

## СУЧАСНІ МЕТОДИ ОЧИЩЕННЯ ПОВІТРЯ ВІД ПРОМИСЛОВИХ ВИДІВ ПИЛУ

У статті зроблено аналіз ступеня екологічної небезпеки внаслідок неконтрольованого викиду промислового пилу в атмосферу. Наведено математичну модель процесу руху частинок полідисперсного пилу в різних зонах пиловловлювача при різних умовах подачі пилоповітряної суміші в апарат, яка заснована на емпіричних передумовах та теоретичних співвідношеннях однофазних турбулентних потоків. Описано методику експериментальних досліджень процесу пиловловлення в розроблених вихрових апаратах.

**Ключові слова:** пилоочистка, пиловловлювач, газодинамічні потоки, жалюзійний відокремлювач, аерозоль, антропогенне навантаження.

**Стан проблеми.** Захист повітряного басейну від забруднення промисловими та вентиляційними викидами є однією з найсерйозніших проблем світової спільноти. Об'єми викидів в атмосферу регламентуються як державними, так і міжнародними конвенціями, для забезпечення яких передбачається впровадження безвідходних технологій, вдосконалення існуючих виробництв, ліквідація шкідливих викидів у самому осередку, а за неможливості забезпечення цих заходів – створення нових ефективних методів та апаратів для вловлення шкідливих речовин і пилу з викидів.

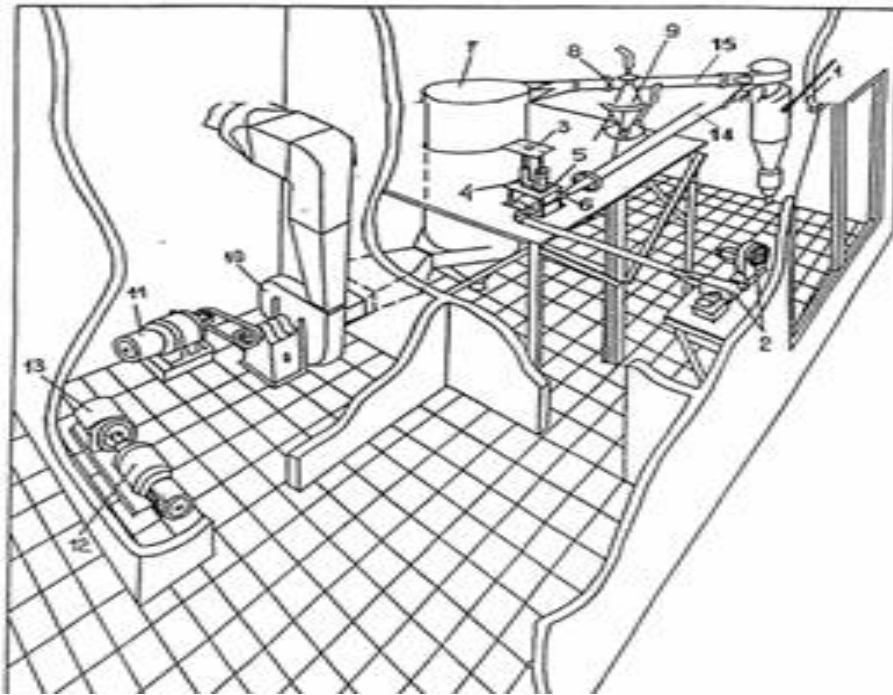
Аналіз відомих методів пилоочистки довів, що незважаючи на ефективне вловлення великодисперсних фракцій пилу, вони не можуть забезпечити очищення від фракцій пилу менших за  $1 \cdot 10^{-5}$  м більше, як на 85%, а спроби підвищити ефективність їх роботи призводять до значного ускладнення схем пилоочистки.

Таким чином, можна окреслити важливу науково-практичну проблему – зниження антропогенного навантаження на довкілля, що може бути вирішено шляхом комплексних досліджень в галузі розробки методів розрахунку, проектування, виготовлення та експлуатації нових схем пилоочистки, які б здійснювали в одному апараті декілька ступенів очистки, заснованих на використанні відцентрових, інерційних сил та сил тяжіння та створення на їх базі математичних моделей. Вирішення цієї проблеми має сприяти не тільки підвищенню ефективності роботи пиловловлювачів, але й зниженню енерго- та металоємності, скороченню виробничих площ та зниженню вартості очищення.

**Викладення основного матеріалу.** Для вивчення процесів, які протікають у пиловловлювачах, розроблено лабораторний стандартний експериментальний стенд, який відповідає всім вимогам, прийнятим для таких випробувань „Єдиною методикою порівняльних досліджень” у Львівському державному університеті безпеки життєдіяльності (рис. 1).

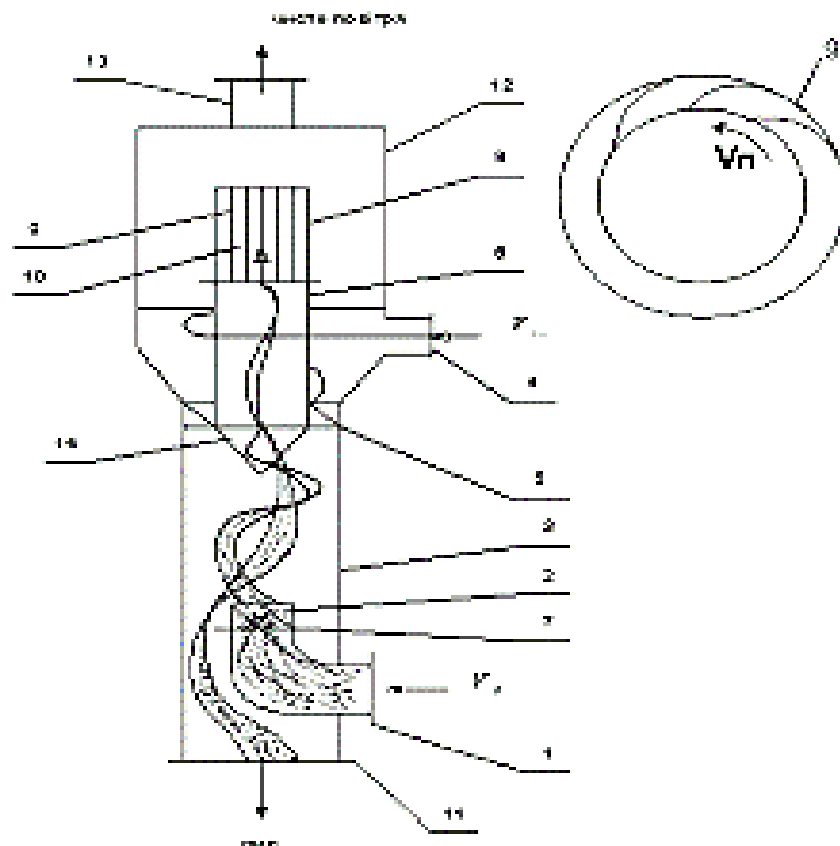
Відповідно до загальноприйнятих вимог для такого обладнання, з метою визначення впливу конструктивних та технологічних параметрів запропонованих апаратів на ефективність їх роботи, було виготовлено розбірні експериментальні зразки пиловловлювачів і заплановано проведення багатофакторних експериментів за планом Коно 2 (КО<sub>2</sub>). Розрахунки проводилися з використанням стандартного пакета Office (Excel).

Визначення характеру руху частинок, що транспортуються потоком у закручених пилоповітряних потоках, та осадження їх на твердій поверхні потребує розрахунку динамічних рівнянь для турбулентного потоку і частинки. Точного вирішення цієї задачі немає, й, в основному, використовуються різні розрахункові схеми [4]. У цій роботі ми пропонуємо одну модель з цього ряду, засновану на емпіричних передумовах і теоретичних співвідношеннях однофазних турбулентних потоків. Мотивацією для такого підходу є занадто малий вплив частинок на динаміку пилогазового потоку. Складено систему диференціальних рівнянь газодинаміки для осесиметричного потоку Ейлера і наведені методи її розв'язання [5].



**Рис. 1.** Загальний вигляд експериментального стенду

1 – пиловловлювач; 2, 10 – вентилятор; 3 – пилоподавач; 4 – змішувач; 5 – ежектор; 6 – колектор; 7 – рукавний фільтр; 8 – шайба; 9 – прилад зовнішньої фільтрації; 11, 13 – двигун; 12 – генератор; 14, 15 – шибери

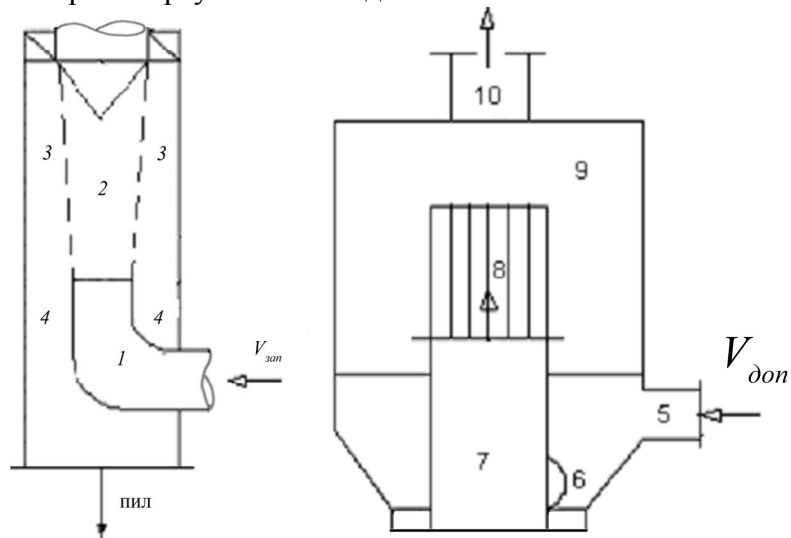


**Рис. 2.** Схема вихрового пиловловлювача:

1, 4 – вхідні патрубки для подачі запиленого та допоміжного газу; 2, 5 – завихрювачі; 3, 12 – корпус нижнього і верхнього апарата; 6, 13 – патрубки виходу очищеного повітря; 7 – поворотна шайба; 8 – жалюзійний відокремлювач; 9 – жалюзі; 10 – отвори між жалюзі; 11 – пиловипускний патрубок; 14 – малий бункер.

Для вирішення такої задачі використано метод розрахунку газодинамічних потоків, який комбінує властивості ейлерового та лагранжевого підходів, і дає змогу певною мірою усунути недоліки кожного - це метод „частинок у комірці”. Його запропонував Ф. Харлой [5], який використовує нерухому ейлерову та лагранжеву сітку, що представляє елементи, які рухаються по ейлеревій сітці. Розрахунок нестаціонарного руху проводиться кроками за часом. Перехід від одного часового шару  $t$  на інший,  $t + \tau$ , у методі „частинок у комірці” здійснюється у два етапи. На першому – частинки нерухомі (не враховується рух). На другому етапі за допомогою моделювання руху частинок враховуються процеси їх перенесення. Потoki визначаються дискретним способом щойно частинка перетинає межу ейлерової комірки, переходячи з комірки 1 в комірку 2, маса, імпульс і енергія частинки віднімаються від маси, імпульсу й енергії комірки 1 і додаються до маси, імпульсу й енергії комірки 2.

Для запропонованого апарата виведено рівняння балансу та руху аерозолу в газовому потоці і балансова схема транспортування й осадження частинок із нього.

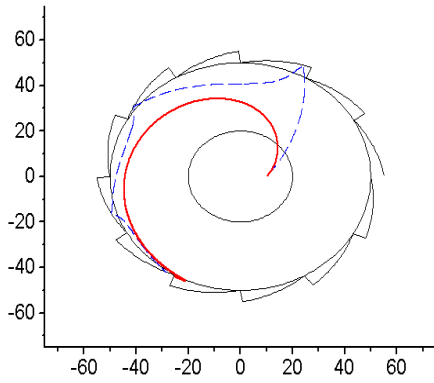


**Рис .3.** Розподіл об'єму вихрового апарата на зони: а) – нижня частина; б) – верхня частина

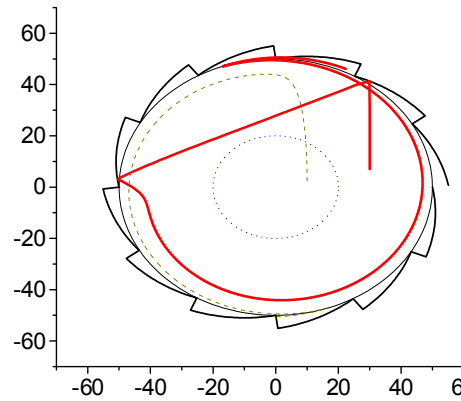
Для розв'язання системи отриманих диференціальних рівнянь на ПК використовували конкретний випадок методу Гіра – удосконалений метод Адамса, який є можливим через нелінійність задачі і стрибкоподібність розв'язків, але при цьому було враховано рикошетування частинок [5].

Для цього весь об'єм циклону було поділено на нижню (рис.3 а) та верхню (рис. 3б) частини, що дало змогу провести математичне моделювання процесу руху та сепарації частинок аерозолу в різних робочих зонах вихрового пиловловлювача, і визначено коефіцієнти опору, які залежать від розмірів, форми та стану поверхні частинок.

Частинки, що рухаються біля жалюзійного відокремлювача, зона 8-9, рухаються по траєкторіях, близьких до вихідної щілини, потрапляють під дію поперечних потоків повітря. Якщо маса частинки невелика і швидкість її руху незначна, то відхилення її від початкової траєкторії може бути таким суттєвим, що вона втягнеться в цю щілину разом з очищеним повітрям (рис. 4). Якщо траєкторія руху частинки дуже віддалена від входу в щілину між жалюзі відокремлювача, рухається із значною швидкістю і має достатню масу, то відхилення її від початкової траєкторії руху буде невеликим (рис. 5). Залежно від величини відхилення частинки буде мінятися кут атаки  $\alpha$  (кут між площиною кожної жалюзі і напрямком руху потоку), тобто, величина втрат енергії при кривому потраплянні на жалюзі і подальша траєкторія їх руху.



**Рис.4.** Перехід із внутрішнього у зовнішній вихор



**Рис. 5.** Частинка з внутрішнього вихору залишається всередині і вловлюється

Таким чином, створено апроксимаційну модель руху частинок пилу в апараті, за допомогою якої ми зможемо для кожного типу аерозолі побудувати траєкторії його руху в апараті теоретично, маючи різні конструктивні параметри пиловловлювача, а в подальшому підібрати найбільш ефективний пиловловлювач для кожного конкретного виду технологічного виробництва.

На характер руху частинок значний вплив мають умови їх контакту при ударі з поверхнею корпусу пиловловлювача, а при достатньо великих швидкостях руху можливе явище рикошету (відбиття) частинки, яке впливає не лише на її локальну поведінку, а й на якісний характер захоплення частинки в робочих зонах.

Наведений розподіл радіальних і тангенціальних швидкостей у різних зонах апарата доводить, що значення радіальних швидкостей вищі в центральній частині апарата, а значення тангенціальних швидкостей вищі біля його стінок.

із врахуванням сил, що діють на частинку в апараті складено рівняння її руху в радіальному напрямку у векторній формі:

$$\bar{F}_P = \bar{F}_Ц + \bar{F}_{Оп} + \bar{F}_{ГДР}, \quad (1)$$

де  $\bar{F}_P$  – сила руху, що діє на частинку в апараті в радіальному напрямку і визначає рух частинки до стінки або осі, Н;  $F_Ц$  – відцентрова сила, Н;  $F_{Оп}$  – сила опору середовища, Н;  $F_{ГДР}$  – сила гідравлічного опору апарата, Н.

Припустимо, що частинка рухається від осі апарата до його стінки, тоді, з урахуванням напрямків сил, рівняння (1) у скалярних величинах набуде вигляду:

$$F_P = F_Ц - F_{Оп} - F_{ГДР}. \quad (2)$$

У данному випадку диференціальне рівняння руху частинки в радіальному напрямку можна записати так:

$$\rho_T \frac{\pi d_u^3}{6} \frac{d^2 r_1(t)}{dt^2} = \rho_T \frac{\pi d_u^3}{6} \omega^2 r_1(t) - C_1 \pi \frac{\rho_0 d_u^2}{8} \left( \frac{dr_1(t)}{dt} \right)^2 - 3\pi \rho_0 \nu d_u \frac{dr_1(t)}{dt}, \quad (3)$$

де  $\rho_T$  – щільність механічних домішок, кг/м<sup>3</sup>;  $d_u$  – діаметр частинки, м;  $r$  – радіус обертання частинки, м;  $\omega$  – кутова швидкість обертання частинки, с<sup>-1</sup>;  $C_1$  – коефіцієнт, що залежить від форми тіла, для кулі  $C_1 = 0,1 - 0,4$ ;  $\rho_0$  – щільність середовища, кг/м<sup>3</sup>;  $\nu$  – коефіцієнт кінематичної в'язкості, м<sup>2</sup>/с;

Наведене рівняння свідчить, що характер руху може мати три варіанти:

- якщо відцентрова сила більша за модулем від суми сил опору середовища й гідравлічного опору, то частинка рухається до стінок апарата і через нижній патрубок виходу пилу видаляється з нього;

- якщо сума сил опору середовища й гідравлічного опору більша за модуль від відцентрової сили, то частинка рухатиметься до осі апарата і далі, разом з висхідним потоком повітря, до жалюзійного відокремлювача й випускного патрубка очищеного повітря;
- якщо відцентрова сила дорівнює за модулем сумі сил опору середовища й гідравлічного опору, то частинка рухається у стані рівноваги на певній орбіті і випадає в малий бункер, а її розмір визначає граничний діаметр частинок, які вловлюються в апараті.

**Висновок:** Таким чином, математичне моделювання процесу сепарації відображає взаємозв'язок процесу руху твердих частинок в апараті з його ефективністю, що дало змогу отримати траєкторію руху частинок на різних ділянках апарата, за якою розрахована його ефективність для кожного типу пилу, а це дає змогу для кожного типу аерозолу теоретично, маючи різні конструктивні параметри пиловловлювачів, підібрати найбільш ефективну конструкцію для кожного конкретного типу технологічного виробництва.

#### Список літератури:

1. Шелюх Ю. Є. Математична модель транспортування та осадження пожежно-небезпечного пилу в очисному обладнанні систем вентиляції. Пожежна безпека. – 2010 – №16 – С. 78–83.
2. Шелюх Ю.Є. Ефективність впровадження вахрових пиловловлювачів для зниження концентрації пожежонебезпечного пилу. Пожежна безпека. – 2010– №16– С.78–83.
3. Бредшоу М. Турбулентность. – М. Машиностроение, 1980.- 343с.
4. Адлер Д., Барон А. Розрахунок тривимірного пилу круглого струменя в поперечному потоці // Ракетна техніка й космонавтика. – 1979 – с. 53 – 60.
5. Хоролу Ф.Х. Чисельний метод частинок в комірках для задач гідродинаміки. Обчислювальні методи в гідродинаміці. – Мир, 1967.

*Ю.Є. Шелюх*

### СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ ОЧИСТКИ ВОЗДУХА ОТ ПРОМЫШЛЕННЫХ ВИДОВ ПЫЛИ

В статье проведен анализ степени экологической опасности в результате неконтролируемого выброса промышленной пыли в атмосферу. Представлена математическая модель процесса передвижения частичек полидисперсной пыли в разных зонах пылеуловителя при разных условиях подачи пылевоздушной смеси в аппарат, которая основана на эмпирических предположениях и теоретических соотношениях однофазных турбулентных потоков. Описано методологию экспериментальных исследований в разработанных вихревых аппаратах.

**Ключевые слова:** пылеочистка, пылеуловитель, газодинамические потоки, жалюзийный отделитель, аэрозоль, антропогенная нагрузка.

*Yu. Ye. Shelukh*

### MODERN METHODS OF AIR PURIFICATION FROM INDUSTRIAL TYPES OF DUST

In the article an analysis of environmental danger level as a result of uncontrolled emission of industrial dust in the atmosphere is carried out. A mathematical model of movement process of polydisperse dust particles in various areas of a dust collector, supplying dust and air mixture in various modes to the apparatus, which is based on empirical and theoretical ratio of one phase turbulent flows, is presented. A methodology of experimental research of dust collecting process in the developed turbulent machinery is described.

**Key words:** dust cleaning, dust collector, gas dynamic flows, chevron separator, aerosol, anthropogenic load.

