

ОСОБЛИВОСТІ АЕРОДИНАМІКИ ОЧИЩЕННЯ ЗАПИЛЕНОГО ПОВІТРЯ У ВИРОБНИЧИХ ПРИМІЩЕННЯХ ЗА ДОПОМОГОЮ ЦИКЛОНІВ

Анотація У пропонованій роботі розглянуто досить поширений метод ефективного очищення газів від пилу та інших забруднень у виробничих приміщеннях за допомогою циклонування. Подібні методи використовують у металургійній, хімічній, деревообробній та інших галузях промислового виробництва.

Проведено аналіз існуючих методів і конструкцій циклонів, а також розглянуто аеродинамічні особливості утворення вихрових течій у сепараційній камері, розподілу полів швидкості і тисків, розвиток процесу за часом. Запропоновано математичну модель процесу циклонування на базі методу скінчених елементів та стандартного пакету прикладних програм, яка дозволяє досить достовірно побудувати просторову картину розподілу полів швидкості та тисків. Співставлення результатів моделювання з відомими експериментальними даними свідчить про якісне відтворення фізичної моделі процесу циклонування.

Одними з досить напружених з точки зору екологічної безпеки галузей промисловості тривалий час є хімічне, металургійне і деревообробне виробництва. Шкідливі викиди подібних виробничих процесів можуть суттєво впливати на навколишнє середовище та стан здоров'я персоналу, тому будь-які інновації у цій області вентиляції приміщень, пилоосадження, аспірації та фільтрації можуть підвищити ефективність та екологічну безпеку виробництва.

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, 5]. Ступінь очищення газів може досягати 95%, що вважають досить ефективним з точки зору екологічної безпеки.

Циклони можуть використовуватися як для попереднього очищення газів і встановлюватися перед тканинними фільтрами або рукавними фільтрами, так і самостійно. Через велику 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].

Постановка задачі і мета роботи

Ефективність очищення газу в циклоні в основному визначається його типом, розміром, дисперсним складом і щільністю частинок вловлювання пилу, а також в'язкістю газу. Зі зменшенням діаметра циклону і підвищенням до певної межі швидкості газу в циклоні ефективність очищення збільшується. На сьогоднішній день розроблено багато типів циклонів, які широко використовуються в техніці знепилування. Вони можуть відрізнятися один від одного співвідношенням розмірів, формою та іншими параметрами. 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.

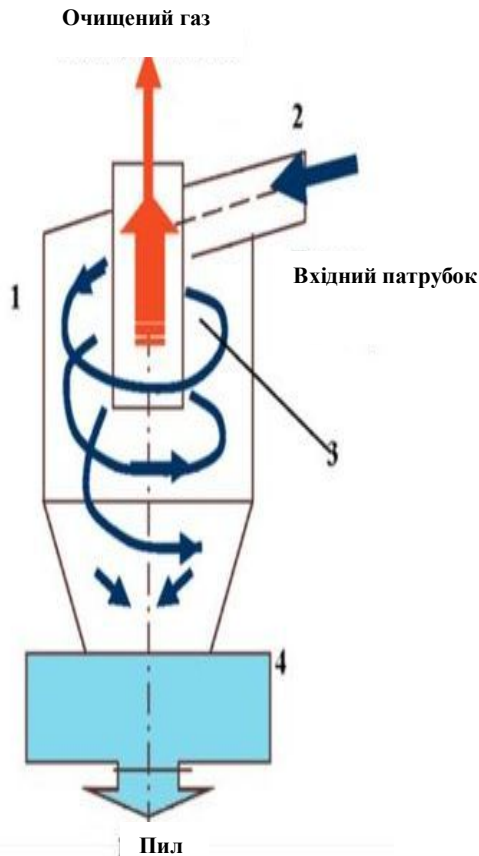


Рис. 1 - Схематичне зображення фільтра циклонного типу

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 як правило, приймають 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]. Слід зауважити, що поблизу стінок циклону в області примежового шару концентрований газо- пиловий потік можна вважати в'язкою нестисливою рідиною.

Тоді рівняння руху приймуть такий вигляд:

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

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

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.

Математичне моделювання аеродинаміки циклона

Останнім часом 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

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

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 щільність рідини.

Розв'язок рівнянь будемо шукати за методикою Р.С.Асламової [3] для циліндричної частини корпусу циклону (рис. 1). Виразимо $(\vec{u} \cdot \nabla) \cdot \vec{u}$, використовуючи правило множення векторів:

$$\vec{u} \times (\nabla \times \vec{u}) = \frac{1}{2} \nabla u^2 - (\vec{u} \cdot \nabla) \cdot \vec{u}.$$

Звідси

$$(\vec{u} \cdot \nabla) \cdot \vec{u} = -\vec{u} \times (\nabla \times \vec{u}) + \frac{1}{2} \nabla u^2.$$

Підставивши цей вираз у рівняння Нав'є-Стокса, отримаємо:

$$-\vec{u} \times (\nabla \times \vec{u}) + \frac{1}{2} \nabla u^2 = -\nabla P + \frac{1}{\text{Re}} \nabla^2 \vec{u}.$$

Чисельне моделювання за допомогою пакету прикладних програм дозволяє отримати досить характерні картини розподілу тисків у сепараційній камері циклону, приклад якої наведено на рис.2.

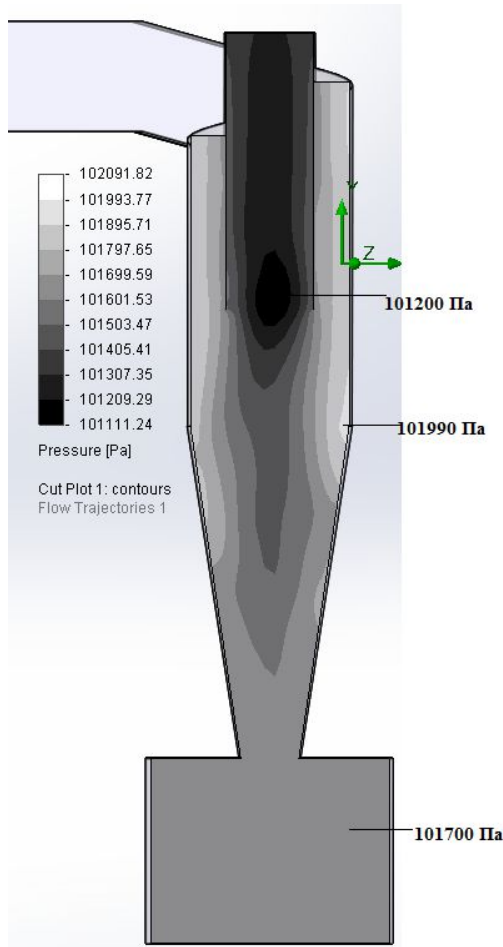


Рис. 2 – Поле тисків у сепараційній камері циклону за результатами розрахунку за методикою Л.Дорундяк [5]

Великі величини p у пристінних областях течії свідчать про сильний вплив відцентрових сил інерції на тверді частки потоку (101990 Па), а темна область у вихлопному патрубку (101200 Па) характеризує розрідження і прискорення потоку очищеного повітря.

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 патрубка і корегування геометрії сепараційної камери. У свою чергу, визначення аеродинамічних особливостей 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 запиленних 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.

У свою чергу, фізичне моделювання гідродинамічних процесів у циклоні пов'язане з певними труднощами метрологічного забезпечення та коректного вимірювання полів швидкості та тисків у сепараційній камері, а також у пристінних областях потоку. За даними попередніх досліджень виявлено суттєво нелінійні розподіли швидкостей у робочих порожнинах циклонів залежно від їх геометрії та співвідношення діаметрів циліндричної частини, а також довжини кінцевої ділянки і вихлопного патрубку.

Майбутні дослідження у цій області мають за мету удосконалення конструкцій циклонів з точки зору зменшення гідравлічних втрат і підвищення якості очищення газів.

Список літературних джерел

1. *Ананьев, А. В. (2000) Системы вентиляции и кондиционирования. Теория и практика – М. : Евроклимат. – 416 с.*
2. *Глебов, И. Т. (2004) Аспирационные и транспортные пневмосистемы деревообрабатывающих предприятий. – Екатеринбург, 2004. – 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.*

УДК 532.543

Носко С.В., к.т.н., доц.

КПІ ім. Ігоря Сикорського, г. Київ, Україна

РЕОДИНАМИКА ПРОЦЕССОВ СМЕШЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ КОМПОНЕНТОВ В ФОРМУЮЩЕЙ ГОЛОВКЕ

***Анотация:** Объектом исследования являются вихревые структуры возникающие при течении anomalно-вязких сред в каналах формующего оборудования. В ходе аудита установлено, что для реализации смесевых технологий в состав данного оборудования входят механизмы смешения, устройства для дозирования и подачи компонентов в экструдированный материал, а также стационарные турбулизаторы интенсифицирующие процесс смешения. В ходе исследований установлено, что наиболее действенным способом управления гидродинамическими характеристиками потока в области резкого сужения канала, является подвод дополнительного расхода жидкости в радиальном направлении по отношению к основному потоку. При определенном соотношении основного и дополнительного потоков происходит срыв вихревых структур и интенсивная турбулизация течения по длине участка расположенного за сужением.*

***Ключевые слова:** аномалия вязкости, вихревые структуры, смешение компонентов.*

Исследованы реологические характеристики anomalно-вязких сред методом ротационной вискозиметрии. Установлены параметры реологического уравнения Освальда-де Виля и скорости сдвига в каналах формующей головки. Показано влияние anomalного поведения жидкости и числа Рейнольдса на развитие вихревых структур в области внезапного сужения канала. Установлены гидродинамические параметры управления вихревыми структурами, приводящие к интенсификации турбулентного смешивания потоков.