

УДК 618.3.621.395

Приемов С.И.<sup>1</sup>, Рыжов В.И.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Институт пищевой биотехнологии и геномики НАН Украины

<sup>2</sup> ООО «Версия»

## К РАСЧЕТУ КОЭФФИЦИЕНТА ГИДРАВЛИЧЕСКОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ ЦИКЛОННЫХ ПЫЛЕУЛОВИТЕЛЕЙ В КОММУНАЛЬНОЙ ЭНЕРГЕТИКЕ

Запропоновано новий метод розрахунку коефіцієнта гідравлічного опору циклонних пиловловлювачів у комунальній енергетиці.

Предложен новый метод расчета коэффициента гидравлического сопротивления циклонных пылеуловителей в коммунальной энергетике.

A new method is suggested for calculation of value of hydraulic resistance coefficient for cyclon dust collectors in the municipal energy.

$\bar{a}, \bar{b}$  – ширина и высота входного патрубка, отнесенные к диаметру циклона;  
 $D$  – диаметр;  
 $f$  – площадь;  
 $\Delta P$  – перепад полного давления циклонов;  
 $H$  – высота;  
 $w$  – скорость воздуха;  
 $\Phi_{\text{жвх}}^{\text{г}}$  – интенсивность закрутки потока;  
 $\mu$  – коэффициент динамической вязкости;  
 $\xi$  – коэффициент гидравлического сопротивления;  
 $\rho$  – плотность потока воздуха.

### Индексы верхние:

р – расчет;  
 экс – эксперимент.

### Индексы нижние:

вх – вход;  
 вых – выход;  
 г – газ;  
 общ – общий;  
 цл – цилиндрический;  
 кон – конический.

Наиболее распространенными в коммунальной энергетике и других отраслях промышленности сухими пылеулавливающими устройствами являются циклоны. Этим объясняется повышенный интерес к разработке новых конструкций этих аппаратов и методов их инженерного расчета.

Одной из важных гидравлических характеристик при расчетах циклонов является величина суммарного коэффициента гидравлического сопротивления  $\xi_{\text{вх}} = 2\Delta P / (\rho W_{\text{вх}})^2$ , отнесенного к скорости газа на входе в циклон либо

$$\xi_0 = \xi_{\text{вх}} = (0,75/f_{\text{вх}})^2, \quad (1)$$

отнесенного к средней скорости газа в горизонтальном сечении циклона.

Знание величины  $\xi_0$  необходимо при расчетах наиболее экономичного варианта конструкции циклонов, для учета давления газа

в циклоне при конструировании, а также при выборе тяго-дутьевых средств систем аспирации и технологического вентиляционного оборудования.

Считается, что величина  $\xi_0$  для каждого типа циклона должна определяться опытным путем, поскольку она зависит от многих переменных, в том числе и от конструкции циклона [1]. Отмечается также, что попытки найти универсальную формулу для определения величины  $\xi_0$  в зависимости от различных геометрических соотношений не дали результатов [2].

Настоящая работа посвящена совершенствованию метода расчета  $\xi_0$  цилиндрических пылеуловителей и является продолжением работы [3].

Величина  $\xi_0$  зависит от критерия  $Re = W_{\text{г}} D_{\text{ц}} / \rho_{\text{г}} \mu_{\text{г}}$ , причем, это влияние сказывается до определенного его значения, а при доста-

точно высоких значениях  $Re$  (автомодельная область)  $\xi_0$  – величина постоянная. Поскольку обычно циклоны работают в автомодельном режиме, значения  $\xi_0$  принимаются постоянными для каждого циклона.

В табл. 1 приведены зависимости для определения величин  $\xi_{\text{вх}}$  и  $\xi_0$ , полученные различными авторами.

Табл. 2 содержит результаты расчетов величин отклонений расчетных и экспериментальных значений  $\xi_0$  (в %) для наиболее распространенных в коммунальной энергетике циклонов по приведенным в табл. 1 зависимостям.

Приведенные в строке 13 табл. 2 данные удовлетворительно корреспондируют с данными по оценке точности расчетов  $\xi_0$  по различным методам [6], где показано, что наиболее

приемлемой (при коэффициенте корреляции 0,77) и одновременно наиболее простой является формула Шеферда и Леппла (формула № 6, табл. 1).

Опыт создания одних из наиболее распространенных циклонов типа ЦН (11;15 и 24), когда, практически, изменялись только величины  $\bar{v}$  (при  $\bar{a} = 0,26 = \text{const}$ ), позволяет, на наш взгляд, оценить количественно влияние величины  $\bar{v}$  на величину  $\xi_0$ . Для этого принимаем за основу для рассмотрения одну из наиболее точных и простых зависимостей Шеферда (6), в которой коэффициент ( $K = 16$ ) принят постоянным для всех тангенциальных завихрителей (независимо от величины  $\bar{v}$ ) [7]. Учитывая опыт создания циклона ЦН (в части влияния  $\bar{v}$  на  $\xi_0$ ), а также данные по оценке влияния на  $\xi_0$  высоты цилиндрической части циклона [3], можно

Табл. 1. Расчетные зависимости для оценки  $\xi_{\text{вх}}$  циклонов

Автор, источник	Формула	Тип циклонного аппарата
Тонконогий [4]	$\xi_{\text{вх}} = 29 \left( \frac{\bar{f}_{\text{вх}}}{\bar{f}_{\text{вых}}} \right) \left( \frac{\bar{t}_{\text{вых}}}{H_{\text{общ}}} \right)^{3/4} \quad (2)$	Циклон с верхним выводом
Ж. Касал [5]	$\xi = 11,3 \left( \frac{\bar{f}_{\text{вх}}}{D_{\text{вых}}^2} \right)^2 + 3,33 \quad (3)$	-
Индани [1]	$\xi_{\text{вх}} = 7,5\pi \frac{f_{\text{вх}}}{D_{\text{вых}}^2} (\bar{H}_{\text{цп}} + \bar{H}_{\text{кон}})^{-1/2} \quad (4)$	Циклон-пылеотделитель
Солер [1]	$\xi = 4,4 \left( \frac{v_{\text{вх}}}{v_{\text{вых}}} \right)^{-2/3} \quad (5)$	-
Шеферд и др. [2]	$\xi_{\text{вх}} = K \frac{f_{\text{вх}}}{D_{\text{вых}}^2} \quad (6)$ ( $K = 16$ – для тангенциального и $12$ – улиточного завихрителей)	
Приемов С.И. [3]	$\xi_0 = \left[ 20,5 \cdot \Phi_{\text{жвх}}^{\Gamma} \left( \frac{\bar{H}_{\text{об}}}{\bar{D}_e} \right)^{\frac{2}{3}} - 65 \right] \cdot \left( \frac{1,7}{\bar{H}_{\text{ц}}} \right)^{\frac{1}{5}} \quad (7)$	Циклон-пылеуловитель

Табл. 2. Оценка точности расчета величины  $\xi_0$  (в %)

№	Тип циклона	Номер формулы из табл. 1					
		2	3	4	5	6	7
1	ЦН-11	3,6	4,0	34	38	9,2	7,5
2	ЦН-15	0,92	20,5	26,4	7,5	3,12	18,8
3	ЦН-24	2,0	3,25	7,22	53,0	23,75	–
4	ЦКТИ	2,6	13,8	29,4	65,0	1,72	2,16
5	ЛИОТ	23,8	7,17	27,0	152	17,4	7,38
6	П-1	4,37	29,0	35,0	47,4	18,6	14,6
7	УЦ-38	59,0	56,0	52,0	55	43	5,27
8	СЦН-40	68,6	17,3	33,3	10	18,9	5,44
9	ЦН-15У	3,65	5,2	3,9	7,5	22	–
10	ОТИ	43,7	25,3	20,86	73,9	5,6	9,17
11	СК-ЦН-34	28	59,5	54,8	85	59,5	3,9
12	Крейзеля	0,57	21,8	17,05	66,2	3,5	14,2
13	Среднее отклонение	22,3	21,92	28,37	50,4	18,8	7,37

получить следующую зависимость для оценки величины  $\xi_0$ :

$$\xi_0 = \frac{K}{f_{\text{ВХ}}} \left( \frac{0,785}{\bar{D}_{\text{ВЫХ}}} \right)^2 \cdot \left( \frac{1,7}{\bar{H}_{\text{Ц}}} \right)^{\frac{1}{5}} \quad (8)$$

Зависимость (8) получена в результате преобразования формулы (1) и использования одной из наиболее точных зависимостей (6) Шефферда

$$\begin{aligned} \xi_0 &= \xi_{\text{ВХ}} \left( \frac{0,785}{\bar{a}\bar{b}} \right)^2 \equiv \frac{K \cdot f_{\text{ВХ}}}{(\bar{D}_{\text{ВЫХ}})^2} \cdot \left( \frac{0,785}{\bar{a}\bar{b}} \right)^2 \equiv \\ &\equiv \frac{K \cdot \bar{a}\bar{b}}{(\bar{a}\bar{b})^2} \cdot \left( \frac{0,785}{\bar{D}_{\text{ВЫХ}}} \right)^2 \equiv \frac{K}{\bar{a}\bar{b}} \cdot \left( \frac{0,785}{\bar{D}_{\text{ВЫХ}}} \right)^2 \end{aligned}$$

где коэффициент  $K$  является переменной величиной, зависящей от высоты входного патрубка  $\bar{b}$  тангенциального завихрителя.

По зависимости Шефферда (6) и значением  $\xi_0$  для циклонов НИИОгаз [8] нами вычислена функция  $K = f(\bar{b})$ , которую можно записать в виде

$$K = 13,5 \frac{(\bar{b})^{-0,365}}{f_{\text{ВХ}}} \quad (9)$$

Тогда зависимость (8) принимает вид

$$\xi_0 = 13,5 \frac{(\bar{b})^{-0,365}}{f_{\text{ВХ}}} \left( \frac{0,785}{\bar{D}_{\text{ВЫХ}}} \right)^2 \cdot \left( \frac{1,7}{\bar{H}_{\text{Ц}}} \right)^{\frac{1}{5}} \quad (10)$$

Расчетные значения  $\xi_0^{\text{P}}$  для одиннадцати наиболее распространенных в коммунальной энергетике циклонов и данные по оценке точности расчетов по зависимости (10) приведены в табл. 3.

Как видно из данных таблицы 3, среднее по всем циклонам отклонение расчетных по зависимости (10) и опытных значений  $\xi_0$  составило 2,49 %, что в 8 раз точнее расчета по Шефферду (6) и в 2,7 раза точнее предложенной ранее зависимости (7) [3].

Таким образом, точность предлагаемого в настоящей работе метода расчета величины коэффициента гидравлического сопротивления

Табл. 3. Оценка точности расчетов величины  $\xi_0^p$  по зависимости (10)

Тип циклона	$\bar{a}$	$\bar{b}$	$\bar{f}_{\text{вх}}$	$\bar{D}_{\text{вых}}$	$\bar{H}_{\text{ц}}$	$\bar{K}_p$	$\xi_0^p$	$\xi_0^{\text{экс}}$	$\frac{(\xi_0^{\text{экс}} - \xi_0^p)}{\xi_0^{\text{экс}}} \cdot 100\%$	Источник
ЦН-11	0,26	0,48	0,125	0,59	1,74	17,65	249	250	0,4	[9]
ЦН-15	0,26	0,66	0,172	0,59	1,94	15,72	158	160	1,06	[9]
ЦН-24	0,26	1,11	0,286	0,6	1,716	13,0	77	80	3,75	[9]
ЦКТИ(Ц)	0,2	0,6	0,12	0,6	2,5	16,27	215	200	7,5	[10]
ЛИОТ: Ø 0,7	0,207	0,36	0,075	0,586	1,54	19,8	466	460	1,21	[9]
Ø 0,55	0,182	0,527	0,096	0,54	1,6	17,06	380	410	7,3	[3]
УЦ-38	0,255	0,255	0,07	0,38	0,8	22,23	1696	1730	1,96	[9]
СЦН-40	0,16	0,38	0,061	0,4	1,6	19,22	1228	1250	1,76	[11]
ЦН-15У	0,26	0,66	0,172	0,59	1,21	15,72	173,6	170	2,1	[9]
ОТИ	0,225	0,45	0,1	0,55	0,66	18,07	439	432	1,62	[12]
СК-ЦН-34	0,209	0,516	0,108	0,34	0,516	17,18	1080	1150	6,08	[9]
Крейзеля	0,24	0,507	0,122	0,4	1,586	17,3	555	525	5,7	[13]

цилиндро-конических циклонных пыле-золоуловителей в несколько раз выше, чем у имеющихся в различных литературных источниках методов расчета. Поэтому данный метод расчета может быть использован для решения различных задач механики аэрозолей на объектах коммунальной энергетики и других отраслей промышленности.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Разумов И.М., Сычева А.И. Циклонные сепараторы, конструкции и методы их расчета. ЦБТИ. – М.: 1961. – 70 с.
2. Сабуров Э.Н., Карнов С.В., Осташев С.И. Теплообмен и аэродинамика закрученного потока в циклонных устройствах: Под ред. Э.Н. Сабурова-Л.: Изд-во Ленингр. Университета. – 1989. – 276 с.
3. Приемов С.И. К расчету эффективности золоулавливания и гидравлического сопротивления циклонных аппаратов // Промышленная теплотехника. – 2004. – № 4. – С. 47–52.
4. Устименко Б.П. Процессы турбулентного переноса во вращающихся течениях. – Алма-

Ата. – 1977. – 226 с.

5. Casel I., Martinez-Benet J.M. A better way to calculate cyclone pressure drop// Chem.Eng. – 1983. – P. 24.
6. Leith D., Mehta D. // Atmospheric Environment – 1973 – 7, №. 5. – p. 527–549.
7. Гунта А., Лилли Д., Сайред Н. Закрученные потоки. – М.: Мир. – 1987 – 588 с.
8. Справочник по пыле- и золоулавливаю. / Под ред. А.А. Русанова. – М.: Энергоатомиздат. – 1983. – 312 с.
9. Коузов П.А. Коэффициенты гидравлического сопротивления сухих циклонов.//Научн. работы институтов охраны труда ВЦСПС-1969. – Вып. 58. – С. 3–12.
10. Курсанова Н.С. Новые исследования в области центробежной сепарации пыли. Обз. информ. НИИОгаз // ЦНИИТИХИМНЕФЕ-МАШ. – М. – 1989. – 58 с.
11. Карпухович Д.Т. Влияние относительной высоты цилиндрической части корпуса циклона на его характеристики // Химическое и нефтяное машиностроение – 1986. – № 10 – С. 17–18.

12. *Штокман Е.А.* Очистка воздуха от пыли на предприятиях пищевой промышленности. – М.: – 1977 – 303 с.

13. *Алиев Г.М.* Техника пылеулавливания и очистка промышленных газов. Спр. изд.- М.: – 1986. – 544 с.

*Получено 06.06.2011 г.*