

УДК 621.928.9

Батлук В.А., Макарчук В.Г. (Україна, Львів)

СТВОРЕННЯ МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ РУХУ ЧАСТИНОК В КРИВОЛІНІЙНОМУ КАНАЛІ В ОСЕСИМЕТРИЧНОМУ ПОТОЦІ

Постановка проблеми. Однією з актуальних проблем, яка стоїть сьогодні перед промисловістю України є вдосконалення техніки і технології охорони навколишнього середовища. Вирішення цієї проблеми пов'язане з успіхами в галузі очистки технологічного газу від механічних домішок і пилу.

Результати досліджень останніх років говорять про те, що і даний час одним з найбільш ефективних принципів відділення аерозольних частинок від газового потоку з метою підвищення якості і технологічних особливостей останнього, є використання апаратів із закрученими потоками.

Велика кількість праць по цій тематиці зумовлена використанням специфічних якостей закрученого потоку в різних технологічних процесах (розпилення, розділення, переробка сипучих матеріалів, сировини, пересипання, тепло і масообмін). Було досліджено закручений рух в трубопроводах, у камерах і вихрових трубах, вільні струйні закручені течії, потоки навколо тіл, що обертаються, інерційну сепарацію, різні типи течій.

Аналіз останніх досягнень. В той же час проведений аналіз праць вітчизняних та закордонних дослідників показує, що в даний час недостатньо розглянуті питання математичного моделювання процесів, методики розрахунку і конструювання пиловловлювачів відцентрового типу, що не дозволяє не тільки їх порівняти, але і прогнозувати енергетичні показники і ефективність роботи на різних стадіях проектування. До даного часу багато важливих з теоретичної і практичної сторони питань аеродинаміки закручених потоків вивчені недостатньо, а вибір пиловловлюючого обладнання проводиться чисто інтуїтивно.

Для здійснення технічного розподілу потоків з більшою точністю, коли кожна частинка знаходиться дуже короткий час в зоні розподілу, в цій зоні повинні переважати однакові умови розподілу, тобто параметри, що діють на межі розподілу, повинні бути незмінними. Аеродинамічна класифікація частинок найчастіше здійснюється в газодисперсному потоці. Найбільш інформативною є класифікація розділюючих апаратів по виду альтернативних сил, що призводять до розсіювання частинок за розмірами. У аеродинамічних класифікаторах одна з таких сил - аеродинамічний опір частинок потоку, причому він пропорційний величині δ^α , де δ - розмір частинки, α - показник ступеня, що змінюється залежно від режиму обтікання від 1 до 2. Очевидно, що інша сила, що діє на частинку, повинна залежати від розміру в степені, що знаходиться за межами цього інтервалу. Зазвичай це масові сили різної природи, для яких загальною є пропорційність об'єму частинки, тобто величині δ^3 . У пиловловлювачах реалізуються як принципи протиточних класифікаторів так і інерційних.

Математичні моделі складають основу методів розрахунку та оптимізації різних класифікаторів, прогнозування їх регульованих характеристик. У практиці математичного моделювання процесів аеродинамічної класифікації найбільш широке розповсюдження отримали так звані детерміновані та стохастичні моделі. Основу детермінованих моделей складає уявлення певний процес руху невзаємодіючих частинок в стаціонарному потоці газу. Квазістаціонарне наближення динамічних рівнянь руху є досить потужним інструментом теоретичного дослідження руху частинок в газових потоках, дозволяє, з одного боку, істотно спростити одержувані рішення, а з іншого, зберегти всі основні ефекти взаємодії частинок з потоком, особливо для умов рівносторонньої класифікації, коли є, щонайменше один стійкий або інертно рівноважний стан. Детерміновані моделі дозволяють оцінити вплив факторів які визначають деякі характеристики розподілу (розмір рівноважної частинки, в ряді випадків граничний розмір), але не дозволяють отримати розрахункові вирази для кривих розподілу. Побудова кривих розподілу можливо тільки на основі стохастичних моделей процесів класифікації, що враховують сукупний ефект від випадкових впливів з боку навколишнього середовища на кожну частинку.

Аналітичні формули для розрахунку кривих поділу є ефективним інструментом для якісного аналізу та математичного моделювання процесів класифікації. Однак проблемним в їх практичному використанні є питання про визначення стохастичних параметрів, які залежать від пульсацій повітря.

З вищенаведеного матеріалу випливає, що і детерміновані моделі і стохастичні моделі процесів класифікації не враховують структуру турбулентного потоку суміші повітря і подрібнювального матеріалу та специфіку руху частинок матеріалу різної гранулометрії. В даний час теоретичні основи створення машин класифікації розроблені з позицій взаємодії потоку повітря і окремої частинки без урахування пульсаційних складових швидкості повітря і масштабів вихрових структур в потоках транспортуючого середовища. Для забезпечення адекватності математичних моделей, що описують роботу обладнання класифікації матеріалів, необхідно враховувати вплив вихрових структур в потоках транспортуючого середовища.

Метою роботи є скласти теоретичні основи створення машин класифікації з позицій взаємодії потоку повітря і окремої частинки з урахуванням пульсаційних складових швидкості повітря і масштабів вихрових структур в потоках транспортуючого середовища для забезпечення адекватності математичних моделей, що описують роботу обладнання класифікації матеріалів, необхідно враховувати вплив вихрових структур в потоках транспортуючого середовища.

Виклад основного матеріалу. Проведемо аналіз динаміки частинок у пристінній області стаціонарного

турбулентного потоку. При великих числах Рейнольдса в пристінній області можуть бути виділені дві зони, які кардинально відрізняються своїми характеристиками: в'язкий підшар і рівноважний логарифмічний шар. З метою виявлення ефектів розглянемо деякі модельні завдання, що ілюструють особливості поведінки частинок у в'язкому і логарифмічних зонах.

У в'язкому підшарі, що безпосередньо примикає до стінки, роль в'язких напружень виявляється переважаючою у порівнянні з турбулентними напруженнями. Тому визначальними параметрами у в'язкому підшарі є коефіцієнт кінематичної в'язкості рідини ν і динамічна швидкість (швидкість тертя). Поза областю в'язкого підшару внесок в'язких напружень в повні напруги суцільного середовища, навпаки, незначний. У якості найпростішої апроксимації пульсаційної структури несучого потоку в пристінній області приймемо найпростішу двошарову модель (Гусев і Зайчик, 1991), що складається з в'язкого підшару з нульовою інтенсивністю пульсацій і турбулентної зони з постійною інтенсивністю пульсацій

$$\langle u'_i u'_j \rangle = A_{ij} u_*^2 H(y - \delta) \quad (1)$$

де y - відстань від стінки A_{ij} - постійні коефіцієнти.

Товщина в'язкого підшару δ дорівнює

$$\delta = \delta_+ \frac{\nu}{u_*}, \quad \delta_+ = const. \quad (2)$$

Передбачається також, що Лагранжем тимчасової масштаб турбо-лентності поблизу стінки має постійне значення

$$T_L = T_+ \frac{\nu}{u_*^2}, \quad T_+ = const. \quad (3)$$

Далі приймемо, що осереднене ковзання частинок щодо несучого потоку є відносно невеликим, так що впливом ефекту перетину траєкторій на час взаємодії часток з турбулентними вихорами можна знехтувати. Тоді, оскільки ми також не враховуємо зворотний вплив на несучий потік і зіткнення часток, система рівнянь в яку входять рівняння збереження маси, балансу кількості руху, для других моментів пульсацій швидкості частинок (турбулентних напруг дисперсної фази), тензор турбулентної дифузії частинок, розщеплюється: концентрація Φ і інтенсивність поперечних пульсацій (v'_{y^2}) можуть бути знайдені незалежно від інших гідродинамічних характеристик дисперсної фази. Для гідродинамічно-розвиненої течії, властивості якої змінюються тільки в нормальному напрямку, за відсутності осадження частинок отримуємо наступні рівняння для визначення Φ і (v'_{y^2}):

$$\Phi \frac{d\langle v'_{y^2} \rangle}{dy} + (\langle v'_{y^2} \rangle + g_u A_{yy} u_*^2 H(y - \delta)) \frac{d\Phi}{dy} = 0, \quad (4)$$

$$\tau_p^2 \frac{d}{dy} \left[\Phi (\langle v'_{y^2} \rangle + g_u A_{yy} u_*^2 H(y - \delta)) \frac{d\langle v'_{y^2} \rangle}{dy} \right] + 2\Phi (f_u A_{yy} u_*^2 H(y - \delta) - \langle v'_{y^2} \rangle) = 0 \quad (5)$$

У відповідності з експериментальними даними приймемо $A_{yy} = 1$ і перейдемо до безрозмірних змінних

$$\langle v'_{y^2} \rangle = \frac{\langle v'_{y^2} \rangle}{u_*^2}, \quad \lambda = \frac{y}{\delta} = \frac{y_+}{\delta_+}, \quad y_+ = \frac{y u_*}{\nu}, \quad \tau_* = \frac{\tau_p u_*}{\delta} = \frac{\tau_+}{\delta_+}, \quad \tau_+ = \frac{\tau_p u_*^2}{\nu}.$$

Рівняння (4) і (5) в нових змінних приймуть вигляд

$$\Phi \frac{d\langle v'_{y^2} \rangle}{d\lambda} + (\langle v'_{y^2} \rangle + g_u H(\lambda - 1)) \frac{d\Phi}{d\lambda} = 0, \quad (6)$$

$$\tau_*^2 \frac{d}{d\lambda} \left[\Phi (\langle v'_{y^2} \rangle + g_u H(\lambda - 1)) \frac{d\langle v'_{y^2} \rangle}{d\lambda} \right] + 2\Phi (f_u H(\lambda - 1) - \langle v'_{y^2} \rangle) = 0. \quad (7)$$

Граничні умови для (6) і (7) за відсутності осадження частинок на стінці, задаються у вигляді

$$\tau_* \frac{d\langle v'_{y^2} \rangle}{d\lambda} = 2 \frac{1 - e^2}{1 + e^2} \left(\frac{2\langle v'_{y^2} \rangle}{\pi} \right)^{1/2} \quad \text{при } \lambda = 0; \quad \frac{d\langle v'_{y^2} \rangle}{d\lambda} = 0, \quad \Phi = 1 \quad \text{при } \lambda = \infty \quad (8)$$

Нехтуючи впливом інерційності частинок на час їх взаємодії з турбулентними вихорами, покладемо T_{Lp} рівним лагранжевому масштабу (3), де приймемо $T_+ = \delta_+$. Тоді коефіцієнти залучення дорівнюють

$$f_u = \frac{1}{1 + \tau_*}, \quad g_u = \frac{1}{\tau_* (1 + \tau_*)}.$$

Беручи до уваги (14), рівняння (15) може бути перетворено до вигляду

$$\tau_*^2 (\langle v'_{y^2} \rangle + g_u H(\lambda - 1)) \frac{d^2 \langle v'_{y^2} \rangle}{d\lambda^2} + 2(f_u H(\lambda - 1) - \langle v'_{y^2} \rangle) = 0, \quad (9)$$

що дозволяє знайти (v'_{y^2}) незалежно від Φ .

Побудуємо рішення рівняння (9) в областях $0 < \lambda < 1$ і $1 < \lambda < \infty$, а потім «з'єднаємо» ці розв'язки. У зоні в'язкого підшару ($0 < \lambda < 1$) рівняння (9) зводиться до вигляду

$$\langle v_{y_+}^{i2} \rangle \left(\frac{d^2 \langle v_{y_+}^{i2} \rangle}{d\lambda^2} - \frac{2}{\tau_*^2} \right) = 0. \quad (10)$$

Рішенням (10) з урахуванням (8) буде мати вигляд

$$\langle v_{y_+}^{i2} \rangle = 0 \text{ при } 0 < \lambda < \lambda_0, \quad \langle v_{y_+}^{i2} \rangle = \frac{(\lambda - \lambda_0)^2}{\tau_*^2} \text{ при } \lambda_0 < \lambda < 1 \quad (11)$$

Або

$$\langle v_{y_+}^{i2} \rangle = \langle v_{y_+}^{i2}(0) \rangle + \frac{2(1 - e_y^2)}{\tau_*(1 + e_y^2)} \left(\frac{2 \langle v_{y_+}^{i2}(0) \rangle}{\pi} \right)^{1/2} \lambda + \frac{\lambda^2}{\tau_*^2} \text{ при } 0 < \lambda < 1. \quad (12)$$

Рішення (3) має місце при $\tau_* < \tau_{cr}$, а (12), реалізується при $\tau_* > \tau_{cr}$. Критичне значення τ_{cr} параметра інерційності τ_* є точкою біфуркації і відповідає умові $\lambda_0 = 0$. У турбулентній зоні ($1 < \lambda < \infty$) рівняння (9) запишемо як

$$\tau_*^2 \frac{d^2 \langle v_{y_+}^{i2} \rangle}{d\lambda^2} + \frac{2(f_u - \langle v_{y_+}^{i2} \rangle)}{(\langle v_{y_+}^{i2} \rangle + g_u)} = 0 \quad (13)$$

Для побудови аналітичного рішення лінеарізуємо (13), вважаючи в знаменнику другого члена ($v_{y_+}^{i2} = v_{y_+}^{i2}(1)$). У результаті отримуємо наближений розв'язок

$$\langle v_{y_+}^{i2} \rangle = (\langle v_{y_+}^{i2}(1) \rangle - f_u) \exp \left[-\frac{2^{1/2}(\lambda - 1)}{\tau_* (\langle v_{y_+}^{i2}(1) \rangle + g_u)^{1/2}} \right] + f_u \text{ при } 1 < \lambda < \infty. \quad (14)$$

Умови рівності рівнянь у в'язкій та турбулентній зонах матимуть даний вигляд

$$\begin{aligned} \langle v_{y_+}^{i2}(1-0) \rangle &= \langle v_{y_+}^{i2}(1+0) \rangle, \\ \langle v_{y_+}^{i2}(1) \rangle \left(\frac{d \langle v_{y_+}^{i2} \rangle}{d\lambda} \right)_{1-0} &= (\langle v_{y_+}^{i2}(1) \rangle + g_u) \left(\frac{d \langle v_{y_+}^{i2} \rangle}{d\lambda} \right)_{1+0}. \end{aligned} \quad (15)$$

З (3), (6) и (7) випливають наступні співвідношення для визначення ($v_{y_+}^{i2}(1)$) и λ_0 при $\tau_* < \tau_{cr}$:

$$\begin{aligned} (f_u - \langle v_{y_+}^{i2}(1) \rangle) (\langle v_{y_+}^{i2}(1) \rangle + g_u)^{1/2} &= (2 \langle v_{y_+}^{i2}(1) \rangle^3)^{1/2}, \\ \lambda_0 &= 1 - \tau_* \langle v_{y_+}^{i2}(1) \rangle^{1/2}. \end{aligned} \quad (16)$$

З (12), (14) і (15) утворюються співвідношення для знаходження $v_{y_+}^{i2}(1)$

$$\begin{aligned} (f_u - \langle v_{y_+}^{i2}(1) \rangle) (\langle v_{y_+}^{i2}(1) \rangle + g_u)^{1/2} &= \langle v_{y_+}^{i2}(1) \rangle \left[\frac{2^{1/2}}{\tau_*} + \frac{2(1 - e_y^2)}{\pi^{1/2}(1 + e_y^2)} \langle v_{y_+}^{i2}(0) \rangle^{1/2} \right], \\ \langle v_{y_+}^{i2}(0) \rangle^{1/2} &= -\frac{1 - e_y^2}{\tau_*(1 + e_y^2)} \left(\frac{2}{\pi} \right)^{1/2} + \left[\frac{2(1 - e_y^2)^2}{\pi(1 + e_y^2)^2 \tau_*^2} + \langle v_{y_+}^{i2}(1) \rangle - \frac{1}{\tau_*^2} \right]^{1/2}. \end{aligned} \quad (17)$$

Критичний параметр інерційності визначається з співвідношення $\tau_{cr}^2 (v_{y_+}^{i2}(0)) = 1$, а також він не залежить від коефіцієнта відновлення імпульсу e_y і дорівнює 2,81.

Розподіл концентрації частинок, що задовольняє умову $\Phi(\infty) = 1$, визначається інтегралом рівняння (6) і описується виразом

$$\Phi = \begin{cases} \langle v_{y_+}^{i2}(1) \rangle [\tau_* (\langle v_{y_+}^{i2}(1) \rangle + g_u) \langle v_{y_+}^{i2} \rangle]^{-1} & \text{при } \lambda < 1, \\ [\tau_* (\langle v_{y_+}^{i2} \rangle + g_u)]^{-1} & \text{при } \lambda > 1. \end{cases} \quad (18)$$

Аналіз інтенсивності пульсацій швидкості та концентрації частинок на стінці при різних значеннях параметра інерційності (розміру частинок) дозволяє запропонувати нову конструкцію відцентрово-інерційного пилословлювача зі зміною кута атаки жалюзі.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Батлук В.А., Батлук В.В., Макачук В.Г., A mathematical model of vacuum cleaners, taking into account the motion of particles near the wall part of the dust collector; Motrol motoryzacja i energetyka rolnictwa motorization and power industry in Agriculture 12/ 2010, Lublin, pag. 97 – 105/.

2. Батлук В.А., Макаруч В.Г Сукач Р.Ю., Проскуріна І.В., Зниження концентрації дрібнодисперсного пилю, як метод усунення пожежо-вибухонебезпечних якостей пилю; Українська академія друкарства. Науково-технічний збірник "Наукові записки" №2 (52)/2010. ст. 164 – 172.

УДК 502.5+614.7;504

Варламов Є.М. (Україна, Харків)

ПРИМЕНЕНИЕ РЕКОМЕНДАЦИЙ ЕЭК ООН ПО ОРГАНИЗАЦИИ МОНИТОРИНГА НА ПРЕДПРИЯТИЯХ

Согласно данным, полученным при подготовке очередной встречи министров по охране окружающей среды Европы (Белград 2007) экологический мониторинг и отчетность предприятий в странах Восточной Европы, Кавказа и Центральной Азии (ВЕКЦА) в целом не отвечают современным требованиям [1]. Это сказывается на объеме и качестве информации, которую получают природоохранные и статистические органы этих стран. Результатом являются, в частности, значительные пробелы в данных, используемых в национальных и пан-Европейских докладах по окружающей среде.

В процессе подготовки общеевропейских экологических оценок, сбора данных для обзоров результативности экологической деятельности и представления отчетности в соответствии с многосторонними природоохранными соглашениями была подтверждена необходимость существенного улучшения мониторинга окружающей среды и сбора данных в странах ВЕКЦА. В первую очередь в таких областях, как атмосферные выбросы, сбросы сточных вод и управление отходами. Такое улучшение является трудновыполнимой задачей без соответствующих обязательств и сотрудничества со стороны предприятий. [2,3,4].

Постановка задачи. В настоящей статье рассматриваются вопросы, связанные с созданием систем мониторинга окружающей природной среды (ОПС) предприятиями и представления отчетности, в том числе общие принципы, подходы к мониторингу и его виды.

Автором рассмотрены вопросы создания или улучшения существующих на предприятиях систем мониторинга ОПС. Необходимо обратить внимание на следующие основные проблемы, связанные с:

1. недостатками или противоречиями в установленных законодательством процедурах принятия основных требований к проведению мониторинга окружающей среды на предприятиях;
2. отсутствием координации и взаимодействия между природоохранными, санитарными и статистическими органами на различных уровнях в процессе обработки экологических данных, собираемых и предоставляемых предприятиями;
3. отсутствием доверия между государственными органами и промышленными предприятиями;
4. отсутствием заинтересованности руководителей предприятий в природоохранных вопросах и их склонностью делегировать полномочия по этим вопросам экологическим подразделениям или отдельным лицам в рамках компаний;
5. отсутствием установленных государственными органами требований в отношении сбора экологических данных предприятиями и ведения соответствующих баз данных, которые бы способствовали принятию экологически грамотных решений, повышению качества отчетности, предоставляемой международному сообществу и упрощению доступа общественности к информации о мониторинге ОПС на предприятиях.

Руководящие принципы ЕЭК ООН, в разработке которых принимал участие автор, направлены на содействие повышению качества мониторинга ОПС на предприятиях на основе передовой практики, сложившейся в различных частях регионов Европы, а так же с учетом требований соответствующих многосторонних природоохранных соглашений, в частности Протокола о регистрах выбросов и переноса загрязнителей (РВПЗ) к Конвенции о участии общественности в процессе принятия решений и доступе к правосудию по вопросам, касающимся окружающей среды, и принятых на наднациональном уровне документов, в частности Директивы ЕС 96/61/ЕС о комплексном предотвращении и ограничении загрязнения (КПОЗ) [5,6].

Оптимальная система сбора экологических данных на предприятиях поможет их руководству уяснить значение для компаний результатов экологической деятельности в плане рентабельности, рыночной стоимости и принятия инвестиционных решений. Руководящие принципы могут также способствовать установлению единых или сопоставимых условий предпринимательской деятельности для предприятий региона в области мониторинга ОПС и представления отчетности, позволяя тем самым не создавать препятствия для инвестиций и торговли.

Наряду с этим целью руководящих принципов является содействие пониманию интересов общественности в области проведения мониторинга ОПС на предприятиях и конкретных параметров, которые следует учитывать в ходе подготовки программ мониторинга. Еще одним фактором является растущая потребность в социально ответственном поведении промышленности, особенно в области окружающей среды.

Мониторинг окружающей среды на предприятиях является системой мер, осуществляемых и оплачиваемых владельцами объектов с целью проведения контроля соблюдения ими природоохранного законодательства и результативности их экологической деятельности. Такая система включает в себя регистрацию результатов