

УДК 621.9.048

С.С. Рудь, П.В. Кондрашев¹

¹ – Національний технічний університет України "Київський політехнічний інститут", м. Київ

ОСНОВНІ ТЕОРЕТИЧНІ АСПЕКТИ РОЗРАХУНКУ ДИСПЕРСНОЇ ФАЗИ ГАЗОПОРОШКОВОГО СТРУМЕНЯ МЕТОДОМ ЕЙЛЕРА

При моделюванні руху твердих частинок в потоці газу зазвичай використовуються два базових методи Лагранжа та Ейлера [1-3]. Метод Лагранжа здатний достовірно описувати рух поодиноких частинок, при умові їх пружного співударяння зі стінкою сопла, що справедливо тільки для порошкового матеріалу крупнодисперсної фракції (понад 100 мкм). У випадку тонкодисперсної (до 10 мкм) та дрібнодисперсної (до 100 мкм) фракції порошкової композиції, пружне співударяння частинок не відіграє важливої ролі. Тому середовище з такими частинками в рамках даного методу можна розглядати як суцільне. Тому керуючись цими фактами, для моделювання руху дисперсної фази в потоці газу в даній роботі були розглянуті основні теоретичні аспекти розрахунку дисперсної фази методом Ейлера. Перевагою цього методу є те, що різниця концентрацій дисперсної фази між 2-ма точками визначає дифузійний потік, створений турбулентними пульсаціями суцільного середовища, рух якого описується також у рамках методології Ейлера. Для розрахунку турбулентності двох фаз використовується стандартна ($k-\epsilon$) модель Лаундера-Соплдинга, яка добре зарекомендувала себе при моделюванні течій з малими градієнтами турбулентних пульсацій та має високу точність отриманих результатів. Рух дисперсної фази розраховується згідно метода Ейлера за допомогою інтегрування швидкості за крок δt (крок інтегрування) залежність (1).

$$x_i^n = x_i^0 + v_{pi}^0 \delta t \quad (1)$$

де 0-показник ступеня старих значень переміщення частинки;

n - показник ступеня нових значень переміщення частинки;

v_{pi}^0 -швидкість переміщення частинки. При подальшому інтегруванні швидкість частинки розраховується на початку кроку. В кінці кроку нова швидкість частинки розраховується аналітичним методом за допомогою рівняння (2). Властивості суцільної фази беруться на початку інтервалу часу. Момент руху окремих частинок дисперсної фази буде залежати від швидкості частинок на початку інтервалу часу. При розрахунку всіх діючих сил, такі змінні суцільної фази, як щільність, в'язкість і швидкість також повинні бути враховані при переміщенні дисперсної фази. Відповідно до рівняння (2) швидкість руху суцільної фази впливає на швидкість пересування частинок дисперсної фази і навпаки спостерігається зворотний вплив швидкості пересування частинок дисперсної фази на швидкість руху суцільної фази, тобто відбувається зв'язок між двома фазами. Приймаємо, що окрема частинка дисперсної фази рухається всередині потоку суцільної фази. Сили діючі на частинку дисперсної фази, що впливають на її прискорення залежать від різниці швидкостей частинки і суцільної фази, так як має місце зміщення потоку суцільної фази щодо дисперсної фази (2).

$$m_p \frac{dU_p}{dt} = F_D + F_B + F_R + F_{VM} + F_P + F_{BA} \quad (2)$$

де F_D -сила тертя, яка діє на частинку;

F_B -виштовхувальна сила;

F_R -обертובה сила;

F_{VM} -віртуальна сила тяжіння, яка необхідна для прискорення віртуальної маси середовища відносно об'єкта, який займає частинка дисперсної фази;

F_P -сила градієнту тиску середовища на частинку. Ця сила має значення, коли густина суцільного середовища перевищує густину частинок дисперсної фази;

F_{BA} -сила відхилення потоку від стабільного стану можна не враховувати.

Розрахунок миттєвої швидкості V_f рівняння (2) залежить від режиму потоку, тобто може бути середня або сильна турбулентність газопорошкового струменя. Для потоку який має дрібнодисперсну фракцію частинок порошкової композиції V_f дорівнює середній швидкості потоку

суцільної фази \bar{V}_f . Шлях кожної частинки дисперсної фази потрапляє в дискретний домен носить унікальний характер, тому, для відстеження руху частки в турбулентному потоці миттєва швидкість розкладається на дві складові, а саме, стабільна \bar{V}_f і нестабільна V'_f . Тому слід відзначити той факт, що дві однакові частинки дисперсної фази які починали рух з однієї точки дискретного домену, але в різний час можуть рухатися різними траєкторіями, оскільки їх миттєві швидкості можуть бути різними. Це і є головний критерій розподілу частинок дисперсної фази в турбулентному потоці. Модель розподілу частинок дисперсної фази в турбулентному потоці передбачає, що частинка завжди рухається тільки в одному вихорі. Кожен вихор має нестабільну складову швидкості V'_f , період існування τ_e , і довжину L_e . Коли частинка потрапляє у вихор нестабільна складова швидкості для цього вихору додається до стабільної складової швидкості суцільної фази, таким чином виходить миттєве значення швидкості суцільної фази. Отже турбулентна швидкість, довжина і період існування кожного вихору на підставі заданих граничних умов турбулентного потоку визначаються наступними рівняннями (3).

$$V'_f = \Gamma \sqrt{\frac{2k}{3}}, \quad L_e = \frac{C_\mu^{\frac{3}{4}} k^{\frac{3}{2}}}{\varepsilon}, \quad \tau_e = \frac{L_e}{\sqrt{\frac{2k}{3}}} \quad (3)$$

де k - скалярний коефіцієнт енергії турбулентного потоку;

ε - скалярний коефіцієнт розсіювання потоку;

C_μ - постійна турбулентності;

$C_\mu^{\frac{3}{4}}$ - фактор обраний для створювання зв'язку між шкалою довжини та довжиною вихору;

Γ - випадкова величина, яка обирається для того щоб визначити унікальність турбулентного потоку.

Висновок. Згідно з попередніми розрахунками, слід зазначити, що кожна складова нестабільної швидкості пересування частинки дисперсної фази в потоці газу може мати різні значення для кожного вихору.

Список використаних джерел

1. В.Л. Найдек. Распределение дисперсных частиц в двухфазном газолазерном потоке [Текст] / В.Л. Найдек, В.П. Лихошва, Е.А. Рейнталь, Ф.И. Кирчу и др.-Металл и литье Украины, 2009.-№11-12, с.4-7.
2. Поляков С.Н. Анализ эффективности пылеулавливания вихревого аппарата ВЗП-М200 с помощью программного комплекса ANSYS CFX [Електронний ресурс] / ANSYS Solutions Русская редакция, журнал №7.-Режим доступа:\www/ URL: <http://ansyssolutions.ru/> 14.04.2008 г. Загл. с экрана.
3. Кондрашев П.В. Моделирование газодинамики порошковой струи при реализации технологии «RAPID PROTOTYPING» [Текст] / П.В. Кондрашев.-Восточно-Европейский журнал передовых технологий, 5/7 (65), 2013р.-с. 4-10.