кириченко А.М., Панова С.Н. Способ расчета приземной концентрации пыли для точечного источника // Разработка рудных месторождений. – № 65. – С 11–12.
2. Калмыков А.В. Обеспыливание дробильных цехов. – М.: Недра, 1976. – 125 с.
3. Обеспыливание технологических процессов, разработка рекомендаций по обеспечению санитарных условий труда и защита атмосферы от загрязнений на КНИ № 472 МО СССР / Отчет о НИР / КГРИ, Рук. А.М. Кириченко и др., 1989. – 188 с.
4. Вилкул Ю.Г., Мулявко В.И., Кириченко А.М., Панова С.Н. Вертикальная пылесадительная камера с волоконными шторами // Разработка рудных месторождений. – № 58. – С 97–102.

ЖУКОВ Сергій Олександрович – доктор технічних наук, професор, завідуючий кафедрою промислового, цивільного і гірничого будівництва Криворізького технічного університету.

Наукові інтереси:

- комплексне освоєння родовищ корисних копалин;
- екологічно орієнтовані технології видобування і переробки корисних копалин.

КИРИЧЕНКО Анатолій Михайлович – кандидат технічних наук, доцент кафедри екології Криворізького технічного університету.

Наукові інтереси:

- екологічно орієнтовані технології переробки корисних копалин.

МУЛЯВКО Валерій Іванович – кандидат технічних наук, доцент кафедри фізики Криворізького технічного університету.

Наукові інтереси:

- екологічно орієнтовані технології переробки корисних копалин.

ПАНОВА Світлана Миколаївна – кандидат технічних наук, викладач кафедри екології Криворізького технічного університету.

Наукові інтереси:

- екологічно орієнтовані технології видобування і переробки корисних копалин.

Подано 07.06.2002