

ВЫБОР ТИПА ЦИКЛОНА ИСХОДЯ ИЗ ТРЕБОВАНИЯ МИНИМИЗАЦИИ ЭНЕРГОЗАТРАТ НА ОЧИСТКУ ГАЗА

Эффективность очистки газов η в циклонах характеризуется прежде всего параметром d_{50} – диаметром частиц пыли, улавливаемых с эффективностью 50%. Данный параметр для более эффективных типов циклонов ниже, однако влиять на него можно также варьируя среднерасходную (условную) скорость газа в циклоне w и диаметр циклона D [1–3]:

$$d_{50} = d_{50C} \sqrt{\frac{w_C D \rho_{чC} \mu}{w D_C \rho_{чC} \mu_C}}, \text{ м} \quad (1)$$

где $\rho_{ч}$ – плотность частиц пыли, кг/м^3 ; μ – коэффициент динамической вязкости очищаемого газа, $\text{Па}\cdot\text{с}$; параметры с индексом «С» – справочные, соответствующие условиям, при которых было получено значение d_{50C} (обычно при испытании циклона).

С увеличением w растет не только эффективность очистки, но и энергетические затраты на очистку газа N , определяемые гидравлическим сопротивлением циклона ΔP :

$$N = \frac{\Delta P Q}{1000 \cdot \eta_{в} \eta_{п} \eta_{дв}} \tau, \text{ кВт}\cdot\text{ч} \quad (2)$$

где Q – расход очищаемого газа, $\text{м}^3/\text{с}$; τ – количество часов работы циклона; $\eta_{в}$, $\eta_{п}$, $\eta_{дв}$ – КПД вентилятора, передачи и двигателя соответственно;

$$\Delta P = \xi \frac{w^2 \rho}{2}, \text{ Па} \quad (3)$$

где ξ – коэффициент гидравлического сопротивления циклона; ρ – плотность очищаемого газа, кг/м^3 .

Величины w и D связаны зависимостью:

$$D = \sqrt{\frac{4Q}{\pi w n}}, \text{ м} \quad (4)$$

где n – количество циклонов.

Поскольку при подборе циклона исходно обычно известно значение расхода очищаемого газа, а не диаметра циклона, то зависимость d_{50} от w представим следующим образом с учетом формулы (4):

$$d_{50} = d_{50C} \sqrt{\frac{w_C \sqrt{\frac{4Q}{\pi w n}} \rho_{\text{ч}} \mu}{w \sqrt{\frac{4Q_C}{\pi w_C}} \rho_{\text{ч}} \mu_C}} = d_{50C} \left(\frac{w_C}{w}\right)^{3/4} \left(\frac{\rho_{\text{ч}} \mu}{\rho_{\text{ч}} \mu_C}\right)^{1/2} \left(\frac{Q}{n Q_C}\right)^{1/4} \quad (5)$$

Выражая скорость газа через соответствующее ей гидравлическое сопротивление получим:

$$d_{50} = d_{50C} \left(\frac{\Delta P_C}{\Delta P} \frac{\xi \rho}{\xi_C \rho_C}\right)^{3/8} \left(\frac{\rho_{\text{ч}} \cdot \mu}{\rho_{\text{ч}} \cdot \mu_C}\right)^{1/2} \left(\frac{Q}{n Q_C}\right)^{1/4} \quad (6)$$

где ΔP_C и ξ_C – гидравлическое сопротивление и коэффициент гидравлического сопротивления циклона, для которого было получено значение d_{50C} .

Из формулы (6) следует, что при прочих равных условиях (величина ξ у ряда конструкций циклонов, в частности у распространённых циклонов НИИОГАЗ серии ЦН, начинает снижаться для диаметров менее 450–500 мм [1–3]) в данном виде циклона для уменьшения величины d_{50} в k раз требуется увеличивать гидравлическое сопротивление циклона и энергетические затраты на очистку газа в $k^{8/3}$ раз.

Сопоставим энергетические затраты для достижения требуемой величины d_{50} в циклонах разных типов при одинаковом количестве циклонов n используя формулу (6):

$$\begin{aligned} d_{50C1} \left(\frac{\Delta P_{C1}}{\Delta P_1} \frac{\xi_1 \rho}{\xi_{C1} \rho_{C1}}\right)^{3/8} \left(\frac{\rho_{\text{ч}} \mu}{\rho_{\text{ч}} \mu_{C1}}\right)^{1/2} \left(\frac{Q}{Q_{C1}}\right)^{1/4} = \\ = d_{50C2} \left(\frac{\Delta P_{C2}}{\Delta P_2} \frac{\xi_2 \rho}{\xi_{C2} \rho_{C2}}\right)^{3/8} \left(\frac{\rho_{\text{ч}} \mu}{\rho_{\text{ч}} \mu_{C2}}\right)^{1/2} \left(\frac{Q}{Q_{C2}}\right)^{1/4}, \end{aligned} \quad (7)$$

где индексы «1» и «2» соответствуют параметрам для первого и второго из сравниваемых циклонов соответственно.

Сократив параметры, соответствующие заданным условиям очистки (Q , $\rho_{\text{ч}}$, μ , ρ), выразив расход газа с помощью формулы (4) и перегруппировав, получим:

$$\left(\frac{\Delta P_1 \xi_2}{\Delta P_2 \xi_1}\right)^{3/8} = \frac{d_{50C1}}{d_{50C2}} \left(\frac{\Delta P_{C1}}{\Delta P_{C2}} \frac{\xi_{C2} \rho_{C2}}{\xi_{C1} \rho_{C1}}\right)^{3/8} \left(\frac{\rho_{\text{ч}} \mu_{C2} D_{C2}}{\rho_{\text{ч}} \mu_{C1} D_{C1}}\right)^{1/2} \left(\frac{w_{C2}}{w_{C1}}\right)^{1/4}, \quad (8)$$

откуда с учетом формулы (3):

$$\frac{\Delta P_1}{\Delta P_2} = \frac{\xi_1}{\xi_2} \left(\frac{d_{50C1}}{d_{50C2}} \right)^{8/3} \left(\frac{\rho_{vC1} \mu_{C2} D_{C2} w_{C1}}{\rho_{vC2} \mu_{C1} D_{C1} w_{C2}} \right)^{4/3} \quad (9)$$

Выражение во второй скобке правой части формулы (9) служит для приведения значений d_{50C1} и d_{50C2} к одним условиям очистки. Если в справочнике эти параметры приводятся при одних и тех же условиях (как правило, это так [1–3]), то он равен 1.

Как следует из полученного уравнения замена другим циклоном будет энергетически выгодна при условии уменьшения комплекса $\xi d_{50}^{8/3}$. Данный комплекс можно рассматривать как характеристику энергетической эффективности циклона – чем меньше его величина, тем меньше затрат энергии при прочих равных условиях требуется для достижения заданных значений d_{50} и эффективности очистки.

ЛИТЕРАТУРА

1. Лазарев В.А. Циклоны и вихревые пылеуловители: Справочник. 2-е изд., перераб. и доп. Н. Новгород: Фирма ОЗОН-НН, 2006. 320 с.
2. Тимонин А.С. Инженерно-экологический справочник. Т. 1. Калуга: Изд-во Н. Бочкаревой, 2003. 917 с.
3. Справочник по пыле- и золоулавливаю. Под общ. ред. А. А. Русанова. – Москва: Энергоатомиздат, 1983. – 312 с.

УДК 621.3

**Воробьёва А.Е., Шестаков А.А.,
Баннов А.Г.**

(Новосибирский государственный технический университет)

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОЙ МОДИФИКАЦИИ НАНОВОЛОКНИСТОГО УГЛЕРОДА

В последние годы нановолокнистый углерод (НВУ) всё чаще используется в исследованиях учёных. НВУ стал привлекателен благодаря проявлению уникальных сорбционных, механических, термических и электрических свойств. Также низкая стоимость делает его хорошим кандидатом для применения в катализе, полимерных композициях, электрохимических устройствах и других областях [1].

Изначально, НВУ содержит незначительное количество поверхностных функциональных групп, что делает его невыгодным для применения во многих областях промышленности. Для того, чтобы