

ПОЛЕ СКОРОСТЕЙ В ЦИЛИНДРО-КОНИЧЕСКИХ ЦИКЛОНАХ ПЫЛЕУЛОВИТЕЛЯХ

С.М. Сабадаш, аспирант;

А.Р. Якуба, д-р техн. наук, профессор;

С.О. Минаева, инженер-технолог,

Сумский национальный аграрный университет, г. Сумы

Одержані рівняння розрахунку швидкостей дозволяють використовувати їх при розрахунку ефективності уловлювання пилу і гідравлічного опору циліндрових циклонних пиловловлювачів.

Полученные уравнения расчета скоростей позволяют использовать их при расчете эффективности улавливания пыли и гидравлического сопротивления цилиндрических циклонных пылеуловителей.

В химических и пищевых производствах находят широкое применение процессы очистки газов от твердых мелкодисперсных частиц. Например, при сушке молока в распылительных сушилках его диспергируют в распылителях дискового типа. При действии теплоносителя капли высушиваются с образованием твердых частиц размером 10-100 мкм. Отделение таких частиц от отработанного теплоносителя является сложной технической задачей. Одним из распространенных методов улавливания частиц является использование центробежных пылеуловителей-циклонов с доочисткой в тканевых фильтрах или мокрых скрубберах.

Наиболее эффективными и часто используемыми являются цилиндрико-конические циклоны (рис. 1).

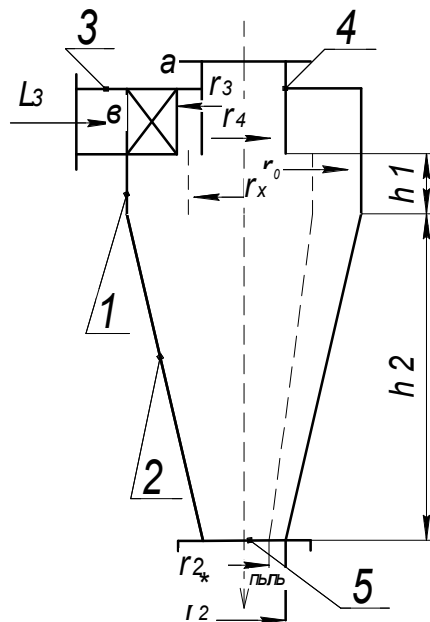


Рисунок 1 - Цилиндро- конический циклон:

1 - цилиндрический корпус; 2 - коническая часть корпуса; 3 - входной патрубок;
4 - выходной патрубок очищенного газа; 5 - патрубок выхода пыли

Он обеспечивает эффективность очистки 90-95 %. Аппараты с цилиндрическим корпусом наиболее изучены, но их эффективность ниже 85-90 %. Цилиндро- конические аппараты менее изучены и не имеют строго обоснованных методов расчета эффективности пылеулавливания, гидравлического сопротивления и обоснованного выбора геометрических параметров.

Для оптимального проектирования цилиндро- конических циклонов в первую очередь необходима разработка методов расчета составляющих скорости в зоне сепарации. В инженерной практике чаще всего используются упрощенные модели движения газовых потоков с установлением границы разделения их на две составляющие и установлением границы разделения между потоками [1].

Газы с твердыми частицами движутся по периферии (внешний поток), опускаясь по спиральной траектории вниз, затем поднимаются вверх в приосевой зоне (внутренний поток) и выходят через осевой выходной патрубок 4 (рис.1). Пыли выходят через патрубок в нижней части корпуса 2 через отверстие 5.

Предыдущими исследованиями [2] установлено, что большая часть входящего потока с объемным расходом L_3 опускается до самого нижнего пылевого отверстия $L_{r_0} = L_3(1-K\varepsilon)$ с поворотом вверх к выходному патрубку 4. Другая часть потока постепенно входит во внутренний слой $L_{r_0} = L_3 \cdot K\varepsilon$.

Значения коэффициента разделения потока составляет $K\varepsilon = 0,25-0,4$.

Обозначения основных геометрических параметров цилиндро- конического циклона приведены на рис.1. Граница разделения представляет собой цилиндро- коническую поверхность с радиусом r : r_0 - радиус корпуса; r_2 - радиус пылевого отверстия; r_3 - радиус входа запыленного потока; r_4 - радиус выходного патрубка газовой очищенной смеси; $r_{0x}; r_{2x}$ - радиусы зоны разделения потоков.

Рассмотрим цилиндрическую и коническую часть отдельно. Определим значения расходов.

Коническая часть. Внутренний слой. $h_2 > z > 0$.

$$L_1(Z+\Delta Z) - L_1(Z) = Vr_* \cdot \Delta S_{\text{бок}}, \quad (1)$$

$$\Delta S_{\text{бок}} = \pi \frac{\Delta Z}{\cos \alpha_*} \left(2r_{2*} + 2z \cdot \operatorname{tg} \alpha_* + \Delta r \cdot \operatorname{tg} \alpha_* \right), \quad (2)$$

где $L_1(z)$ - расход внутреннего потока $0 < r < r_*$.

Последним составляющим в скобках пренебрегаем, т.к. произведение $\Delta r \cdot \Delta z$ дает величину второго порядка малости. Получим после преобразования:

$$\Delta L_1(z) = \frac{L_3 \cdot K_\varepsilon \cdot \frac{\Delta z}{\cos \alpha_*} \left(2r_{2*} + 2z \cdot \operatorname{tg} \alpha_* \right)}{\left[r_{0*} \cdot h_1 + \frac{h_2}{\cos \alpha_*} (r_{2*} + r_{0*}) \right]}; \quad (3)$$

$$\frac{\Delta L_1}{\Delta Z_1} = \frac{dL_1}{dZ} = \frac{L_3 \cdot K_\varepsilon \left(2r_{2*} + 2z \cdot \operatorname{tg} \alpha_* \right)}{\left[r_{0*} \cdot h_1 \cdot \cos \alpha_* + h_2 (r_{2*} + r_{0*}) \right]}. \quad (4)$$

После интегрирования

$$L_1(Z) = \frac{L_3 K_\varepsilon \left(2r_{2*} + z^2 tg \cdot \alpha_* \right)}{\left[r_{0*} \cdot h_1 \cdot \cos \alpha_* + h_1 \left(r_{2*} + r_{0*} \right) \right]} + C_1. \quad (5)$$

Граничное условие: $z=0$; $L_1(Z)=L_3(1-K_\varepsilon)$.

$$C_1=L_3(1-K_\varepsilon).$$

$$L_1(Z) = L_3 \left\{ \left(1 - K_\varepsilon \right) + \frac{K_\varepsilon \left(2r_{2*} \cdot Z + Z^2 tg \cdot \alpha_* \right)}{\left[h_1 \cdot r_{0*} \cdot \cos \alpha_* + h_2 \left(r_{2*} + r_{0*} \right) \right]} \right\}. \quad (6)$$

Аналогично получено

$$L_2(Z) = L_3 \left\{ \left(1 - K_\varepsilon \right) + \frac{K_\varepsilon \left(2r_{2*} \cdot z + z^2 tg \alpha_* \right)}{\left[h_1 \cdot r_{0*} + \frac{h_2}{\cos \alpha_*} \left(r_{2*} + r_{0*} \right) \right]} \right\}, \quad (7)$$

где $L_2(Z)$ - расход во внешнем потоке.

Цилиндрическая часть. Внутренний слой.

$$H > Z > h_2; \quad H = h_2 + z \quad (8)$$

$$L_1(Z+\Delta Z) - L_1(Z) = Vr_* \cdot \Delta S_{\text{бок}}$$

$$L_1(Z) = L_3 + \frac{2L_3 \cdot K_\varepsilon \cdot r_* (Z - H)}{\left[Z_{0*} h_1 + \frac{h_2}{\cos \alpha_*} \left(r_{2*} + r_{0*} \right) \right]}. \quad (9)$$

Цилиндрическая часть. Внешний слой

$$L_2(Z) = L_3 \left\{ 1 + \frac{2K_\varepsilon \cdot r_* (Z - H)}{\left[r_{0*} \cdot h_1 + \frac{h_2}{\cos \alpha_*} \left(r_{2*} + r_{0*} \right) \right]} \right\}. \quad (10)$$

По значениям текущего расхода установлено значения осевых скоростей. Уравнения радиальных скоростей газового потока установлены из понятия неразрывности потока [3]. Тангенциальные скорости газового потока установлены из условия сохранения количества движения. При этом принято что внутренний слой вращается по закону твердого тела, а во внешнем по закону потенциального вращения [4].

Расчетные зависимости для расчета поля скоростей приведены в таблице 1.

Таблица 1

| Название параметра | Расчетная зависимость | Размерность |
|--|--|-------------|
| Скорость во входном патрубке | $V_{\text{вх}} = \frac{L_3}{ab}$ | м/с |
| Угловая скорость в выходном патрубке | $C_0 = \frac{2M_{\text{вх}} \cdot r_*^2}{\rho \cdot r_4 \cdot L_3}$ | 1/с |
| Текущее значение угловой скорости цилиндрической части | $\omega_1(Z) = C_0 \left[\frac{2K_\varepsilon r_{0*} (z-h) + r_{0*} \cdot h_1 + l_2 (r_{2*} + r_{0*})}{z_{0*} \cdot h_1 + l_2 (r_{2*} + r_{0*})} \right]$ | 1/с |
| Угловая скорость конической части | $\omega_1(Z) = C_0 \frac{(1-K_\varepsilon) \cdot \left[r_{0*} \cdot h_1 + l_2 (r_{2*} + r_{0*}) + K_\varepsilon (2 \cdot r_{2*} \cdot z + z^2 \text{tg} \alpha_*) \right]}{(1-K_\varepsilon) \cdot \left[z_{0*} \cdot h_1 + l_2 (r_{2*} + r_{0*}) + K_\varepsilon (2r_{2*} \cdot H + h^2 \text{tg} \alpha_*) \right]} \cdot \frac{r_{0*}^2}{r_{2*}^2}$ | 1/с |
| Осевые скорости | | |
| Цилиндрическая часть | $V_{Z_1} = \frac{L_3 \left[1 + \frac{2K_\varepsilon + r_* (z-H)}{r_{0*} \cdot h_1 + \frac{h_2}{\cos \alpha_*} (r_{2*} + r_{0*})} \right]}{\pi \cdot r_{0*}^2}$ | м/с |
| | $V_{Z_2} = \frac{L_3 \left[1 + \frac{2K_\varepsilon \cdot r_{0*} (z-H)}{h_1 \cdot r_{0*} + \frac{h_2}{\cos \alpha_*} (r_{2*} + r_{0*})} \right]}{\pi (r_0^2 - r_{0*}^2)}$ | м/с |
| Коническая часть | $V_{Z_1} = \frac{L_3 \left\{ (1-K_\varepsilon) + \frac{K_\varepsilon (2r_{2*}^2 \cdot Z + Z^2 \text{tg} \alpha_*)}{\left[h_1 \cdot r_{0*} + \frac{h_2}{\cos \alpha_*} (z_{2*} + z_{0*}) \right]} \right\}}{\pi \cdot r_{Z*}^2}$ | м/с |
| | $V_{Z_2} = \frac{L_3 \left[(1-K_\varepsilon) + \frac{K_\varepsilon (2r_{2*} \cdot z + z^2 \text{tg} \alpha_*)}{h_1 \cdot r_{0*} + \frac{h_2}{\cos \alpha_*} (r_{2*} + r_{0*})} \right]}{\pi (r_z^2 - z_{z*}^2)}$ | м/с |

Продолжение табл. 1

| Радиальная скорость | |
|-------------------------|---|
| Цилиндрическая часть | $V_{r_1} = - \frac{L_3 \cdot K_\varepsilon \cdot r}{\pi \cdot r_{o*} \left[h_1 \cdot r_{o*} + \frac{h_2}{\cos \alpha_*} (r_{2*} + r_{o*}) \right]^2}$ $V_{r_2} = \frac{L_3 \cdot K_\varepsilon \cdot r_*}{\pi (r_o^2 - r_{o*}^2) \left[r_{o*} h_1 + \frac{h_2}{\cos \alpha_*} (r_{2*} + r_{o*}) \right]} \cdot \frac{r^2 - r_o^2}{r^2}$ |
| Коническая часть | $V_{r_1} = - \frac{\varphi_1(z)}{2} \cdot r$ $V_{r_2} = \frac{\varphi_2(z)}{2} \cdot \frac{r_z^2 - r^2}{r}$ |
| Тангенциальные скорости | |
| Внешний слой | $V_{\varphi_2} = \omega_1(z) \frac{r^2}{r}$ |
| Внутренний слой | $V_{\varphi_1} = \omega_1(z) \cdot r$ |

Значение параметра $\varphi_1(z)$:

$$\varphi_1(z) = \frac{\pi \left(r_{2*} + z \cdot tg \alpha_* \right)^2 \cdot \left[\frac{L_3 \cdot K_\varepsilon \left(2r_{2*} + 2z \cdot tg \alpha_* \right)}{z_* \cdot h_1 + \frac{h_2}{\cos \alpha_*} (r_{2*} + r_{o*})} \right]}{\pi^2 \left(r_{2*} + z \cdot tg \alpha_* \right)^4} = \quad (11)$$

$$= L_3 \left\{ \left(L - K_\varepsilon \right) + \frac{K_\varepsilon \left(2r_2 + z + z^2 tg \alpha_* \right)}{\left[r_{o*} + \frac{h_2}{\cos \alpha_*} (r_{2*} + r_{o*}) \right]} \right\} 2\pi tg \alpha_* \left[r_{2*} + z tg \alpha_* \right];$$

$$\varphi_2(z) = \frac{r_{o*}^2}{r_{o*}^2 - r_{z*}^2} \varphi_1(z). \quad (12)$$

Сравнение полученных теоретических значений скоростей проведено со значениями поля скоростей классического циклона Тер-Линдена [4], описанного во многих источниках [5].

Отклонение теоретических скоростей от экспериментальных данных составило:

$V_4=0-40\%$; $V_z=40-55\%$; $V_r=60-80\%$. Значительное отклонение V_r связано с трудностями ее экспериментального определения.

ВЫВОДЫ

Полученные уравнения расчета скоростей позволяют использовать их при расчете эффективности улавливания пыли и гидравлического сопротивления цилиндрических циклонных пылеуловителей.

SUMMARY

FIELD OF SPEEDS OF CYLINDER - CONICAL CYCLONES OF DUST COLLECTORS

S.M. Sabadash, O.R. Yakuba, S.O. Minaeva
Sumy National Agrarian University

Equalizations of calculation of speeds are got allow to use them for the calculation of catching efficiency пылу and hydraulic resistance of cylindrical cyclones of dustcatchers.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Сажин Б.С., Лукачевский Б.П. и др. Моделирование движения газа в аппаратах со встречными закрученными потоками. –ТОХТ. - 1985. - Том XIX, №5. - С.687-690.
2. Белоусов А.С. Структура встречных закрученных потоков и расчет центробежного разделения газов //Дис.... канд. техн. наук. – М.: МТИ, 1979.-225 с.
3. Годунов С.К. Уравнение математической физики.- М.: Наука, 1979.-391 с.
4. Ter Linden.A.I.- Pracs. Inskn Mech. Engrs.-t.160.-1949,-233 с.
5. Страус В. Промышленные очистки газа. - М.: Химия, 1981.-616 с.

Поступила в редакцию 12 февраля 2009 г.