

благородных металлов.

Список литературы:

1. Воронков М.Г., Милешкевич В.П., Южелевский В.А. Силоксановая связь: Физические свойства и химические превращения. Новосибирск: Наука, 1976. – 413 с.
2. Пожидаев Ю.Н., Лебедева О.В., Бочкарева С.С., Шаглаева Н.С., Морозова Л.В., Воронков М.Г. Гибридные нанокомпозиты: полихлорметил-, полиметил-, полифенилсилесквиоксан – азотистое основание // Журнал прикл. химии. – 2008. – Т. 81, Вып. 10. – С. 1716-1720.
3. Пожидаев Ю.Н., Лебедева О.В., Бочкарева С.С., Шаглаева Н.С., Поздняков А.С. Полимерные электролиты на основе азотистых оснований // Хим. технология. – 2010. – Т. 11, № 1. – С. 20-25.
4. Yury Pozhidaev, Oksana Lebedeva, Svetlana Bochkareva, Evgeniya Sipkina Hybrid Composites from Silicon Materials and Nitrogenous Heterocyclic Polybases. Advanced Science Letters. 2013. Vol. 19. N 1. P. 309-312.

Расчет показателя эффективности циклонных обеспыливателей газов серии ЦН

*Василевский М.В., Турдыева М.Б., Зыков Е.Г.**

Национальный исследовательский Томский политехнический университет, Россия, г. Томск

**ООО «Томсгазоочистка», Россия, г. Томск,*

E-mail: vasmix40@mail.ru

Циклонные аппараты являются важнейшим элементом в системах обеспыливания газов в производствах химической и других видов продукции. Однако усовершенствование методов расчета эффективности по сепарированию частиц в этих аппаратах до сих пор являются предметом многих исследований. Наиболее широкое применение нашли циклоны серии ЦН. У этих циклонов один и тот же относительный радиус выхлопного патрубка (рис.1).

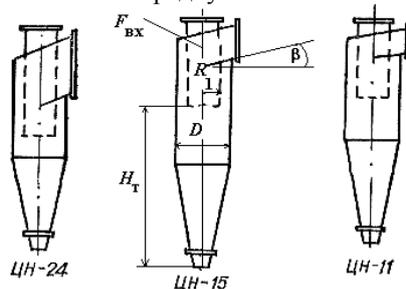


Рис.1 Схемы циклонов серии ЦН

Выделяют несколько методов оценки фракционного разделения частиц и степени обеспыливания: 1) метод траекторий частиц, по которому определяется положение частицы в сепарационном пространстве относительно выходного сечения аппарата [1–3]; 2) метод, основанный на стохастической модели, который рассматривает движение частиц как случайный процесс, на который накладывается воздействие детерминированного характера [4, 5], и 3) модель турбулентного переноса [6], к которой в некоторых случаях можно соотнести стохастическую модель. По методу Барта вводится понятие критического размера частиц, который находится из условия равенства центробежной силы, действующую на частицу, и силы увлечения газовым потоком в радиальном направлении через поверхность с радиусом, равным радиусу выхлопного патрубка [7]. При этом предполагается, что окружные скорости газа и частиц одинаковы и критический размер задерживаемых частиц определяется из соотношения

$$\Delta U_1 = W_{\phi 1}^2 \tau_{кр} / R_1 = W_{r1}, \quad \tau_{кр} = (\rho_{\delta} / \rho) (\delta_{кр}^2 / 18\nu),$$

здесь ΔU_1 – скорость частицы относительно газа, $W_{\phi 1}$ – тангенциальная скорость газа на радиусе R_1 , W_{r1} – радиальная скорость газа, R_1 – радиус выходного патрубка, τ – время релаксации, ρ_{δ} , ρ – плотности частиц и воздуха, $\delta_{кр}$ – критический размер частицы, ν – коэффициент кинематической вязкости.

По методу НИИОГАЗ экспериментально определяется диаметр частицы, улавливаемой циклоном с эффективностью 50%, а также определяется дисперсия эффективности $\lg \sigma_{\eta}$ для других частиц, которая находится с привлечением интеграла вероятности, являющегося выражением фракционной эффективности обеспыливания газа в циклоне [8]. При этом для

подобных циклонов экспериментально найденная дисперсия имеет одно и то же значение, а диаметр частицы δ_{50} , улавливаемой с эффективностью 50%, пересчитывается на другие размеры с использованием числа подобия Стокса. Табличные значения $\lg \sigma_{\eta}$, δ_{t50} для стандартных циклонов и условий приведены в [8]. Фракционная эффективность для циклонов определяется по формуле

$$\eta_{\Phi} = \Phi(x), \quad x = \frac{\lg(\delta/\delta_{50})}{\lg \sigma_{\eta}}$$

Здесь $\Phi(x)$ – функция – интеграл вероятности, табличные значения которой приведены в [8]; δ , δ_{50} – диаметры частиц переменный и улавливаемый циклоном с эффективностью 50%. $\lg \sigma_{\eta}$ – стандартное отклонение в функции распределения парциальных коэффициентов очистки.

Величина δ_{50} для конкретного циклона рассчитывается из условия, что в геометрически подобных ему циклонах эффективность определяется числом Stk_{50} ; $Stk_{50} = 2\tau_{50}W_{\text{ц}}/D$; $\tau_{50} = \rho_{\delta}\delta_{50}^2/18\mu$, причем при одной и той же эффективности $Stk_{t50} = Stk_{50}$ откуда, например для циклона ЦН-15, $\delta_{50} = \delta_{t50} (D/D_t \cdot \rho_{t\delta}/\rho_{\delta} \cdot \mu/\mu_t \cdot W_{\text{ц}}/W_{\text{ц}})^{0,5}$, где динамическая вязкость газа $\mu_t = 22,2 \cdot 10^{-6}$ Па·с; расходная плановая скорость $W_t = 3,5$ м/с; диаметр цилиндрической части циклона $D_t = 0,6$ м; плотность частиц $\rho_{t\delta} = 1930$ кг/м³ [8]. Величины δ_{t50} , $\lg \sigma_{\eta}$ определяются из таблицы для конкретного типа циклона [8]. На рис.2 в вероятностно–логарифмической сетке приведена зависимость фракционной эффективности обеспыливания газов от размера частиц.

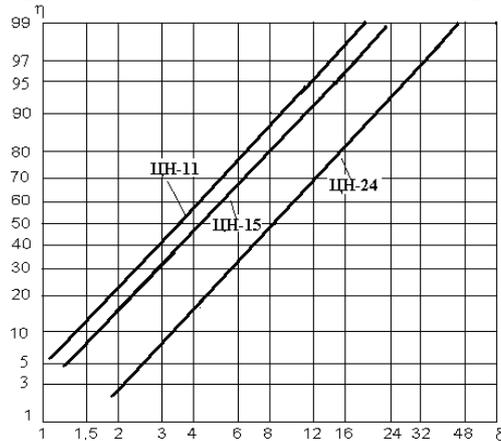


Рис.2. Фракционная эффективность циклонов ЦН

Этот метод построен на удачной обработке и аппроксимации экспериментальных данных испытания циклонов нормальной функцией распределения обобщенного параметра x . Однако физическую интерпретацию этому параметру дать затруднительно и его невозможно использовать при исследовании новых циклонов.

В циклонных, вихревых камерах газ закручивается на периферии и выходит в центральной части через канал с меньшим радиусом. Основной характеристикой потока является величина окружной скорости $W_{\text{фм}}$, радиус R_m , на котором окружная скорость равна скорости $W_{\text{фм}}$. Если положить, что на поверхности с радиусом R_1 W_{r1} и $W_{\phi1}$ постоянны, то параметр крутки, $S_v = W_{\phi1}/W_{\text{ср1}}$ [9], где $W_{\phi1}$ – окружная скорость газа на радиусе R_1 , $W_{\text{ср1}}$ – среднерасходная скорость газа в выхлопном патрубке. При потенциальном распределении W_{ϕ} по радиусу $W_{\phi1} = W_{\text{фк}}R_k/R_1$ и $S_v = 1/m_a$, $m_a = F_{\text{вх}}/\pi R_1 R_k = \bar{f}_{\text{вх}}/r_1$ – конструктивный параметр крутки [10], здесь $r_1 = R_1/R_k$, $R_k = D/2$. При $0,2 < m_a < 2,2$ наиболее удовлетворительное совпадение с экспериментом дает соотношения $r_{m1} = R_m/R_1 = 0,35/\sqrt{m_a}$, полученное в [11].

Закручивание потока в камере создает крайне неравномерные радиальные поля скоростей и давлений, что способствует интенсивному перемешиванию среды и разделению фаз. Перенос молей газа в радиальном направлении способствует генерации турбулентности, причем интенсивность турбулентности по компонентам скорости достигают 13%, в приосевой зоне достигает 40% [12], тогда как в прямом потоке, в трубе, интенсивность турбулентности составляет не более 3%. Причем значения пульсационных скоростей во много раз больше радиальной компоненты скорости в циклоне. В противоточном циклоне закрученный поток

распространяется в нисходящем движении, разворачивается и переходит в восходящее движение. При этом поток проходит через поверхность с нулевой аксиальной скоростью и происходит усреднение момента вращательной компоненты по высоте на периферии потока. В [13] проведен анализ механизмов сепарации частиц в противоточных циклонных аппаратах. В любой точке потока, даже на оси выхлопного патрубка, введенные частицы сепарируются с определенной эффективностью. В центральной области диффузионные явления играют положительную роль в переносе частиц на периферию.

Скорость турбулентного перераспределения частиц в зоне сепарации с радиусом цилиндрической камеры циклона R_k определяется соотношением ε/R_k , причем коэффициент турбулентного перемешивания $\varepsilon = W_r R / (n+1)$, где n – показатель степени в уравнении $W_\varphi R^n = W_{\varphi k} \cos \beta R_k^n$ [7, 14]. Здесь $W_{\varphi k} = \xi W_{\text{вх}}$, коэффициент ξ аппроксимируется зависимостью

$$\xi = 1 - \exp(-200 \cdot A), \quad A = \frac{F_{\text{вх}}}{2\pi R_k H_T} = \frac{f_{\text{вх}}}{4H_T}. \quad \text{Обобщенный параметр } \alpha = \Delta U / (\varepsilon / R_k) \text{ представляет}$$

отношение скорости частиц относительно газа под действием центробежных сил к скорости перераспределения частиц турбулентным переносом. Таким образом,

$$\eta = \eta \left(\frac{\Delta U_* R_k}{\varepsilon} \right) = \eta \left(\frac{\Delta U_* W_{\text{ц}} R_k}{W_{\text{ц}} \varepsilon} \right) = \eta(\alpha) \quad (1)$$

Здесь $\Delta U_* = \frac{2\pi}{\pi R_k^2} \frac{1}{H_T} \int_0^{H_T} \int_0^{R_k} \Delta U R dR dZ$ – среднеинтегральная по сепарационному объему

скорость частиц относительно газа, $W_{\text{ц}} = Q / \pi R_k^2$ – среднерасходная плановая скорость, Q – расход газа через циклон. Для циклонов с одинаковым относительным радиусом выхлопного патрубка

$$\text{можно принять } \Delta U_* = \frac{2}{R_k^2} \int_0^{R_k} \Delta U R dR$$

Величина ΔU зависит от режима обтекания частицы газом и может быть найдена из уравнения равенства центробежной силы и силы сопротивления движению частицы.

$$\frac{\pi \rho_\delta \delta^3 W_\varphi^2}{6 R} = \Psi(\text{Re}_\delta) \frac{\pi \delta^2}{4} \rho \Delta U^2,$$

где $\Psi(\text{Re}_\delta)$ – коэффициент сопротивления движению частицы, $\text{Re}_\delta = \Delta U \delta / \nu$, ν – коэффициент кинематической вязкости, W_φ – тангенциальная скорость частицы, которая приравнивается тангенциальной скорости газа. Введя обозначение $w_\varphi = W_\varphi / W_{\text{ц}}$, $\Delta u = \Delta U / W_{\text{ц}}$, $r = R / R_k$ и умножая обе части уравнения на $1/18\nu$, после преобразований на относительном радиусе $r_* = R_* / R_k$, получим

$$\frac{w_{\varphi*}^2}{r_*} = \Psi(\text{Re}_\delta) \frac{\text{Re}_\delta^2}{24 \text{Stk}_1 \cdot \text{Re}_{\delta,w}}, \quad \text{Re}_{\delta,w} = W_{\text{ц}} \delta / \nu. \quad \text{В диапазоне } \text{Re}_\delta = 0,5 - 100, \text{ используя известные}$$

зависимости $\Psi(\text{Re}_\delta)$, из последнего выражения путем аппроксимации получим

$$\text{Re}_\delta = [\text{Stk} \text{Re}_{\delta,w} (w_{\varphi*}^2 / r_*)]^{0,75}, \quad w_{\varphi*} = \xi w_{\text{вх}} \cos \beta \frac{1}{r_*^n},$$

где β – угол наклона входного патрубка на рисунке 1, $w_{\text{вх}} = 1/f_{\text{вх}}$, $f_{\text{вх}} = 4F_{\text{вх}} / \pi D^2$, $D = 2R_k$. Относительный радиус r_* рассчитывается из условия, по которому среднеинтегральное центростремительное ускорение частицы по сепарационному объему равно центростремительному ускорению частицы на радиусе r_*

$$2 \int_0^{r_m} \left[\frac{\left(\frac{\xi}{r_m^n} \frac{1}{r_m} r \right)^2}{r} \right]^{0,75} r dr + 2 \int_{r_m}^1 \frac{\xi^{1,5}}{r^{1,5n+0,75}} r dr = \left(\frac{\xi^2}{r_*^{2n+1}} \right)^{0,75}. \quad \text{После преобразований, получим}$$

$$r_* = \left\{ 2r_m^{1,25-1,5n} \left[0,364 + \frac{1}{1,25-1,5n} \left(\frac{1}{r_m^{1,25-1,5n}} - 1 \right) \right] \right\}^{-\frac{1}{1,5n+0,75}} \quad (2)$$

Величина $n = \frac{M}{0,01 + 0,56M} - 1$; $M = \left(\frac{f_{\text{вх}}}{4H} \frac{1}{\xi} \right)^{0,5}$ [14]; $r_m = R_m / R_k = (0,35 / \sqrt{m_a}) (R_1 / R_k)$;

$$m_a = F_{\text{вх}} / \pi R_1 R_k = f_{\text{вх}} / r_1.$$

Распишем сомножители в выражении (1)

$$\frac{\Delta U_*}{W_{\text{ц}}} = \Delta u_* = \frac{\text{Stk}^{0,75} \xi^{1,5} (\cos \beta)^{1,5}}{\text{Re}_{\delta, w}^{0,25} f_{\text{вх}}^{1,5} r_*^{1,5n+0,75}}, \quad \varepsilon = \frac{W_r R}{n+1} = \frac{W_{\text{вх}} F_{\text{вх}} R}{2\pi R H_T (n+1)} = \frac{W_{\text{вх}} F_{\text{вх}}}{2\pi H_T (n+1)},$$

$$\alpha = \frac{\text{Stk}^{0,75} \xi^{1,5} (\cos \beta)^{1,5}}{\text{Re}_{\delta, w} f_{\text{вх}}^{1,5} r_*^{1,5n+0,75}} 4\bar{H}_T (n+1), \quad (3)$$

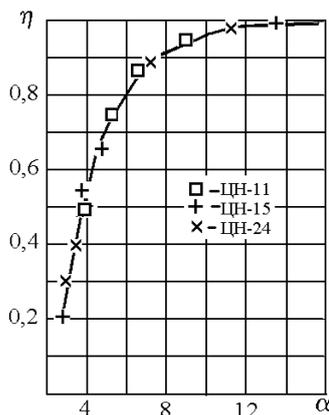
$$\bar{H}_T = \frac{H_T}{D}, \quad f_{\text{вх}} = 4F_{\text{вх}} / \pi D^2, \quad r_1 = R_1 / R_k. \quad \text{Таким образом, расписывая (3), имеем}$$

$$\eta = \eta(\alpha) = \eta \left[\frac{\delta^{1,25} W_{\text{ц}}^{0,5}}{18^{0,75} v^{0,5} R_k^{0,75}} \left(\frac{\rho_{\delta}}{\rho} \right)^{0,75} \left(\frac{\xi \cos \beta}{f_{\text{вх}}} \right)^{1,5} r_*^{-(1,5n+0,75)} 4\bar{H}_T (n+1) \right]. \quad (4)$$

В таблице 1 приведены исходные и расчетные величины для определения показателя α .

Таблица 1. Исходные и расчетные величины для определения α

Циклон	$R_k=0,3 \text{ м}; R_1=0,18 \text{ м}; \rho_{\delta}=1930 \text{ кг/м}^3; \rho=0,75 \text{ кг/м}^3; \mu=22,2 \text{ Па}\cdot\text{с}$										
	$f_{\text{вх}}$	β	\bar{H}_T	$W_{\text{ц}}$ (м/с)	δ_{T50} мкм	$\lg \sigma_{T50}$	ξ	M	n	r_m	r_*
ЦН-24	0,283	24	2,15	4,5	8,5	0,308	0,99	0,18	0,62	0,30	0,58
ЦН-15	0,168	15	2,82	3,5	4,5	0,352	0,95	0,124	0,56	0,40	0,64
ЦН-11	0,122	11	2,82	3,5	3,65	0,352	0,90	0,11	0,52	0,46	0,68



На рис.3 представлена кривая зависимости факторной эффективности газа от показателя α . При этом использовались данные по факторной эффективности обеспыливания газов, представленной в [8] (рис.2).

Рис.3. Зависимость факторной эффективности обеспыливания газов от показателя α

Видно, что кривая эффективности одна и та же для разных циклонов, если их данные представлены в зависимости от показателя α .

Список литературы:

1. Пирумов А.И. Аэродинамические основы инерционной сепарации. – М.: Госстройиздат, 1974. – 207 с.
2. Гольдштик М.А., Леонтьев А.К., Палеев И.И. Движение мелких частиц в закрученном потоке // Инж. физ. журн. 1960. Т. 3. №2. С. 17
3. Левин Л.М. Исследования по физике грубодисперсных аэрозолей. – М.: Изд-во АН СССР, 1961. – 269 с.
4. Кутепов А.М. Стохастический анализ гидромеханических процессов разделения гетерогенных систем // Теор. основы химич. технол. 1987. Т. 21. № 2. С. 147.
5. Мизонов В.Е. Стохастическая модель равновесной классификации порошков // Теор. основы химич. технол. 1984. Т. 18. № 6. С. 811.
6. Фортъе А. Механика суспензий. М.: Мир, 1971. – 264 с.
7. Страус В. Промышленная очистка газов. М.: Химия, 1981. – 616 с.

8. Справочник по пыле- и золоулавливанию / Под ред. А.А.Русанова. М.: Энергия, 1983. – 312 с.
9. Смутьский И.И. Аэродинамика и процессы в вихревых камерах. Новосибирск: ВО "Наука" 1992.- –301с.
10. Гольдштик М.А., Леонтьев А.К., Палеев И.И. Аэродинамика вихревой камеры / Теплоэнергетика.– 1961, №2. –С.40–45.
11. Овчинников А.А., Николаев Н.А.Определение радиуса вихря в вихревых газовых камерах //Труды Казанского хим. техн. ин-та 1973, вып. 51.– С. 9–14.
12. Устименко Б.П. Процессы турбулентного переноса во вращающихся течениях. – Алма-Ата: Наука, 1977.–228 с.
13. Василевский М. В., Зыков Е. Г., Разва А. С. Расчетная модель концентрирования частиц в противоточном цилиндрическом циклонном аппарате. // Теоретич. основы хим. технологии, 2011, т. 45, № 3 с. 321–328.
14. Шваб В.А. К вопросу обобщения полей скорости турбулентного потока в циклонной камере // Инж.– физич. журн. 1963. Т. 6. № 2. С. 102.

Автономный мусороперерабатывающий комплекс

Вассерман А.А, Атанов Е.А

Самарский Государственный Технический университет, Россия г. Самара

ant.vaserman@yandex.ru

В современном мире остро стоит проблема загрязнения окружающей среды. Ни для кого не секрет, что во многих городах утилизация отходов жизнедеятельности представляет собой, как и в прошлых веках, захоронения на обширных территориях. Данный способ помимо отчуждения огромных территорий земли, превращая их в огромные «мусорные поля», также портит флору и фауну, загрязняет грунтовую воду. Нам как жителям нашего города не все равно, где жить. Мы хотим изменить Самару в лучшую сторону, поэтому предлагаем решение этой проблемы. А именно строительство автономного мусороперерабатывающего комплекса, который позволит улучшить экологическую обстановку города.

Что же даст этот комплекс Самаре и Самарской области в целом? Вопрос интересный, ведь для реализации данного проекта необходимы внушительные как материальные, так и финансовые вложения.

Если не вдаваться в техническую часть проекта, то сразу можно выделить явные преимущества по сравнению с обычными мусорными полигонами. Во-первых, прекратится отчуждение больших территорий земель. Эти площади можно употребить по назначению. Построить новые жилые массивы, образовательные, культурные центры и т.д. Пропадет необходимость складировать мусор, ведь часть его будет употреблена во вторичном производстве, а другая часть, «неприбыльного мусора» пойдет на производство электроэнергии, отопления и ГВС. Можно, конечно сжигать мусор, но мы этого делать не будем. Зачем вредные выбросы, в итак пострадавшую нашу атмосферу? Во-вторых, не будет необходимости тратить средства из Самарского бюджета на борьбу с несанкционированными свалками. Наш город столкнулся с этой проблемой. Три официальных полигона общей площадью более 64 Га давно уже не справляются со своей задачей. По данным 2014 г на ликвидацию незаконных свалок было выделено 12 миллионов. [1] И эта цифра далеко не предел. Город с каждым годом будет расти, а эта проблема никуда не исчезнет, также как и горы мусора рядом с нашими домами. В-третьих, появятся дополнительные рабочие места, что особо важно для занятости трудоспособного населения. Появится целая новая отрасль, где будут необходимы специалисты, с обширными знаниями, как в энергетике, так и в химии, брожении и т.д.

По сравнению с комплексом «сегодняшние» полигоны ТБО имеют недостатки с экологической и экономической точки зрения.

Экологическая опасность полигонов заключается, прежде всего, в том, что они генерируют продукты разложения отходов:

- фильтрат (продукт био- и физико-химических реакций), загрязняющий водоисточники;
- бесконтрольно выбрасывают в атмосферу метан и другие свалочные газы, которые не только загрязняют воздух вокруг сооружения, но и, по последним данным, отрицательно влияют на озоновый слой Земли.

К недостаткам полигонов в экономическом плане относятся: