

**Математичні моделі робочого процесу вихрового циклону**

Вінницький національний технічний університет

**Анотція**

*В даній статті розглядаються методи розрахунку ефективності пиловловлювального обладнання, що поєднують в собі декілька способів очистки газів від завислих в них твердих частинок. Розроблені математичні моделі процесу сепарації в цих апаратах, які дозволяють визначити найбільш точно їх ефективність і оцінити доцільність застосування у виробничих умовах.*

**Ключові слова:** аспірація; математична модель; циклон; САЕ; агломерація.

**Abstract**

*In this article, we consider methods for calculating the efficiency of dust extraction equipment, which combine several methods for cleaning gases from solid particles suspended in them. The mathematical models of the separation process in these devices are developed, which allow to determine the most accurately their efficiency and evaluate the expediency of application in production conditions.*

**Keywords:** aspiration; mathematical model; cyclone; CAE; agglomeration.

Через те, що немає стандартних методик випробування циклонів та методів розрахунку їхньої ефективності - поширюється застосування не найкращих конструкцій апаратів. Тому створення математичної моделі процесу очищення повітря у циклоні є актуальною задачею, що має як теоретичне, так і практичне значення [1]. З моменту винайдення циклонів погляди на процес уловлення пилу постійно змінювалися.

Спочатку була популярна гравітаційна теорія циклонного процесу [1]. Припускалося, що незалежно від ефективності сепараційного процесу, розмір частинок, які можуть бути винесені з циклону, визначається швидкістю газів, які виходять крізь вихлопну трубу.

Границя випадання аерозольних частинок з потоку при такому представленні визначається рівністю сили захоплення цих частин потоком сили тяжіння, тобто

$$6\pi r\mu V_0 = \frac{4}{3}\pi r^3\rho \quad (1)$$

де  $V_0$  – осьова швидкість потоку у вихлопній трубі, м/с;

$\rho$  – об'ємна вага частинки, кг/м<sup>3</sup>;

$\mu$  – динамічний коефіцієнт в'язкості, Па·с;

$r$  – радіус частинки, м

В дійсності гравітаційне осідання частинок із висхідного потоку має не таке важливе значення. Циклонна сепарація проходить не тільки у вертикальному, а і у горизонтально розташованому апараті. Виникає суперечність з практикою.

На основі проведених експериментальних випробувань було запропоновано відцентрову теорію циклонної сепарації, яку можна розглядати як перший досвід аналітичного опису закономірностей інерційної сепарації [2].

П.М.Смухін та П.А.Коузов припустили, що сила інерції частинки рівна відцентровій силі, яка діє при обертанні. Крім того, швидкість частинки відрізняється від швидкості газу тільки наявністю радіальної складової (Рис. 1) [2].

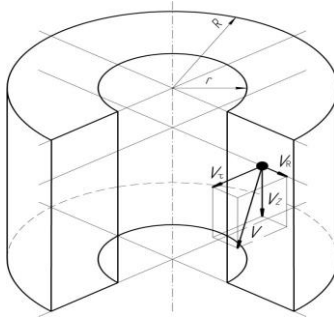


Рис.1. Швидкість потоку повітря та її складові

$V$  – вектор швидкості;  $V_t$  – тангенціальна складова;  $V_R$  – радіальна складова;  $V_z$  – осьова складова;  $R$  – радіус циліндричної частини;  $r$  – радіус вихлопної труби

Тангенціальна швидкість руху частинки в кожний момент вважається рівною швидкості руху газу в цій точці. Оскільки відцентрова сила спрямована по радіусу обертання, то зі вказаних умов отримаємо рівність [3].

$$6\pi\mu V_r = m \frac{V_t^2}{R} \quad (2)$$

де  $V_R$  – радіальна складова швидкості частинки, тобто швидкість сепарації, м/с;

$R_n$  – радіус потоку, м;  $m$  – маса частинки, кг;

$V_t$  – тангенціальна складова швидкості частинки, кг;

Значний крок до розуміння процесів уловлення пилу в циклоні зробив О.І. Пірумов. Диференціальне рівняння руху частинки пилу в криволінійному потоці у векторній формі було записано наступним чином:

$$\frac{d\vec{V}}{dt} = \frac{1}{\tau} (\vec{W} - \vec{V}) = -\frac{1}{\tau} \vec{V}_c \quad (3)$$

де  $\vec{W}$  – середня швидкість потоку;

$\vec{V}$  – абсолютна швидкість руху частинки відносно нерухомої системи координат;

$\vec{V}_c$  – відносна швидкість руху частинки.

Якщо врахувати, що переносний рух частинки пилу є обертальним, то відповідно до теореми Коріоліса про абсолютне прискорення точки при складному русі рівняння (3) можна представити як

$$\frac{d\vec{V}_c}{dt} + \vec{\omega} \cdot (\vec{\omega} \cdot \vec{R}) + \left(\frac{d\vec{\omega}}{dt} \cdot \vec{R}\right) + 2(\vec{\omega} \cdot \vec{V}_c) = -3\pi\mu d_p V_c \quad (4)$$

Спроекувавши рівняння (4) на осі полярної системи координат, після перетворень, маємо рівняння руху частинок в криволінійному каналі на початковому етапі.

$$\frac{d}{dt} (R^2 \cdot \frac{d\varphi}{dt}) + \frac{1}{\tau} \cdot R^2 \cdot \frac{d\varphi}{dt} = \frac{k}{\tau} \quad (5)$$

де  $k$  – деяка постійна величина, що визначається об'ємними витратами потоку повітря та геометричність розмірами поперечного перерізу криволінійного каналу.

За межами початкового етапу, рівняння (5) набуває вигляду:

$$\frac{d^2 R}{dt^2} + \frac{1}{\tau} \frac{dR}{dt} - \frac{k^2}{R^3} = 0 \quad (6)$$

Внаслідок розв'язання цих рівнянь можна отримати траєкторії руху частинок пилу в циклоні [3].

Спільними недоліками описаних вище теорій є такі:

- не враховуються конструкційні особливості циклона;
- досліджується рух частинки тільки у циліндричній частині циклона або у вихлопній трубі;
- результати обчислення діаметра найменших частинок пилу, які будуть уловлені в циклоні, відповідно до описаних теорій, є завищеними;
- розглядається рух виключно окремої частинки пилу і нехтується взаємодією частинок між собою та зі стінкою апарата.

### Висновок

Найкраще аеродинамічні процеси, що відбуваються у сепараторах, можна описати за допомогою диференціальних рівнянь в частинних похідних, що представляють собою ті чи інші моделі механіки рідин і газів. Але розв'язок таких задач для циклонів можна отримати лише числовим шляхом. Тому у зв'язку з розвитком комп'ютерної техніки та програмного забезпечення, суттєво розширилися можливості числового аналізу завдяки САЕ (Computer Aided Engineering) технологій, тобто технологій розрахункового аналізу конструкцій.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Борьба с пылью на деревообрабатывающих предприятиях / О. Н. Русак, В. В. Милохов. – М. : Лесн. пром-сть, 1975 – 150 с.
2. Пирумов А. И. Обеспыливание воздуха в системах вентиляции и кондиционирования : автореф. дисс. на соискание учен. степени д-ра техн. наук : спец. 05.17.08 "Процессы и аппараты химических технологий" / Пирумов А. И.; Моск. лесотехн. ин-т;.. – М., 1975. – 35 с.
3. Коузов П. А. Очистка от пыли газов и воздуха в химической промышленности. / Коузов П. А., Мальгин А. Д., Скрыбин Г. М. – Л. : Химия, 1982. – 256 с. : ил., табл. – Библиогр.: с. 254-255.

**Автори доповіді:** *Вадим В'ячеславович Лучков* – студент, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, E-mail: VadimLuchkov777@gmail.com

*Іван Васильович Коц* – кандидат технічних наук, професор кафедри інженерних систем у будівництві, Україна, м. Вінниця, Вінницький національний технічний університет, Email: ivkots@i.ua

**The report:** *Vadym V. Luchkov* – student, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, E-mail: VadimLuchkov777@gmail.com

*Ivan V. Kots* – Ph. D. (Eng.), professor of the department of engineering in construction, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, Email: ivkots@i.ua