

УДК 533.682

Клименко І.В., Ковальов В.А.

Національний технічний університет України "Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського", м. Київ

АЕРОДИНАМІЧНІ ОСОБЛИВОСТІ АСПРАЦІЇ ЗАПИЛЕНОГО ПОВІТРЯ У ВИРОБНИЧИХ ПРИМІЩЕННЯХ ЗА ДОПОМОГОЮ ЦИКЛОНІВ

Інтенсифікація промислового виробництва, зневажа до природних екологічних систем приводять навколишнє середовище до стану кризи та виникнення різних аномалій, наприклад, незворотних температурних змін в атмосфері планети, ураганів, повеней тощо. Тому стало досить актуальним завдання раціонального природокористування у поєднанні з ефективним зниженням негативного впливу подібних факторів, зокрема промислового виробництва, на біосферу.

Широко відомі методи електростатичного осадження пилу, фільтрації тканинними та рукавними фільтрами з використанням зносостійких матеріалів та методів самоочищення. Але одним з поширених методів очищення повітря та газів у подібних технологічних процесах є використання різноманітних фільтрів циклонного типу. У штучно створеному у межах такого апарату вихровому потоці повітря та газу (циклоні) завдяки дії на тверді та рідкі частки відцентрових сил інерції відбувається їх відокремлення від основного потоку та утилізація у спеціальних бункерах [1, 2]. Ступінь очищення газів може досягати 95%, що вважають досить ефективним з точки зору екологічної безпеки виробництва.

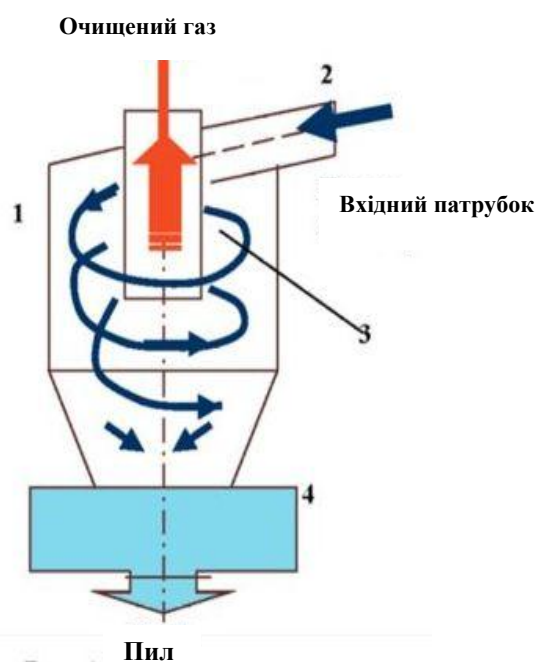


Рис.2. Контурне зображення поля швидкостей у циклоні за методикою Л.М.Дорундяк [5]

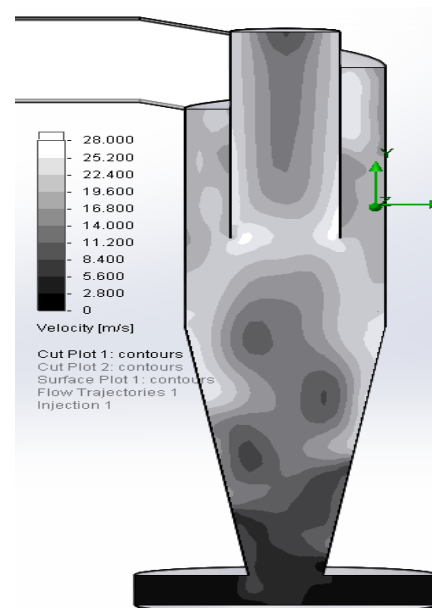


Рис.1.Схематичне зображення фільтра циклонного типу

Циклони (рис.1) можуть використовуватися як для попереднього очищення газів і встановлюватися перед тканинними фільтрами або рукавними фільтрами, так і самостійно. Через надмірну кількість використаного газу, що очищається, циклони можуть встановлюватися по одному (одиначні циклони) або об'єднуватися в групи з двох, чотирьох, шести або восьми циклонів (групові циклони) і можуть застосовуватися для очищення газів від декількох сотень до сотень тисяч кубометрів на годину [2, 3].

Мета роботи: поданий матеріал присвячений аналізу існуючих конструкцій та методів очищення повітря від твердих часток і пилу та дослідженню аеродинамічних особливостей вихрових потоків у фільтрах циклонного типу на деревообробних підприємствах.

Основними елементами циклону, схематичне зображення якого наведено на рис.1, є корпус 1, що складається з конічної і циліндричної частин, вхідний патрубок 2, вихлопний патрубок 3 і бункер 4. Вхідний патрубок розташований тангенціально до корпусу 1 і спрямовує газ по дотичній до циліндричної його поверхні, утворюючи таким чином вихровий потік у циліндрі. Тверді та вологі частки неоднорідного потоку, які мають щільність більшу за щільність сухого газу, завдяки впливу відцентрових сил інерції відкидаються на стінки та рухаються донизу до бункера 4. При цьому знепилене повітря або газ прямує крізь вертикальний патрубок, закріплений співвісно до циліндра, до виходу з циклона.

Таким чином, аеродинамічний механізм утвореного в циклоні потоку газу забезпечує досить ефективно його очищення від твердих та вологих чисток, а також якісну фільтрацію виробничих відходів.

Математичне моделювання аеродинамічного механізму у циклоні

Для математичного моделювання досить складних трьохвимірних течій широко використовують методи чисельного експерименту, наприклад на базі методу скінчених елементів та відомих пакетів прикладних програм. Простір замкнених течій, де мають моделюватися гідродинамічні поля швидкостей, тисків тощо розбивають на розрахункову сітку з певним кроком обчислень, вводять граничні умови, наприклад, прилипання потоку на стінках та на вісі посудини, і отримують досить достовірну картину просторової течії. Для нестационарних течій мають встановлюватися початкові умови тому, що упродовж певного часу параметри течій можуть змінюватися і картина розподілу параметрів може еволюціонувати.

Для моделювання аеродинамічних особливостей течій повітря у циклоні були прийняті рівняння Нав'є-Стокса у циліндричних координатах (x, r, φ) за умов осьової симетрії відносно вертикальної осі, коли усі похідні за азимутальним координатним кутом $\frac{\partial}{\partial \varphi}$ дорівнюють нулю. При постановці задачі для закрученої періодичної течії прийняті наступні припущення: течія є всюди осесиметричною, що має на увазі відсутність градієнтів в окружному напрямку, а гравітаційна сила істотно менше за відцентрову [4], як можна спостерігати на рис.2. Слід зауважити, що поблизу стінок циклону в межах примежового шару концентрований газо-пиловий потік можна вважати в'язкою нестисливою рідиною.

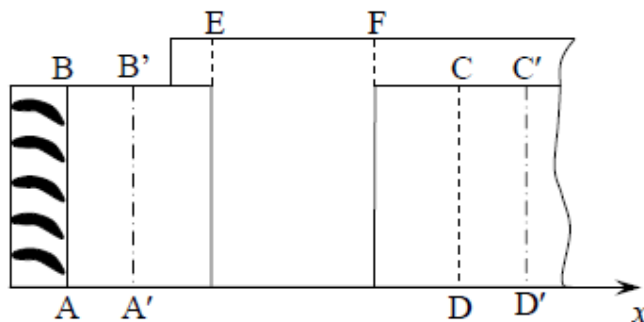


Рис.3. Сепараційна камера прямооточного циклону з проміжним відбором пилу

Тоді рівняння руху приймуть такий вигляд:

$$u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial r} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial x} + \frac{\mu}{\rho} \Delta u,$$

$$u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial r} - \frac{w^2}{r} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial r} + \frac{\mu}{\rho} \left(\Delta v - \frac{v}{r^2} \right),$$

$$u \frac{\partial w}{\partial x} + v \frac{\partial w}{\partial r} + v \frac{w}{r} = \frac{\mu}{\rho} \left(\Delta w - \frac{w}{r^2} \right),$$

де $\Delta = \frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r}$ - оператор Лапласа, u, v, w - осьова, радіальна і окружна компоненти вектора швидкості, P - тиск, μ, ρ - динамічний коефіцієнт в'язкості та густина рідини.

Розв'язок рівнянь будемо шукати за методикою Р.С.Асламової [3] для циліндричної частини корпусу циклону, обмеженої перетинами АВ і CD, перпендикулярними осі x (рис. 3). На ділянці EF змінюється закручення потоку за допомогою механічних пристроїв, наприклад, соплових прискорювачів, за рахунок розширення або звуження потоку. Інтенсивність закрутки потоку будемо характеризувати локальним параметром закрутки, який приблизно дорівнює тангенсу кута нахилу потоку в області пристінної течії:

$$tg\gamma = w / u.$$

У поданому циклоні закручення потоку створюється осьовим лопатевим закручувачем, встановленим перед входом до сепараційної камери. Ділянка EF відповідає наявності проміжного відбору пилу, який істотно впливає на структуру закрученого потоку і процес сепарації пилу.

Внаслідок прилипання частинок рідини до стінок циклону їх осьова і радіальна компоненти швидкості дорівнюватимуть нулю. Це рівнозначно вимогам рівності нулю нормальних і дотичних похідних функції струму на стінці. Тоді граничні умови запишуться в такий спосіб:

$$u = 0, v = 0, w = w_0 \text{ на BE и FC};$$

$$u = 0, v = 0, w = w_1 \text{ на EF};$$

$$w_0 = \text{const}, w_1 = \text{const},$$

де w_0, w_1 - окружні компоненти вектора швидкості біля стінки циклону за аксіальним лопатевим апаратом і проміжного відбору відповідно.

Таким чином, за допомогою математичного моделювання можна отримати якісну картину розподілу гідродинамічних параметрів у межах циклону для визначення найбільш проблемних областей потоку, наприклад, у пристінній зоні та області вертикального вихлопного патрубку і корегування геометрії сепараційної камери. У свою чергу визначення аеродинамічного механізму роботи циклону завдяки адекватній математичній моделі дозволяє прогнозувати якість очищення газів або повітря.

Висновки

Аналіз існуючих методів очищення газів та конструкцій для їх реалізації дозволяє стверджувати, що одним з найбільш ефективних засобів видалення пилу та твердих часток є фільтри циклонного типу, які можуть забезпечувати якість очистки до 95 %. Ефективність роботи циклону можна підвищити за рахунок побудови аеродинамічних полів, наприклад, полів швидкості і тиску, та виявлення так званих проблемних аеродинамічних зон потоку, де можуть мати місце максимальні втрати енергії, зміни структури вихрових течій.

Математичне моделювання подібних процесів у циклоні дозволяє отримати якісну картину замкнених трьохвимірних течій і таким чином підвищити ефективність очищення запилених газів. Слід зазначити, що застосування тканинних або електростатичних фільтрів у цій галузі пов'язано з досить великими енергетичними та матеріальними витратами, потребує систематичного очищення фільтрувальних елементів, тому є недостатньо ефективними.

Список літературних джерел

1. Ананьев, А.В. (2000) *Системы вентиляции и кондиционирования. Теория и практика* – М. : Евроклимат, изд. Арина. – 416 с.
2. Глебов, И.Т. (2004) *Аспирационные и транспортные пневмосистемы деревообрабатывающих предприятий*. – Екатеринбург. – 180 с.
3. Асламова, В.С. (2008) *Прямоточные циклоны. Теория, расчет, практика*. – Ангарск. – 236 с.
4. <http://www.cikloni.ru/item.php?uid=21>
5. Дорундяк, Л. М. (2012) “Результати дослідження ефективності процесу пиловловлення у циклоні для системи перекачування деревних відходів”.- *Науковий вісник НЛТУ України*. – Вип. 22.14. – С. 152-157.