

получение патента РФ на изобретение (положительный результат формальной экспертизы от 27.04.2015 г.).

УДК 621.928.95

### МОДЕЛИРОВАНИЕ СОВМЕСТНОЙ РАБОТЫ ВЗП С ТЭУ

ГОЛОВАНОВ В.В., аспирант, КОЗЛЯКОВ В.В., ВИНОГРАДОВ А.А.

Московский государственный университет дизайна и технологии,  
г. Москва, Российская Федерация

**Ключевые слова:** комбинированные воздухоочистительные устройства (КБОУ), циклоны, вихревые пылеуловители со встречными закрученными потоками (ВЗП), теплоэнергетические установки (ТЭУ), газотурбинная установка (ГТУ).

**Реферат:** в любых пылеуловителях потери давления являются одной из важнейших характеристик. Их необходимо знать при выборе устройств, оценки эффективности затрат энергии, сравнения различных способов улавливания пыли, конструирования аппаратов, их элементов и систем газоочистки.

Основным способом борьбы с вредным влиянием пыли в настоящее время является установка воздухоочистительных устройств (БОУ) на входе в ГТУ. Создается дополнительное сопротивление на входе, приводящее к снижению мощности ГТУ и ухудшению ее экономичности. Поэтому фильтрация воздуха на входе может быть экономически оправдана только при умеренной степени очистки, что является недостаточным по технологическим условиям [1-3].

Газ в вихревой пылеуловитель подают по двум и более каналам. При этом запыленным может быть либо первичный газ, либо вторичный, либо оба одновременно. В связи с этим измеряют потери давления по отдельным каналам и затем определяют эффективную потерю давления в аппарате, отнесенную к расходу очищаемого газа и соответствующую суммарным потерям энергии газа по всем каналам.

С учетом всего вышеперечисленного формулу для расчета можно записать следующим образом:

$$\Delta P Q_3 = \left[ \left( P_1 + \frac{\rho W_1^2}{2} \right) - \left( P_3 + \frac{\rho W_3^2}{2} \right) \right] Q_1 + \left[ \left( P_2 + \frac{\rho W_2^2}{2} \right) - \left( P_3 + \frac{\rho W_3^2}{2} \right) \right] Q_2, \quad (1)$$

где  $\Delta P$  – эффективная потеря давления в аппарате;  $Q_1, Q_2, Q_3$  – расходы первичного, вторичного и очищенного газов;  $P_1, P_2, P_3$  – статистическое давление первичного и вторичного газов на входе и очищенного газа на выходе;  $W_1, W_2, W_3$  – средняя скорость 1-ого и 2-ого газов на входе и очищенного газа на выходе.

Обозначив разности полных давлений, заключенные в квадратные скобки, через  $\Delta P_1$  и  $\Delta P_2$ , получим основное выражение для потери давления в вихревом пылеуловителе:

$$\Delta P Q_3 = \Delta P_1 Q_1 + \Delta P_2 Q_2; \Delta P = \Delta P_1 \frac{Q_1}{Q_3} + \Delta P_2 \frac{Q_2}{Q_3}. \quad (2)$$

Если запыленный газ поступает только по первому каналу,  $Q_3=Q_1$ , то:

$$\Delta P = \Delta P_1 + \Delta P_2 \frac{Q_2}{Q_1}. \quad (3)$$

При подаче запыленного газа только по второму каналу,  $Q_3=Q_2$ :

$$\Delta P = \Delta P_1 \frac{Q_1}{Q_2} + \Delta P_2. \quad (4)$$

При подаче запыленного газа в оба канала  $Q_3=Q_1+Q_2$ :

$$\Delta P = \Delta P_1 \frac{Q_1}{Q_1+Q_2} + \Delta P_2 \frac{Q_2}{Q_1+Q_2}. \quad (5)$$

Из этих уравнений видно, что наименьшие потери будут при подаче запыленного газа в оба канала пылеуловителя.

Для расчета потери давления в пылеуловителе можно использовать следующую формулу:

$$\Delta P = \xi \frac{\rho W^2}{2}, \quad (6)$$

где  $\xi$  - коэффициент сопротивления пылеуловителя;  $W$  – уловная средняя скорость газа в корпусе пылеуловителя, равная отношению расхода очищаемого газа к площади поперечного сечения корпуса  $W=Q/F$ .

Распишем данным образом потери давления при подаче в первый канал, во второй и в оба канала:

$$\Delta P_1 = \xi_1 \frac{\rho W_1^2}{2}, \quad (7)$$

$$\Delta P_2 = \xi_2 \frac{\rho W_2^2}{2}, \quad (8)$$

$$\Delta P_3 = \xi_3 \frac{\rho W_3^2}{2}. \quad (9)$$

Подставив данные выражения в уравнение (2) получим:

$$\xi_3 \frac{\rho W_3^2}{2} = \xi_1 \frac{\rho W_1^2}{2} \frac{Q_1}{Q_3} + \xi_2 \frac{\rho W_2^2}{2} \frac{Q_2}{Q_3}; \xi_3 W_3^2 = \xi_1 W_1^2 \frac{Q_1}{Q_3} + \xi_2 W_2^2 \frac{Q_2}{Q_3}. \quad (10)$$

Далее, заменим  $W$  на выражение  $W=Q/F$ :

$$\xi_3 Q_3^3 = \xi_1 \frac{Q_1^3}{Q_3} + \xi_2 \frac{Q_2^3}{Q_3}. \quad (11)$$

Сократив выражение (11) на  $Q_3^2$  получим:

$$\xi_3 = \xi_1 \frac{Q_1^3}{Q_3^3} + \xi_2 \frac{Q_2^3}{Q_3^3}. \quad (12)$$

При  $Q_3= Q_1 + Q_2$  используя соотношения  $Q_3= Q_1 + Q_2$  и  $k= Q_2/ Q_3$ , получим:

$$\xi_3 = (1-k)^3 \xi_1 + k^3 \xi_2. \quad (13)$$

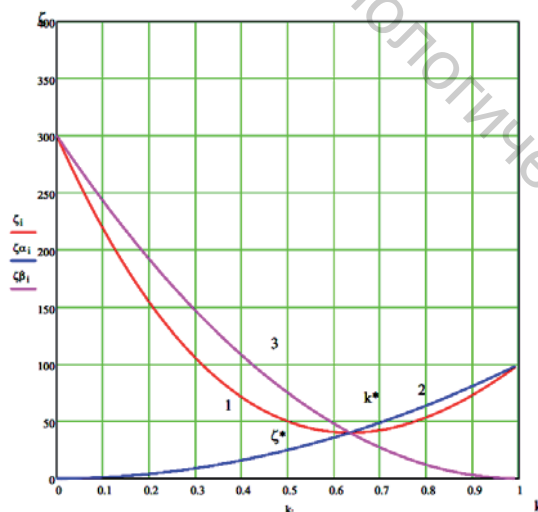


Рисунок 1 – Зависимость коэффициента гидравлического сопротивления пылеуловителя ВЗП от кратности расхода

На рисунке 1 показана зависимость коэффициента гидравлического сопротивления пылеуловителя ВЗП от кратности расхода. Уравнение (13) представлено кривой 1. Величину  $k^*$  можно найти из условия:

$$\frac{d\xi}{dk} = (\xi_2 - \xi_1)k^2 + 2\xi_1 k - \xi_1 = 0, \quad (14)$$

откуда

$$k^* = \frac{1}{\left(1 + \sqrt{\frac{\xi_2}{\xi_1}}\right)} \quad (15)$$

Для минимального значения коэффициента сопротивления из уравнения (13) с учетом (15) получим:

$$\xi_3^* = \frac{\xi_1}{\left(1 + \sqrt{\frac{\xi_2}{\xi_1}}\right)^2} \quad (16)$$

Проверка.

Решая систему уравнений (15) и (16) для  $\xi_1$  и  $\xi_2$ , получим:

$$\xi_1 = \frac{\xi_3^*}{(1 - k^*)^2}; \quad \xi_2 = \frac{\xi_3^*}{k^{*2}}. \quad (17)$$

Тогда уравнение (13) можно представить в следующем виде:

$$\xi = \left[ \frac{(1 - k)^3}{(1 - k^*)^2} + \frac{k^3}{k^{*2}} \right] \xi^*, \quad (18)$$

При условии, что  $\xi_1$  и  $\xi_2 = \text{const}$ . При  $k^* \rightarrow 1$   $Q_1 = \text{var}$ ;  $Q_1 \downarrow \rightarrow k \uparrow \rightarrow \xi_1 \uparrow \rightarrow \xi_2 = \text{const}$ :

$$\xi_1 = \frac{\xi^*}{k^{*2}} \left( \frac{k}{1 - k} \right)^2; \quad (19)$$

Подставив в уравнение (13)  $\xi_1$  и  $\xi_2$ , найденные по (19) и (17), получим зависимость коэффициента сопротивления пылеуловителя от кратности расхода при ее регулировании шибером, установленным в патрубке первичного потока:

$$\xi_3 = \xi^* \left( \frac{k}{k^*} \right)^2. \quad (20)$$

Эта зависимость иллюстрируется кривой 2 на рис.1.

При  $Q_2 = \text{var}$ ;  $Q_2 \downarrow \rightarrow k \downarrow \rightarrow \xi_1 = \text{const} \rightarrow \xi_2 \uparrow$ .

$$\xi_2 = \xi_3^* \left( \frac{1 - k}{1 - k^*} \right)^2 \frac{1}{k^2}. \quad (21)$$

Подставив в уравнение (13)  $\xi_1$  и  $\xi_2$ , найденные по (17) и (21), получим зависимость коэффициента сопротивления пылеуловителя от кратности расхода при ее регулировании шибером, установленным в патрубке вторичного потока:

$$\xi_3 = \xi_3^* \left( \frac{1 - k}{1 - k^*} \right)^2. \quad (22)$$

Из уравнений (18), (20) и (23) следует вывод о том, что коэффициент сопротивления вихревого пылеуловителя при любом режиме работы и способе регулирования кратности расхода может быть вычислен по двум параметрам –  $k^*$  и  $\xi^*$ , соответствующим работе аппарата при полностью открытых шиберах во входных патрубках.

Литература:

1. Сажин Б.С., Гудим Л.И. Вихревые пылеуловители. – М.: Химия, 1985. – 144 с.
2. Михайлов В.Е. Создание высокоэффективных воздухозаборных трактов для энергетических газотурбинных и парогазовых установок. – Автореф. дисс. докт. техн. наук. ОАО «НПО ЦКТИ», 2009. – 32 с.
3. Козлякова О.В. Метод энергетической оценки эффективности применения вихревых пылеуловителей в теплоэнергетических установках. – Автореф. дисс. канд. техн. наук. – МГТУ им. А.Н. Косыгина, 2004. – 16 с.