

УДК 621.928.37

РОЗРАХУНОК ВТРАТ ТИСКУ АПАРАТА ІЗ ЗУСТРІЧНИМИ ЗАКРУЧЕНИМИ ПОТОКАМИ ПІСЛЯ ВДОСКОНАЛЕННЯ ДЛЯ ХАРЧОВОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ

Савченко-Перерва М.Ю., аспірант, *

Якуба О.Р., д.т.н.

Сумський національний аграрний університет

Тел.(0542) 62-78-30

Анотація – дану роботу присвячено розробці рівнянь втрат тиску апарата із зустрічними закрученими потоками після вдосконалення для харчової промисловості.

Ключові слова: гідравлічний опір, апарат із зустрічними закрученими потоками, метод розрахунку, швидкість, параметри.

Постановка проблеми. Метод теоретичного розрахунку опору був вперше розроблений німецьким дослідником В. Бартом у середині ХХ сторіччя, але довго не використовувався у розрахунковій практиці, оскільки на той час не були розроблені методи розрахунку полів швидкості, значення яких потрібно використовувати в методиці В. Барта. На підставі цього, для нової корисної моделі нами були спрощені рівняння втрат тиску для апарата із зустрічними закрученими потоками, удосконалено науково-методичний підхід розрахунку гідравлічного опору пиловловлювача вторинного та первинного каналів.

Аналіз останніх досліджень. У даній роботі зроблено аналіз одержаних раніше розрахункових рівнянь та зроблені потуги їх спрощення. Удосконалено науково-методичний підхід розрахунку гідравлічного опору пиловловлювача вторинного та первинного каналів.

Постановка завдання. Задачею розрахунків втрат тиску апаратів із зустрічними закрученими потоками є підвищення об'єктивності отриманих результатів іншими авторами, спрощення самих залежностей, які іноді дуже об'ємні і не дають об'єктивних показників, та розрахунок втрат тиску новоствореного пиловловлювача.

Основна частина. При розробці математичних моделей, в першу чергу, необхідно розглянути фізичну модель руху газів у сепараційному просторі пиловловлювача. Запилений газ потрапляє до

© Савченко-Перерва М.Ю., аспірант, Якуба О.Р., д.т.н.

* Науковий керівник – д.т.н., професор Якуба О.Р.

корпусу АВЗП двома патрубками, а, отже, існує два вхідних потоки – первинний потік - L_1 , та вторинний - L_2 . Сумісний потік, що утворюється, має більш рівномірний розподіл швидкостей та тисків за висотою пиловловлювача та дозволяє більш ефективно вловлювати частинки пилу. Концепція В.Барта полягає в окремих визначеннях опорів центробіжного пиловловлення: на вході (від завихрювача до центрального вихору), та на виході (в центральному вихорі та у вихлопній трубі)[1].

Технічні витрати потоків необхідно знати в кожній частині апарата (привісьова зона, або периферійна), а також у залежності від розташування перетину (z) в сепараційній зоні ($H > z > 0$)[2].

За допомогою методики розрахунку В. Барта із застосуванням методів розрахунку полів швидкості інших авторів [3,4] розрахуємо гідравлічний опір експериментального вихрового пиловловлювача АВЗП діаметром 100мм з наступними параметрами (рис.1):

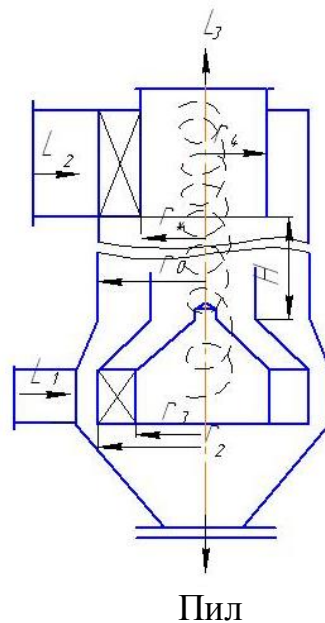


Рис.1. Пиловловлювач із зустрічними закрученими потоками.

$$L_1 = 27 \text{ м}^3 / \text{год} = 0,75 * 10^{-2} \text{ м}^3 / \text{с}; L_2 = 54 \text{ м}^3 / \text{год} = 0,015 \text{ м}^3 / \text{с}; L_3 = 0,0225 \text{ м}^3 / \text{с};$$

$$r_0 = 50 \text{ мм}; r_2 = 60 \text{ мм}; r_1 = 25 \text{ мм}; r_3 = 40 \text{ мм}; r_* = 25 \div 30 \text{ мм}; r_4 = r_1 = 30 \text{ мм};$$

$$a_1 = 25 \text{ мм}; b_1 = 20 \text{ мм}; a_2 = 50 \text{ мм}; b_2 = 20 \text{ мм}, H = 230 \text{ мм}, V_{\text{вх1}} = V_{\text{вх2}} = 15 \text{ м} / \text{с}.$$

а) вхідний опір, включаючи периферійний вихор (потік):

$$\Delta P_{\text{ВХ}} = \frac{\rho}{2} \left(\frac{U_a^2 * r_a}{r_i} - \frac{U_i^2 * r_i}{r_a} + U_i^2 \right), \quad (1)$$

де U_a - лінійна швидкість на стінці АЗЗП; r_a - радіус апарата;

ρ - густина повітря; U_i - лінійна швидкість на межі розділення потоків;

$r_i = r_n$ - радіус межі розділення потоків;

б) опір виходу із апарата (від центрального вихору до вихідної труби):

$$\Delta P = \frac{\rho}{2} V_i^2 \left[K \left(\frac{U_i}{V_i} \right)^4 + \left(\frac{U_i}{V_i} \right)^2 \right], \quad (2)$$

де V_i - вісьова швидкість у внутрішньому вихорі; K - коефіцієнт ($K=4,4$ – циліндричний апарат з тангенціальним входом; $K=3,4$ – уліточний вхід).

Розрахунок опору вторинного каналу.

При подачі запиленого газу тільки з вторинним потоком, частина потоку створює периферійний потік $r_a > r > r_i$; друга частина утворює внутрішній вихор $r_i > r > 0$. Коефіцієнт роздвоєності потоку звичайно складає: $k_2 = 0,2 - 0,5$. Приймаємо середнє значення $k_4 = \frac{0,5 + 0,2}{2} = 0,35$.

1. Розрахуємо витрати периферійного та внутрішнього потоків:

$$L^1 = L_3 * K_4 = 0,0225 * 0,35 = 0,0079 \text{ м}^3 / \text{с}; \quad (3)$$

$$L^2 = L_3(1 - K_4) = (1 - 0,35) * 0,0225 = 0,015 \text{ м}^3 / \text{с}, \quad (4)$$

де L^1 - внутрішній вихор;
 L^2 - периферійний вихор.

2. Кутова швидкість у вихідній трубі:

$$M_{\text{вх}2} = \frac{2}{3} \rho V_{\text{вх}} L_2 \frac{r_{\text{зв}}^3 - r_{\text{вн}}^3}{r_{\text{зв}}^2 - r_{\text{вн}}^2} = \frac{2}{3} * 1,21 * 15 * 0,015 \frac{0,05^3 - 0,03^3}{0,05^2 - 0,03^2} = 0,011 \text{ Нм}; \quad (5)$$

$$C_0 = \frac{2M_{\text{вх}2}}{\rho L_3 r_6^2} = \frac{2 * 0,011}{1,21 * 0,0225 * 0,03^2} = 897,86 \text{ 1/с}. \quad (6)$$

3. Тангенційна швидкість на межі розділення потоків :

$$U_i(z) = \varpi(z) * Z_i; \quad \varpi(z) = C_0 * \frac{Z + H * \frac{L_1}{L_2}}{H(1 + \frac{L_1}{L_2})}; \quad (7)$$

$$\varpi(z=H) = 897,86 * \frac{0,23 + 0,23 * \frac{0,0075}{0,015}}{0,23 * (1 + \frac{0,0075}{0,015})} = 879,9 \text{ } \mu\text{c}; \quad (8)$$

$$U_i(H) = \varpi(H) * r_i = 879,9 * 0,03 = 26,4 \text{ м/с}; \quad (9)$$

$$\varpi(z=0) = \varpi_0 * \frac{L^1}{1 + \frac{L^1}{L^2}} = 897,86 * \frac{0,53}{1,53} = 311 \text{ } \mu\text{c}; \quad (10)$$

$$U_i(0) = 311 * 0,03 = 9,3 \text{ м/с}.$$

Середня швидкість на межі розділення потоків:

$$U_{\text{ісп}} = \frac{U_i(H) + U_i(0)}{2} = \frac{26,4 + 9,3}{2} = 18 \text{ м/с}. \quad (11)$$

4. Осьова швидкість у внутрішньому шарі:

$$V_i = \frac{4L_3}{\pi D_4^2} = \frac{4 * 0,0225}{3,14 * 0,06^2} = 7,96 \text{ м/с}. \quad (12)$$

Відношення швидкостей:

$$\frac{U_{\text{ісп}}}{V_i} = \frac{18}{7,96} = 2,27. \quad (13)$$

5. Тангенціальні швидкості на поверхні апарату
 $r = r_a = r_0 = 0,05 \text{ м}$:

$$U_a(Z) = \varpi_1(Z=0) * \frac{r_i^2}{r_a}; \quad U_a(H) = \frac{Z_i^2}{Z_a} * \varpi_1(Z=H); \quad (14)$$

$$U_a(0) = \varpi_1(Z=0) * \frac{r_i^2}{r_0} = 311 * \frac{0,03^2}{0,05} = 5,6 \text{ м/с}; \quad (15)$$

$$U_a(H) = \varpi_1(Z=H) * \frac{r_i^2}{r_a} = 879,9 * \frac{0,03^2}{0,05} = 15,8 \text{ м/с}; \quad (16)$$

$$U_{\text{аср}} = \frac{15,8 + 5,6}{2} = 10,7 \text{ м/с}.$$

Осьова швидкість:

$$V_a = \frac{4L_3}{\pi D_0^2} = \frac{4 * 0,0225}{3,14 * 0,1^2} = 2,8 \text{ м/с}. \quad (17)$$

6. Витрати тиску на вході в АЗЗП:

$$\Delta P_{\text{вх}_2} = \frac{1,21}{2} \left[\frac{10,7^2 * 0,05}{0,03} - \frac{18^2 * 0,03}{0,05} + 18^2 \right] = 193,85 \text{ Па} . \quad (18)$$

7. Втрати тиску на виході із АЗЗП:

$$\Delta P_{\text{вих}_2} = \frac{1,21}{2} * 7,96^2 \left[4,4 \left(\frac{18}{7,96} \right)^4 + \left(\frac{18}{7,96} \right)^2 \right] = 696,6 \text{ Па} . \quad (19)$$

8. Загальні втрати тиску у вторинному каналі:

$$\Delta P_2 = \Delta P_{\text{вх}_2} + \Delta P_{\text{вих}_2} = 193,85 + 696,6 = 890,45 \text{ Па} . \quad (20)$$

9. Коефіцієнт гідравлічного опору вторинного каналу руху:

$$\xi_2 = \frac{2\Delta P_2}{\rho(V_a)^2} = \frac{2 * 890,45}{1,21 * 2,8^2} = 188 . \quad (21)$$

Розрахунок опору первинного каналу.

1. Визначення витрат внутрішнього і зовнішнього вихорів. Коефіцієнт роздвоєності потоку звичайно складає: $K_2 = 0.2 - 0.5$. Приймаємо $K_a = 0,35$ - коефіцієнт роздвоєності потоку:

$$L^1 = L_3 * K_4 = 0,0079 \text{ м}^3 / \text{с} ; \quad L^2 = L_3(1 - K_4) = 0,015 \text{ м}^3 / \text{с} .$$

2. Визначення кутової швидкості у довільному перерізі:

$$M_{\text{вх}_1} = \frac{2}{3} \rho V_{\text{вх}_1} L_1 \frac{r_{\text{зв}}^3 - r_{\text{вн}}^3}{r_{\text{зв}}^2 - r_{\text{вн}}^2} = \frac{2}{3} * 1,21 * 15 * 0,0075 \frac{0,06^3 - 0,025^3}{0,06^2 - 0,025^2} = 0,006 \text{ Нм} ; \quad (22)$$

$$C_0 = \frac{2M_{\text{вх}_1}}{\rho L_3 r_6^2} = \frac{2 * 0,006}{1,21 * 0,0225 * 0,03^2} = 489,7 \text{ } \frac{1}{\text{с}} . \quad (23)$$

3. Тангенціальна швидкість на лінії розділення потоків (U_i); $r = r_i = r_4$;

$$\omega_1(Z = H) = C_0 * \frac{(Z + H) \frac{L^1}{L^2}}{H(1 + \frac{L^1}{L^2})} = 489,7 * \frac{0,23 + 0,23 * \frac{0,0075}{0,015}}{0,23 * (1 + \frac{0,0075}{0,015})} = 490 \text{ } \frac{1}{\text{с}} \quad (24)$$

$$U_i(H) = \omega(H) * r_i = 490 * 0,03 = 14,7 \text{ м} / \text{с} ; \quad (25)$$

$$\omega_1(z = 0) = C_0 * \frac{\frac{L^1}{L^2}}{1 + \frac{L^1}{L^2}} = 489,7 * \frac{0,53}{1,53} = 169,6 \text{ } \frac{1}{\text{с}} ; \quad (26)$$

$$U_i(0) = 169,6 * 0,03 = 5 \text{ м/с}. \quad (27)$$

Середня швидкість на межі розділення потоків:

$$U_{\text{ісп}} = \frac{U_i(H) + U_i(0)}{2} = \frac{14,7 + 5}{2} = 9,89 \text{ м/с}. \quad (28)$$

4. Осьова швидкість у внутрішньому шарі:

$$V_i = \frac{4L_3}{\pi D_4^2} = \frac{4 * 0,0225}{3,14 * 0,06^2} = 7,96 \text{ м/с}. \quad (29)$$

Відношення швидкостей: $\frac{U_{\text{ісп}}}{V_i} = \frac{9,89}{7,96} = 1,24$.

5. Тангенціальні швидкості на поверхні апарату $r = r_a = r_0 = 0,05 \text{ м}$:

$$U_a(Z) = \omega_1(Z=0) * \frac{r_i^2}{r_a}; \quad U_a(H) = \frac{Z_i^2}{Z_a} * \omega_1(Z=H); \quad (30)$$

$$U_a(0) = \omega_1(Z=0) * \frac{r_i^2}{r_0} = 197,9 * \frac{0,03^2}{0,05} = 3,56 \text{ м/с}; \quad (31)$$

$$U_a(H) = \omega_1(Z=H) * \frac{r_i^2}{r_a} = 560 * \frac{0,03^2}{0,05} = 10,08 \text{ м/с}; \quad (32)$$

$$U_{\text{аср}} = \frac{10,08 + 3,56}{2} = 6,82 \text{ м/с}.$$

6. Витрати тиску на вході в АЗЗП:

$$\Delta P_{\text{вх}_1} = \frac{1,21}{2} \left[\frac{6,82^2 * 0,05}{0,03} - \frac{9,89^2 * 0,03}{0,05} + 9,89^2 \right] = 70,57 \text{ Па}. \quad (33)$$

7. Втрати тиску на виході із АЗЗП:

$$\Delta P_{\text{вих}_1} = \frac{1,21}{2} * 7,96^2 \left[4,4 * 1,24^{\frac{4}{3}} + 1,24^2 \right] = 283,63 \text{ Па}. \quad (34)$$

8. Загальні втрати тиску у первинному каналі:

$$\Delta P_1 = \Delta P_{\text{вх}_1} + \Delta P_{\text{вих}_1} = 70,57 + 283,63 = 354,2 \text{ Па}. \quad (35)$$

9. Коефіцієнт гідравлічного опору вторинного каналу руху:

$$\xi_1 = \frac{2\Delta P_1}{\rho(V_a)^2} = \frac{2 * 354,2}{1,21 * 2,8^2} = 44,77. \quad (36)$$

Загальні витрати тиску.

1. Оптимальна кратність витрат запиленого газу:

$$k^* = \frac{1}{1 + \sqrt{\frac{\xi_1}{\xi_2}}} = \frac{1}{1,691} = 0,67. \quad (37)$$

2. Дійсне співвідношення потоків:

$$\xi = \frac{L_2}{L_1} = \frac{54}{27} = 2; \quad (38)$$

$$\text{кратність потоків } k = \frac{L_2}{L_3} = \frac{\xi}{1 + \xi} = \frac{2}{1 + 2} = 0,666.$$

3. Мінімальний коефіцієнт опору:

$$\xi = \frac{\xi_1}{\left(1 + \sqrt{\frac{\xi_1}{\xi_2}}\right)^2} = \frac{44,77}{1,48} = 30. \quad (39)$$

4. Фактичний коефіцієнт опору:

$$\xi = \xi * \left(\frac{k}{k^*}\right)^2 = 30 \left(\frac{0,666}{0,67}\right)^2 = 29,7. \quad (40)$$

5. Теоретичне значення витрат тиску:

$$\Delta P_T = \xi_T * \rho * \frac{V_a^2}{2} = 29,7 * 1,21 * \frac{2,8^2}{2} = 141 \text{ Па}. \quad (41)$$

Пропонується вибрати коефіцієнт перерахунку теоретичних значень опорів у дійсні за залежністю:

$$K = 3,41 - 0,57D_0. \quad (42)$$

Висновки. Використано метод Вальтера Барта для розрахунку опору експериментальної моделі апарату з зустрічними закрученими потоками. Розрахунки параметрів швидкості проводилися за математичними залежностями, які одержані іншими авторами. На підставі проведених досліджень запропоновано узагальнені та оптимальні розрахунки знаходження витрат тиску у апаратах із зустрічними закрученими потоками, так як це одна з головних характеристик оцінки ефективності розходу енергії АЗЗП.

Література:

1. *Barth W.* Полягає у визначенні опорів центробіжного пиловловлення: на вході (від завихровувача до центрального вихору), та на виході (в центральному вихорі та у вихлопній трубі)[Текст]/ *W. Barth //Berechnung und Anlegung von Zyklonabscheidern und Grund neuerer untersuchungen // Brennstoff-warme-kraft. Bd. 8, N1, 1956.-s.1-10.*

2. *Barth W.* Технічні витрати потоків необхідно знати в кожній частині апарата (приосьова зона або периферійна), а також у залежності від розташування перетину (z) в сепараційній зоні ($H > z > 0$)[Текст]/ *W. Barth, L. Leinewerber // Beurteilung und Anlegung von Zyklonabscheidern Staub, Bd. 24, N 2, 1964. – s.41-84.*

3. *Гудым Л.И.* Із застосуванням методів розрахунку полів швидкості інших авторів[Текст]/ *Л.И. Гудым // Разработка, исследование и внедрение в промышленность первичной переработки текстильного сырья высокоэффективных систем очистки воздуха с выхревыми пылеуловителями: Дисс. докт. техн. наук.- М.:МТИ, 1992.-403с.*

4. *Якуба, А.Р.* Із застосуванням методів розрахунку полів швидкості інших авторів[Текст]/*А.Р. Якуба// Гидродинамика и эффективность пылеуловителей с закрученными потоками в процессах химической технологии красителей, пигментов и вспомогательных веществ//Дис.док.техн.наук.-Сумы 1996.-с.297-299.*

РАСЧЕТ ПОТЕРЬ ДАВЛЕНИЯ АППАРАТА СО ВСТРЕЧНЫМИ ЗАКРУЧЕННЫМИ ПОТОКАМИ ПОСЛЕ УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ДЛЯ ПИЩЕВОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Савченко-Перерва М.Ю., Якуба А.Р

Аннотация - данная работа посвящена разработке уравнений потерь давления аппарата со встречными закрученными потоками после усовершенствования для пищевой промышленности.

CALCULATION OF LOSSES OF PRESSURE OF VEHICLE WITH MEETING INVOLUTE STREAMS AFTER IMPROVEMENT

M. Savchenko-Pererva. A. Yakuba

Summary

Hired sanctified to development of equalizations of losses of pressure of vehicle with meeting involute streams after an improvement for food industry.