

Выводы

1. Реконструкция котла НИИСТУ-5, предусматривающая установку двухрядных дополнительных конвективных поверхностей нагрева в левом и правом конвективных газоходах котла, увеличивает его теплопроизводительность до 0,84 Гкал/ч и КПД до 91,5 %.

2. При реконструкции котла НИИСТУ-5, заключающейся в установке в левом и правом газоходах однорядного пакета труб, его КПД повышается до 91,57 %. При этом в первом и во втором вариантах аэродинамическое и гидравлическое сопротивления практически остаются прежними.

Время окупаемости не превышает одного года. В настоящее время на теплоснабжающих предприятиях Украины реконструировано более 700 котлов НИИСТУ-5. Экономия газа на одном котле до 9 м³/ч.

3. Предлагается для работы на отопительных котлах НИИСТУ-5 использовать новые горелки – газовые с принудительной подачей воздуха с полным предварительным смешением газа и воздуха и газовые с частичным предварительным смешением, которые позволяют увеличить КПД реконструированного котла до 4 %.

нием, которые позволяют увеличить КПД реконструированного котла до 4 %.

ЛИТЕРАТУРА

1. Долинский А.А., Сигал А.И. Коммунальная энергетика. Комплексная модернизация или замена. Сб.: Проблемы экологии и эксплуатации объектов энергетике. – Севастополь, 2002. – С. 7–13.

2. Сигал А.И. Обзор рынка украинского котлостроения. Сб.: Проблемы экологии и эксплуатации объектов энергетике. – Севастополь, 2002. – С. 8–17.

3. Патент 30902А України F24H1/00 Котел водогрійний /Кучин Г.П., Скрипко В.Я та ін.

4. Патент 36402А України F24H1/00 Котел водогрійний /Кучин Г.П., Скрипко В.Я та ін.

5. Патент 24445А України F23C11/02 Газо-розподільча решітка для спалювання природного газу /Кучин Г.П., Скрипко В.Я та ін.

6. Патент 38417А України F23C11/02 Блочний пальник /Кучин Г.П., Скрипко В.Я та ін.

Получено 05.02.2008 г.

УДК 697.98

ПРИЕМОВ С.И.

Институт технической теплофизики НАН Украины

К РАСЧЕТУ ЭФФЕКТИВНОСТИ ОЧИСТКИ ГАЗОВЫХ ПОТОКОВ ОТ ПЫЛИ В МЕХАНИЧЕСКИХ СКРУББЕРАХ

Наведено новий імовірносно-енергетичний інженерний метод розрахунку ефективності уловлювання аерозолів у механічних скрубберах, заснований на можливості оцінки параметра пофракційного очищення d_{n50} за допомогою величини питомої контактної потужності в “еквівалентному” скруббері Вентури.

Точність методу при оцінці ступеня очищення механічних скрубберів висока, оскільки середні помилки величин проскоку пилу з скрубберів і загальних ступенів очищення відповідно складають 9,7 % та 0,63 %.

Приведен новий вероятностно-энергетический инженерный метод расчета эффективности улавливания аэрозолей в механических скрубберах, основанный на возможности оценки параметра пофракционной очистки d_{n50} с помощью величины удельной контактной мощности в “эквивалентном” скруббере Вентури.

Точность метода при оценке степени очистки механических скрубберов высока, поскольку средние ошибки величин проскоков пыли из скрубберов и общих степеней очистки соответственно составляют 9,7 % и 0,63 %.

We describe a new probabilistic-energy engineering method of calculation of the efficiency of aerosols recovery in mechanical scrubbers, based on the possibility to evaluate the parameter of fractional cleaning (d_{n50}) with the use of the value of specific contact capacity in an “equivalent” Venturi scrubber.

The accuracy of this method in the evaluation of the cleaning degree of mechanical scrubbers is high because the average errors of dust carry-out values from scrubbers and total cleaning degree are 9.7% and 0.63%, respectively.

$C_{см}$ – смачиваемость пыли по методу пленочной флотации;
 d_{50} – медианный диаметр частиц пыли;
 $d_{\eta 50}$ – параметр пофракционной степени очистки (диаметр частиц пыли, улавливаемых с эффективностью 50%);
 $E_{ж}$ – удельная мощность контактирования;
 h_p – высота распылителя;
 $K_ч$ – энергозатраты на очистку;
 m – удельное орошение;
 $\Delta P_{общ}$ – полная потеря давления в скруббере;
 ΔP – давление воды в водопроводе перед соплом;
 $\Delta P_{ж}$ – потеря давления в скруббере, обусловленная только ее орошением и равная разности гидравлических сопротивлений при работе трубы Вентури с водой и без нее (при сухой трубе);
 R – радиус распылителя;
 t – переменная интегрирования;
 V – скорость;
 $V_{горл}^{эkv}$ – скорость газа в горловине “эквивалентной” трубы Вентури;

Для получения высоких уровней эффективности пылезолоулавливания широко используются процессы взаимодействия частиц пыли с каплями распыленной жидкости в высокотурбулизированных газовых потоках в различного рода мокрых пылеуловителях (скрубберах) – Вентури, полых, насадочных, механических и др. [1, 2].

При этом важным итогом работы различных исследователей явилась разработка инженерного метода расчета мокрых пылеуловителей, базирующегося на энергетической теории мокрого пылеулавливания, на теоретическом выводе о доминирующей в данном случае роли инерционного механизма осаждения, подтвержденного многочисленными экспериментами и получившего признание среди отечественных и зарубежных специалистов [1].

Этот подход, основанный на знании дисперсного состава пыли на входе в аппарат (d_{50} , $\sigma_{п}$) и кривой фракционной эффективности пылеулавливания ($d_{\eta 50}$, σ_{η}), позволил получить для разных скрубберов необходимые данные для расчетов величины общей степени очистки.

В последнее время для большинства типов скрубберов (за исключением центробежных и

x – параметр общей степени очистки;
 $\sigma_{п}$ – параметр функции распределения частиц пыли по размерам;
 σ_{η} – параметр функции пофракционной степени очистки, характеризующий ее наклон в логарифмически-вероятностной сетке;
 η – эффективность очистки;
 μ – динамический коэффициент вязкости;
 ρ – плотность;
 ω – угловая скорость вращения распылителя.

Индексы верхние:

а.з. – активная зона промывки;
 э – эксперимент;
 экв – эквивалентный;
 р – расчет.

Индексы нижние:

горл – горловина;
 г – газ;
 ж – жидкость;
 общ – общий;
 п – пыль.

механических) было предложено обобщающее уравнение для оценки важнейшего параметра пофракционной очистки $d_{\eta 50}$ [3]:

$$d_{\eta 50} = 5945 K_ч^{-0,645} \rho_{п}^{-0,5}, \quad (1)$$

где энергетические затраты рассчитываются по зависимости

$$K_ч = \Delta P_{общ} + \Delta P m. \quad (2)$$

В связи с отсутствием для механических скрубберов аналогичных данных, целью настоящего исследования является оценка параметров $d_{\eta 50}$, σ_{η} для механических скрубберов с точки зрения их зависимости от энергозатрат.

В процессе обобщения литературных и экспериментальных данных были приняты следующие допущения:

- улавливание частиц происходит в основном за счет инерционного осаждения, поскольку известно [4], что наличие других механизмов осаждения, таких, как диффузиофорез (скрубберы, работающие в режиме конденсационного охлаждения газов) и электростатический (скрубберы с электрорядкой капель и частиц), изменяет характер зависимости (2); при

этом в величину $K_{\text{ч}}$ необходимо включать дополнительные энергозатраты, связанные с конденсацией водяных паров, зарядкой частиц, капель и др.;

- экспериментальные и литературные данные о величине $d_{\eta 50}$ приводили к стандартным условиям: $\rho_{\text{п}} = 1000 \text{ кг/м}^3$; $\mu_{\text{т}} = 18 \cdot 10^{-6} \text{ Па} \cdot \text{с}$; для пересчета на другие условия может быть использовано выражение

$$d_{\eta 50}^x = d_{\eta 50} \sqrt{\rho_{\text{п}} \mu_{\text{т}}^* / \rho_{\text{п}}^* \mu_{\text{т}}}. \quad (3)$$

Экспериментально автором установлено, что одинаковые степени очистки газа от пыли в механическом скруббере и скруббере Вентури достигаются при соблюдении следующего условия:

$$V_{\text{горл}}^{\text{экв}} = \frac{\sqrt{(V_{\text{г}}^{\text{а.з.}})^2 + (\omega R)^2}}{0,75}. \quad (4)$$

В связи с этим в данной работе показана возможность расчета степени очистки в механических скрубберах, по аналогии с расчетом для “эквивалентного” скруббера Вентури, в следующей последовательности:

- при известных значениях $V_{\text{г}}^{\text{а.з.}}$ и R определяется скорость газа в горловине “эквивалентного” скруббера Вентури:

$$V_{\text{горл}}^{\text{экв}} = \frac{\sqrt{(V_{\text{г}}^{\text{а.з.}})^2 + (\omega R)^2}}{0,75}$$

(значения $V_{\text{г}}^{\text{а.з.}}$ и R обычно составляют 20...40 м/с);

- по известным значениям $V_{\text{горл}}^{\text{экв}}$, m , $\Delta P_{\text{ж}}$ рассчитывается удельная контактная мощность, связанная только с затратами мощности при введении в скруббер орошающей жидкости (это полезная контактная мощность представляет собой общую удельную мощность контактирования за вычетом из нее мощности, затрачиваемой на преодоление сопротивления скруббера при его сухом режиме работы – без подачи воды) [5]:

$$E_{\text{ж}} = \Delta P_{\text{ж}} + \Delta P m 10^{-3}, \quad (5)$$

или после использования данных [6]:

$$E_{\text{ж}} = (0,7m - 0,265m^2 + 0,006m^{3,25} V_{\text{горл}}^{\text{экв}}) \frac{\rho_{\text{г}} (V_{\text{горл}}^{\text{экв}})^2}{19,6} + \Delta P m 10^{-3} \quad (6)$$

(для $m < 1 \text{ л/м}^3$, $V_{\text{горл}} < 120 \text{ м/с}$);

- параметры пофракционной очистки $d_{\eta 50}$, σ_{η} рассчитываются по предложенным в [7] зависимостям, но с заменой длины горловины на величину $h_{\text{п}}$ и с введением влияния величины $C_{\text{см}}$:

$$\sigma_{\eta} = 13,7 h_{\text{п}}^{0,24},$$

$$d_{\eta 50} = 0,086(2,2 - 0,012 C_{\text{см}}) \times (0,001 E_{\text{ж}})^{-1,31} (h_{\text{п}})^{-0,3} \sqrt{\frac{\mu_{\text{т}}}{18,3 \cdot 10^{-6}} \frac{1000}{\rho_{\text{п}}}}; \quad (7)$$

- параметр общей степени очистки x определяется по зависимости [5]

$$x = \frac{\lg d_{50} - \lg d_{\eta 50}}{\sqrt{\lg^2 \sigma_{\text{н}} + \lg^2 \sigma_{\eta}}}; \quad (8)$$

- в связи с тем, что дисперсный состав большинства промышленных пылей и функции фракционных степеней очистки в мокрых пылеуловителях подчиняется логарифмически-нормальному закону распределения, общая степень очистки может быть выражена следующей зависимостью [5]:

$$\eta_{\text{общ}} = \Phi(x) = \frac{100}{2\pi} \int_{-\infty}^x e^{-\frac{t^2}{2}} dt. \quad (9)$$

Значения интеграла $\Phi(x)$ находятся из вероятностных таблиц по величине параметра x [8].

Выполненный по предложенной методике расчет эффективности улавливания различных пылей в разных механических скрубберах приведен в таблице.

Как видно из таблицы, среднее отклонение расчетных и экспериментальных значений эффективности пылеулавливания составляет 0,63 %; среднее же отклонение величины проскока пыли составляет 9,7 %, что не превышает 15 %, допустимых при расчетах пылеулавливающего оборудования [5].

Таким образом, с помощью приведенного инженерного метода можно с достоверной для практики точностью рассчитывать эффективность очистки газов от пыли в механических скрубберах [9].

Таблица. Результаты расчета эффективности улавливания в механических скрубберах

Тип скруббера	Расход газа, тыс.м ³ /ч	Параметры пыли				ωR , м/с	$V_{г.а.з.}$, м/с	m , л/м ³	$\mu_{г.п.}$, 10 ⁶ Па·с	h_p , м	$E_{ж.с.}$, Н/м ²	$d_{п50}$, мкм	x	η^p , %	η^3 , %
		$\rho_{п.}$, кг/м ³	d_{50} , мкм	$\sigma_{п.}$	$C_{сн.}$, %										
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
МПВ-250	250	1280	5,0	1,67	100 ¹⁾	25	35	1	20	0,5	1560	0,0553	1,8	96,4	97,0
МПВ-100	100	1280	12,0	2,5	100 ¹⁾	38	5	0,4	20	0,5	439	0,288	1,427	92,3	92,5
МПВ-80	80	1280	18	3	100 ¹⁾	25	5	0,5	20	0,412	460	0,22	1,67	95,3	95,5
МПВ-2	2,0	2275	9,0	2,33	70 ²⁾	38	20	0,4	18,3	0,1	622	0,289	1,54	93,8	93,5
МПВ-2	2,0	2275	9,0	2,33	70 ²⁾	20	22,5	0,4	18,3	0,1	365	0,585	1,225	89,0	89,1
МПВ-2	2,0	2275	9,0	2,33	70 ²⁾	20	22,5	0,6	18,3	0,1	543	0,3452	1,458	92,7	91,0
МПВ-2	2,0	2275	9,0	2,33	70 ²⁾	20	27,8	0,6	18,3	0,1	662	0,265	1,58	94,3	92,6
МПВ-2	2,0	2275	9,0	2,33	70 ²⁾	20	17	0,4	18,3	0,1	306	0,728	1,127	87,0	87,2
МПВ-2	2,0	2275	34,0	2,0	70 ²⁾	20	27,8	0,43	18,3	0,1	480	0,4	2,0	97,8	97,8
МПД	3,5	2650	10,0	3,12	100 ³⁾	45	2,92	0,43	18,3	0,04	606	0,265	1,34	91,0	91,25
МПД	5,0	2960	25,0	3,74	99 ⁴⁾	60	3,5	0,2	20,0	0,04	355	0,54	1,77	96,1	95,2
МПД	3,5	2650	10,0	3,12	100 ³⁾	60	3,0	0,2	18,3	0,06	520	0,29	1,537	93,8	94,7
МПВ-2	2,0	2300	10,0	2,1	58 ⁵⁾	20,0	25,0	0,45	18,3	0,06	313	0,56	1,39	91,8	92,0

Примечание: МПВ, МПД – механические скрубберы соответственно с вейрным и дисковым распылителями жидкости; 1) – сухие кормовые дрожжи; 2) – тальк; 3) – кварц; 4) – доломит; 5) – зола ТЭЦ (величина ΔP в расчетах принята 300 кПа)

Выводы

Разработанный в настоящей работе вероятно-энергетический инженерный метод расчета с использованием понятия “эквивалентного” скруббера Вентури позволяет оперативно и с высокой точностью оценивать эффективность пылезолоулавливания в механических скрубберах как на стадии проектирования, так и в конкретных условиях их работы.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Ужов В.П., Вальдберг А.Ю.* Очистка газов мокрыми фильтрами. – М.: Химия, 1972. – 248 с.
2. *Приемов С.И., Демин А.Г., Ржаников Н.Н. и др.* Система санитарной очистки газов распылительной сушилки СРЦ 12,5/1100НК Кировского биохимического завода // Гидролизная и лесохимическая промышленность. – 1986. – № 3. – С. 19–20.
3. *Вальдберг А.Ю.* Успехи в области мокрой очистки запыленных газов //Хим. и нефтехим. машиностр. – 1992. – № 2. – С. 20–21.
4. *Ужов В.П., Вальдберг А.Ю., Мягков Б.И. и др.* Очистка промышленных газов от пыли. – М.: Химия, 1981. – 248 с.
5. *Коузов П.А., Мальгин А.Д., Скрябин Г.М.* Очистка от пыли газов и воздуха в химической промышленности. – Л.: Химия, 1982. – 256 с.
6. *Пейсахов И.Л., Лютин Ф.Б.* Атлас диаграмм и номограмм по газопылевой технике. – М.: Металлургия, 1974. – 116 с.
7. *Коузов П.А.* Диссертация на соискание ... докт.техн.наук. – Л. – 1973.
8. *Справочник по пыле- и золоулавливанию /* Под ред. А.А.Русанова. – М.: Энергоатомиздат, 1983. – 312 с.
9. *Лаптев А.А., Приемов С.И., Родичкин И.Д. и др.* Под ред. А.А. Лаптева / Охрана и оптимизация окружающей среды. – К.: Либідь, 1990. – 256 с.

Получено 29.10.2007 г.