

УДК 66.047

**ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ И АЛГОРИТМ РАСЧЕТА
ЦЕНТРОБЕЖНЫХ ПЫЛЕУЛОВИТЕЛЕЙ
ДЛЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ**

М.Б. САЖИНА, В.А. УГЛОВ, Б.С. САЖИН, В.Б. САЖИН

**(Российский заочный институт текстильной и легкой промышленности,
Московский государственный текстильный университет им. А.Н. Косыгина,
Российский химико-технологический университет им. Д.И. Менделеева)**

В основу расчета эффективности центробежных пылеуловителей [1...3, 11], составляющих главное пылеулавливающее оборудование на предприятиях текстильной и легкой промышленности, положены два основных принципа, принятые в отечественной и зарубежной практике: распределение фракционных эффективностей (как и дисперсный состав пылей) подчиняется ЛНР и пересчет параметра $d_{\eta 50}$ (диаметр частиц пыли, улавливаемых на 50 %) от стандартных на рабочие условия осуществляется на основании равенства критериев Стокса:

$$Stk = \frac{d^2 \rho_w}{\mu D} \quad (1)$$

При обработке экспериментальных данных по пылеочистке, как и для других процессов, удобно использовать вероятностные функции [1, 4, 8, 10, 13].

Для центробежных пылеуловителей при оценке их энергетики используется уравнение [1, 4, 6, 8, 9, 13], связывающее $d_{\eta 50}$ и коэффициент гидравлического сопротивления аппарата ξ^* (линия минимума энергозатрат):

$$d_{\eta 50} = \frac{A}{(\xi^*)^n} \quad (2)$$

где A и n – опытные значения коэффициентов. При обработке опытных данных авторов [1...9] для циклонов при минимуме затрат энергии получены значения $A=32,7$ и $n=0,43$; для вихревых пылеуловителей – $A=15,5$ и $n=0,38$.

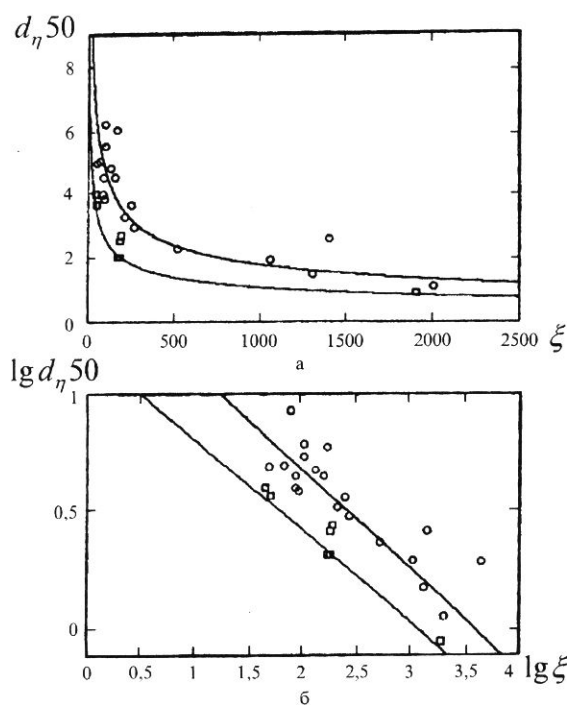


Рис. 1

На рис.1-а приведены экспериментальные данные по энергетике циклонов (o) и вихревых пылеуловителей (□) и кривые, построенные по уравнению (2). Все экспериментальные данные пересчитаны к

одинаковым условиям, наиболее часто встречающимся в промышленной практике ($\rho^*=1930 \text{ кг/м}^3$; $D^*=0,6 \text{ м}$; $w^*=3,5 \text{ м/с}$; $\mu=22,2 \text{ Па}\cdot\text{с}$) из условия равенства критериев Стокса:

$$d_{\eta 50}^* = d_{\eta 50} \sqrt{\frac{\rho w \mu^* D^*}{\rho^* w^* \mu D}} \quad (3)$$

При проведении кривой для циклонов опытные значения, лежащие намного выше кривой, не учитывались, так как они представляют собой данные по работе неэффективных циклонов, конструкции которых неудачны. Примером таких циклонов являются "Клайпеда", ЦН-15У.

Из графика, представленного на рис.1-а, видно, что все вихревые пылеуловители (обозначены □) менее энергоемки, чем циклоны, и поэтому их применение предпочтительно.

Крайняя правая точка для вихревых пылеуловителей на графиках соответствует высокоэффективному базовому вихревому пылеуловителю ВЗПК. На рис. 1-б те же данные, что и на рис. 1-а, представлены в логарифмических координатах. При этом расчетные кривые линеаризуются. Этот график наиболее удобен для сравнения различных типов пылеуловителей.

Параметры улавливаемой пыли (σ , d_{50}) могут быть получены на основе номограммы дисперсного состава пылевидных материалов в ЛН-координатах. Распределение фракционных эффективностей пылеуловителей, как и дисперсный состав пылей, подчиняется ЛНР [6...8].

Для расчета эффективности пылеулавливания предлагается использовать методику Алландера, в соответствии с которой на графике строится базовая точка, соответствующая размеру частиц, улавливаемых на 50 % ($d_{\eta 50}$), и проведению из нее лучей с различными значениями параметра σ .

Значения $d_{\eta 50}$ могут быть определены экспериментально или вычислены по уравнению энергетической кривой (2). На графике удобнее наносить точку $d_{\eta 50}$ для

стандартных условий (3), внося поправку при пересчете на рабочие условия [6...9].

На рис. 2 в качестве примера изображен лучевой график, построенный для базового вихревого пылеуловителя ВЗПК.

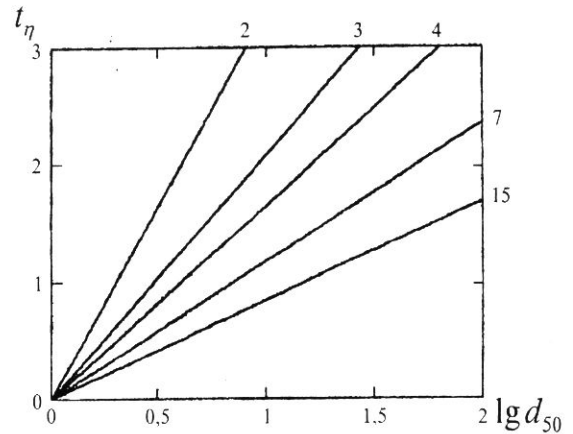


Рис. 2

На основании лучевых графиков пылеулавливания могут быть получены соответствующие им уравнения, представляющие уравнение пучка прямых. Такое уравнение с учетом того, что центр пучка имеет координаты $t_{\eta}=0$ и $d_{50}=d_{\eta 50}$ для пылей второго класса [1, 6...8]:

$$t_{\eta} = \frac{\lg d_{50} - \lg d_{\eta 50}}{\lg \sigma} \quad (4)$$

Для расчета по уравнению (4) кроме характеристики пылеуловителя необходимо также знать параметры пыли σ и d_{50} . Как показано в [1, 6...8], для пылей 1-го класса достаточно знать только один параметр: либо σ , либо d_{50} .

Так, при известном d_{50} :

$$t_{\eta} = 6 \frac{\lg d_{50} - \lg d_{\eta 50}}{4,2 - \lg d_{50}} \quad (5)$$

При известном значении σ :

$$t_{\eta} = \frac{4,2 - 6 \lg \sigma - \lg(d_{\eta 50})}{\lg \sigma} \quad (6)$$

Для расчета эффективности пылеулавливания в последнем случае расчетное уравнение имеет вид

$$\eta = C_{\text{norm}} \left(\frac{4,2 - 6 \lg \sigma - \lg(d_{\eta 50})}{\lg \sigma} \right). \quad (7)$$

В качестве примера на рис. 3 показаны результаты расчета эффективности циклона ЦН-15 диаметром 400 мм при улавливании кварцевой пыли по лучевому графику.

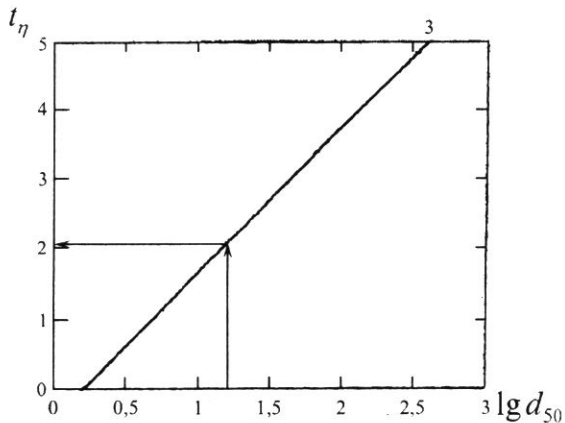


Рис. 3

Кварцевая пыль относится к пылям второго класса ($\sigma=3$ и $d_{50}=16$ мм). Параметр циклона $d_{\eta 50}=1,6$ мкм. При вычислении интеграла вероятности для t_{η} , определяемой по уравнению (4), эффективность очистки $\eta=98$ %.

При расчете непосредственно по графику (рис. 3) для медианного размера частиц $\lg d_{50}=1,204$ этому значению на оси ординат при $\sigma=3$ соответствует значение $t_{\eta}=2,1$, а соответствующая степень очистки, определяемая по таблицам, составляет 98,3 %.

При проведении технологических процессов с твердой дисперсной фазой в безуносном режиме хорошо зарекомендовали себя вихревые пылеуловители [1...3, 11, 13]. Порядок расчета этих аппаратов такой же, как и обычных пылеуловителей:

– по данным гидравлических потерь в пылеуловителе рассчитывается коэффициент гидравлического сопротивления аппарата ξ по уравнению

$$\Delta P = \xi Q \frac{w^2}{2}; \quad (8)$$

– по уравнению энергетической кривой (3) с учетом пересчета на рабочие параметры находят $d_{\eta 50}$;

– по известным параметрам улавливаемой пыли σ и d_{50} находят параметр t_{η} по соотношению (4);

– проводя расчет по интегралу вероятности, находят эффективность очистки пыли при работе данного пылеуловителя. При расчете эффективности используются уравнения (4) и (5...7).

Следует отметить, что приведенный интегральный метод расчета эффективности вихревых пылеуловителей достаточно прост и имеет преимущество перед расчетом по методу Самсонова, основанному на данных эффективности работы пылеуловителя на двух различных пылях, так как по последнему методу необходимо иметь 2 пыли, значительно отличающиеся по степени дисперсности, и в ряде случаев может быть получен результат в виде мнимых чисел.

В случае улавливания адгезионно активных пылей, налипающих на стенки аппарата, предпочтение следует отдать пылеуловителям со встречными закрученными потоками (ВЗП) с расширяющимся книзу конусом (аппараты ВЗПРК) [2, 3, 9, 11].

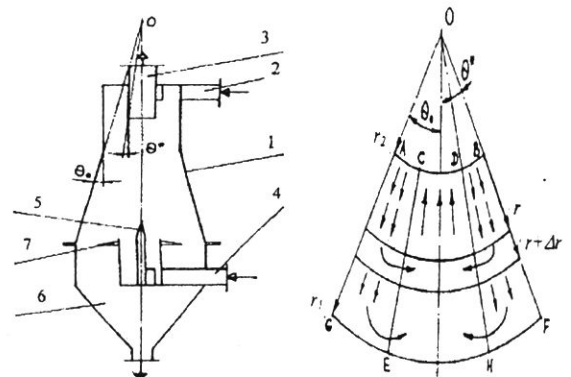


Рис. 4

Схематически аппарат ВЗПРК изображен на рис. 4, где 1 – конический расширяющийся книзу корпус аппарата; 2 – верхний периферийный тангенциальный ввод запыленного газа; 3 – патрубок

выхода очищенного газа; 4 – нижний центральный тангенциальный ввод запыленного газа; 5 – вытеснитель; 6 – бункер уловленного материала; 7 – отбойная шайба.

Для расчета аппарата ВЗПРК необходимо иметь следующие исходные данные: расход запыленного воздуха L , м³/с; требуемая эффективность очистки; дисперсный состав пыли, ее плотность; данные по кинетике истирания в пылеуловителе ВЗП (или кинетике абразивного износа, или данные по условиям налипания материала на стенки аппарата).

Диаметр цилиндрической части можно определить по формуле

$$D_y = 2 \sqrt{\frac{L}{\pi \vartheta_y}}, \quad (9)$$

где ϑ_y – условная скорость газа в цилиндрической части аппарата, м/с.

Значения ϑ_y следует брать в диапазоне $\vartheta_y = (5 \dots 9)$ м/с; при больших значениях ϑ_y (из указанного диапазона) больше эффективность пылеочистки, однако возрастают потери давления и истирание материала.

Отношение высоты конусной или сепарационной зоны H_k к диаметру цилиндрической части $D_{ц}$ $\frac{H_k}{D_{ц}}$ можно

выбирать в диапазоне $\frac{H_k}{D_{ц}} = (2 \div 3)$.

Угол между образующей конуса и вертикалью θ_0 следует выбирать в диапазоне 3÷7 град (при больших углах уменьшается улавливающая способность аппарата, меньшие углы ближе к другой технологической задаче: не для истирающихся материалов).

Зная $D_{ц}$, H_k и θ_0 , можно определить нижний диаметр конуса D_n :

$$D_n = D_y + 2H_k \operatorname{tg} \theta_0. \quad (10)$$

Значения соответствующих скоростей газа следует выбирать в диапазонах

$$\vartheta_{\text{вх}_1} = 18 \div 28 \text{ м/с}; \quad \vartheta'_1 \approx \vartheta_1 = 11 \div 20 \text{ м/с}.$$

Для верхнего подвода газа входная скорость $\vartheta_{\text{вх}} = 19 \div 28$ м/с.

Скорость в кольце ϑ_2 между выходным патрубком и стенкой аппарата определяется автоматически из задания геометрических соотношений для верхнего ввода газа.

Эффективность рассчитывается изложенным выше методом или на основании разработанного описания движения газовой и твердой фаз с учетом стохастических коэффициентов. Для этого с использованием разработанных программ [2, 3, 9, 11, 13] вычисляются конечные координаты мелких частиц, строятся графики функций $\Gamma_1^{-1}(r_n)$, $\Gamma_2^{-1}(r_n)$, определяются кривые фракционной эффективности (КФЭ) для нижнего и верхнего каналов аппарата, по которым определяется и общая эффективность аппарата.

Приведенный анализ применяется также для расчета сушилок со встречными закрученными потоками, находящими все большее применение для сушки дисперсных материалов с одновременным улавливанием пылевой фракции.

ВЫВОДЫ

1. При сравнении циклонов и аппаратов со встречными закрученными потоками (ВЗП) по эффективности улавливания тонкодисперсной пыли показано, что аппараты ВЗП эффективнее традиционных пылеуловителей циклонного типа, причем в случае улавливания адгезионно активных пылей, налипающих на стенки аппарата, предпочтение следует отдать пылеуловителям ВЗП с расширяющимся книзу конусом (аппараты ВЗПРК).

2. Приведен алгоритм инженерного расчета аппаратов. Для расчета аппарата ВЗПРК кроме традиционных исходных данных (расход запыленного воздуха L , м³/с; необходимая степень улавливания; дисперсный состав пыли, ее плотность) необходимо иметь данные по адгезионно-

когезионным свойствам пыли (кинетика истирания, абразивность, значение адгезионно-когезионного коэффициента).

ЛИТЕРАТУРА

1. Сажин Б.С., Гудим Л.И. Вихревые пылеуловители. – М.: Химия, 1995.
2. Сажин Б.С., Сажин В.Б. Научные основы техники сушки. – М.: Наука, 1997.
3. Сажин В.Б., Сажина М.Б. Сушка в закрученных потоках: теория, расчет, технические решения. – М.: 2001.
4. Сажин Б.С. и др. // Химическая промышленность. – 1984, №10. С.626.
5. Гудим Л.И., Сажин Б.С., Маков Ю.Н. // Химическая промышленность. – 1987, №4.С.40.
6. Пирумов А.И. Обеспыливание воздуха. – М.: Стройиздат, 1981.
7. Алиев Г.М. Техника пылеулавливания и очистка промышленных газов. Справочник. – М.: Metallurgia, 1986.
8. Сажин Б.С., Гудим Л.И., Ефремов Г.И., Реутский В.А. Исследование, разработка и внедрение многофункциональных аппаратов со встречными закрученными потоками. В кн.: Современные проблемы развития текстильной, легкой, химической промышленности, текстильного машиностроения и задачи подготовки инженерных кадров. – М.: МТИ, 1979.
9. Акулич А.В., Булекова Ю.А. Эксергетические потери в пылеуловителях ВЗП / Тез. докл. Междунар. научн.-технич. конф.: Современные наукоемкие технологии и перспективные материалы текстильной и легкой промышленности "ПРОГРЕСС-98". – Иваново, 1998. С.215.
10. Ефремов Г.И., Сажин Б.С., Булеков А.П., Сажин В.Б. Описание изотерм сорбции-десорбции пористых материалов с применением вероятностных функций / Тез. докл. Междунар. конф.: Математические методы в химии и химической технологии. – Новомосковск, ч.1., 1997. С.31.
11. Сажин В.Б., Сажина М.Б. Выбор и расчет аппаратов с взвешенным слоем. – М., 2002.
12. Сажин Б.С., Булеков А.П., Сажин В.Б. Эксергетический анализ работы промышленных установок. – М., 1999.
13. Авакян В.А., Винберг А.А., Першуков В.А. // ТОХТ. – 1992, 26. №5. С. 692.

Рекомендована кафедрой теплотехники. Поступила 02.04.03.