

b_p та теплофізичних характеристик вогнезахисного покриття λ_p , $C_{вп}$, які задаються сталими значеннями.

Висновок

Отримані значення термометрування та меж вогнестійкості для конструкцій, що мають різну товщину покриття та зведену товщину металу, будуть використовуватися як вхідні дані при

опрацюванні алгоритмів визначення вогнезахисної здатності покриття методами, що зазначено в ENV 13381-4:2002.

ЛІТЕРАТУРА

1. ДСТУ Б В.1.1-4-98 Захист від пожежі. Будівельні конструкції. Методи випробувань на вогнестійкість. Загальні вимоги.

Получено 02.11.2004 р.

УДК 629.12.03

Рыжков А.С. (мл.)

*Научно-исследовательский институт проблем экологии и энергосбережения
Национального университета кораблестроения им. адмирала Макарова*

ИССЛЕДОВАНИЕ УЛАВЛИВАНИЯ АЭРОЗОЛЕЙ В НЕИЗОТЕРМИЧЕСКИХ ГИДРОДИНАМИЧЕСКИХ КОАГУЛЯТОРАХ ТИПА ТРУБЫ ВЕНТУРИ

Розроблена робоча ділянка та виконано дослідження впливу перепаду температур на ефективність очищення газових викидів від аерозолів в неізотермічних гідродинамічних коагуляторах типу труби Вентурі. Визначено вплив температури, ступеню зрошення та швидкості потоку на ефективність очищення. Надбавка за рахунок теплового ефекту до мікрочасток, що вловлено, складає 20...30%.

Разработан рабочий участок и выполнено исследование влияния перепада температур на эффективность очистки газовых выбросов от аэрозолей в неизоотермических гидродинамических коагуляторах типа трубы Вентури. Определено влияние температуры, степени орошения и скорости потока на эффективность очистки. Надбавка за счет теплового эффекта к улавливанню микро-частиц составляет 20...30%.

Experimental installation is developed and research of influence of temperature differences on efficiency of gas clearing from aerosol emissions in none isothermal hydrodynamic coagulators of pipe Venturi type is executed. Temperature influences, a degree of an irrigation and speed of a stream on efficiency of clearing is determined. The extra charge due to thermal effect of micro particles catching makes 20... 30 %.

C , $C_{вх}$, $C_{вых}$ – концентрация аэрозольных частиц – общая, на входе и выходе из установки, мг/м³;
 $C_{удл}$ – изменение концентрации аэрозоля в исследуемом элементе, мг/м³;
 G_v – расход очищаемого газа, м³/с (м³/ч);
 g_o – количество орошаемого масла, кг/ч;
 $g_{пр}$ – расход воздуха в период забора пробы через аспиратор, л/мин;

$g_{удл}$ – количество уловленного масла, кг/ч;
 $m_{вх}$, $m_{вых}$ – масса фильтров до и после пробы, мг;
 t – температура, °С;
 η_{Σ} – коэффициент суммарной эффективности очистки, %;
 Δp – аэродинамическое сопротивление, Па;
 τ – время, мин.

Введение

Вопросы улавливания высокодисперсных аэрозолей в последнее время являются одними из наиболее актуальных, так как напрямую связаны с решением проблем экологии и энергосбережения. Для этих целей в промышленности нашли широкое применение скрубберы Вентури [1]. В таких устройствах для процесса очистки используются различные механизмы очистки – инерции, турбулентной диффузии, коагуляции, сорбции. Совершенствование газоочистителей на основе труб Вентури возможно путем использования последних достижений по интенсификации переноса частиц в неизотермических дисперсных двухфазных потоках. Для этих целей перспективно использовать тепловой эффект, при котором возникают силы термофореза, диффузиофореза и возможно производить конденсацию паров [1-3]. Проектирование подобного рода газоочистных устройств требует проведение специальных исследований.

Цели исследования

Целью исследований является определение влияния перепада температур на процесс улавливания высокодисперсных аэрозолей в неизотермических гидродинамических коагуляторах типа трубы Вентури, что позволит в дальнейшем создавать высокоэффективные газоочистные устройства для энергетического оборудования.

Методы исследований

Экспериментальные исследования выполнены с использованием весового метода при помощи аналитических фильтров и фотоэлектрических счетчиков и фотометров аэрозолей. Отбор проб производился через заборные трубки, служившие одновременно трубками полного давления. При замерах соблюдались условия изокинетичности. Массовая концентрация частиц в потоке находилась отбором пробы дисперсной двухфазной среды аспиратором и пропускания ее через аналитические фильтры АФА. Фильтры АФА взвешивались на аналитических весах с погрешностью $\pm 0,1$ мг до и после взятия пробы. По привесу фильтра с учетом времени и расхода пробы газа определялась концентрация частиц по формуле

$$C = 1000(m_{\text{вх}} - m_{\text{вых}}) / g_{\text{пр}} \tau. \quad (1)$$

Расход масловоздушной среды определялся по перепаду давлений на расходомерном коллекторе.

Эффективность улавливания аэрозолей исследуемыми элементами определялась по формуле

$$\eta_{\Sigma} = (1 - C_{\text{вых}} / C_{\text{вх}}) 100 \%. \quad (2)$$

Перепад давлений- аэродинамическое сопротивление маслоотделителя определяется по перепаду давлений на входе $p_{\text{вх}}$ и выходе $p_{\text{вых}}$ из рабочего участка при помощи манометра и тру-бок полного давления, которые одновременно выполняют функцию пробоотборников по формуле:

$$\Delta p = p_{\text{вых}} - p_{\text{вх}}. \quad (3)$$

В процессе экспериментальных исследований совершались как прямые, так и косвенные измерения. Выбранные методы измерения позволяли учесть систематическую составляющую погрешности; значение случайной составляющей погрешности определялось классом точности применяемых приборов. Поэтому случайные погрешности прямых измерений находились по метрологическим характеристикам приборов. Так, абсолютная погрешность определения изменения массы аналитических фильтров на весах типа ВРЛ составляла $\pm 0,5$ мг. Перепад давлений на чашечных манометрах определялся с абсолютной погрешностью $\pm 0,02$ мм вод.ст.; микроманометра типа МКВ – $0,01$ мм вод.ст.; U-образного – $\pm 0,5$ мм вод.ст.

Относительная погрешность определения счетного числа частиц фотоэлектрическим счетчиком АЗ-5 и фотометром аэрозолей ФАН У4.2 составляла 5 %.

Описание экспериментальной установки с рабочим участком

Экспериментальная установка представляла собой аэродинамическую трубу открытого типа, снабженную средствами измерения, регулировки и контроля, в которой располагался рабочий участок (рис. 1). Модельная аэрозольная среда создавалась следующим образом. Воздух через расходомерный коллектор поступал в мерный участок и обтекал нагреватель, где его температура повышалась до 120 °С. Далее воздух перемешивался с мелкодисперсным аэрозолем, поступающим из генератора. Расход высокодисперсного аэрозоля (со средним диаметром капель $0,3 \dots 0,35$ мкм) регулировался количеством подаваемого сжатого

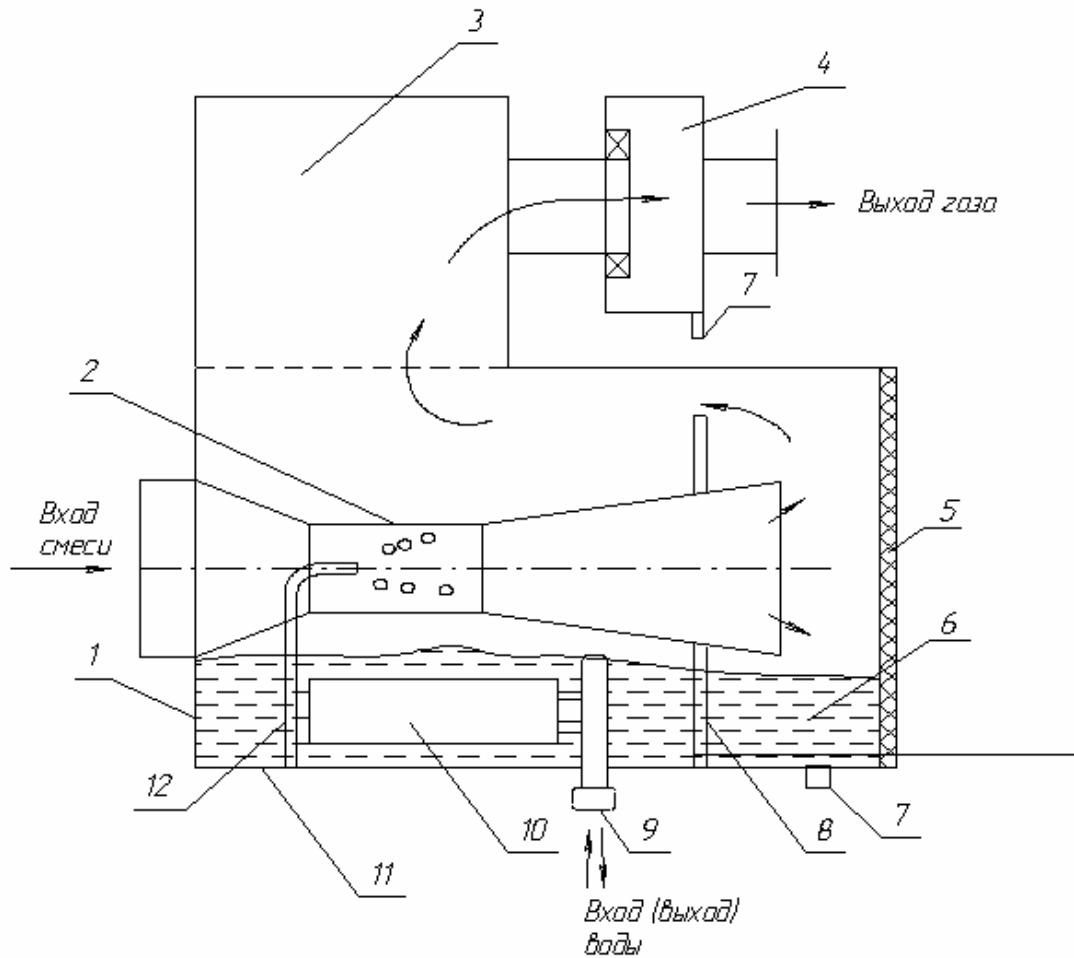


Рис. 1. Рабочий участок для исследования улавливания аэрозолей в неизотермическом гидродинамическом коагуляторе.

воздуха от компрессора автотрансформаторами. Расход воздуха регулировался заслонкой, расположенной после нагнетателя. Перед и после исследуемого рабочего участка имелись термометры и пробоотборники в виде трубок полного давления. Рабочий участок (рис. 1) содержал корпус 1, внутри которого установлены гидродинамический коагулятор типа трубы Вентури – 2 и охладитель 10, переходник 3 с каплеуловителем 4. Каплеуловитель выполнял функции зачистки одной ступени рабочего участка. На внутренней задней стенке корпуса напротив выходного сечения диффузора трубы Вентури закреплялась пористая пластина 5. Она выполняла роль инерционной перегородки в струйной ступени: «выходное сечение диффузора трубы Вентури – пористая пластина». Подвод и отвод воды в охладитель 10 осуществлялся по коллекторам 9. В качестве рабочей

жидкости служило турбинное масло, которое также использовалось для создания модельной среды – масляного высокодисперсного аэрозоля из генератора. Труба 12 служила для подвода масла в гидродинамический коагулятор – 2. Отвод масла осуществлялся по патрубкам 7, нижняя часть корпуса заполнялась маслом, марка которого соответствовала очищаемому масляному аэрозолю. Кроме этого, корпус в нижней части был разделен перегородкой 8 на две части – 6 и 11. В одной части (11) находился охладитель 10; вторая служила для определения количества масла, подающегося на орошение, путем измерения поступившего в нее объема в процессе эксперимента за фиксированный промежуток времени. Охлаждение масла выполнялось из оребренных труб по типу нормализованной поверхности нагрева, применяемой в судовом кондиционировании. Охлаж-

дающей средой служила вода с температурой 10...12 °С.

Перепады давлений на расходомерном коллекторе и сопротивление рабочего участка измерялись микроманометрами. Для измерения концентрации масла в воздухе использовался аспиратор 9 с аллонжами и торсионные аналитические весы. Испытуемый рабочий участок устанавливался на жесткое основание.

В рабочий участок из генератора установки поступал масляный аэрозоль со средним диаметром 0,33 мкм и концентрацией до 100 мг/м³. В процессе исследований измерялись: входная и выходная концентрации аэрозоля в и из рабочего участка, температуры смеси на входе и выходе, температуры масла, поступающего на орошение и охлаждающей воды, степень орошения маслом горловины трубы Вентури и др.

Труба Вентури рабочего участка имела следующие геометрические характеристики: внешний диаметр конфузорной и диффузорной части – 35 мм, диаметр горловины – 17 мм, длина $l_r = 100$ мм.

Углы раскрытия конфузорной и диффузорной части соответствовали 30 и 12 градусам. Осадительная пластина 5 выполнялась из гофрированной сетки № 0,1. Каплеуловитель 4 содержал гофрированный сеточный коагулятор из сетки № 0,009 (до 10 рядов) и сетки № 0,1 (6 рядов).

Рабочие процессы в рабочем участке протекали следующим образом. Масляный аэрозоль, транспортируемый потоком с температурой до 120 °С подавался в конфузорную часть трубы Вентури, где разгонялся до скорости 50...60 м/с. В горловину трубы Вентури по трубке 12 за счет разрежения, создаваемого потоком, поступало масло из нижней части корпуса 11. Температура этого масла составляла до 10 °С и поддерживалась в требуемых пределах при помощи охладителя 10. За счет наличия холодных капель масла в горловине и горячего двухфазного потока процессы в гидродинамическом коагуляторе характеризовались неизотермическими условиями. Поэтому на распыленных каплях масла происходил дополнительный эффект осаждения частиц за счет термофореза и диффузиофореза и конденсация паров (тепловой эффект осаждения). Это не позволяет использовать имеющиеся зависимости для расчета осаждения частиц.

Наиболее интенсивные процессы переноса наблюдаются в горловине трубы Вентури, характеризующейся наибольшей скоростью потока. Поэтому для их интенсификации продольный размер горловины выбирался до $6d$, а не $2d$. В диффузорной части происходит постепенное раскрытие потока до скорости в выходном сечении 15...20 м/с. Такая скорость необходима для осаждения крупных капель на пластине 5. Окончательная очистка газа происходит в каплеуловителе 4. Уловленное масло отводится по сливным патрубкам 7.

Для определения влияния неизотермичности на процессы в гидродинамическом коагуляторе определялась выходная концентрация аэрозоля при подаче как охлажденного масла, так и имеющего температуру очищаемой смеси, затем результаты сравнивались.

Результаты исследований

Установлено положительное влияние неизотермичности на процесс очистки от высокодисперсного аэрозоля (рис. 2, 3). Так, на рис. 3 показано влияние перепада температур между смесью на входе и маслом, подающимся на орошение на выходную концентрацию при $t_{вх} = 75$ °С и $g_o = 0,5$ кг/м³ и $C_{вх} = 1,0$ г/м³. Скорость газа в горловине составляла $u_r = 46$ м/с. При перепаде $\Delta t = 20$ °С

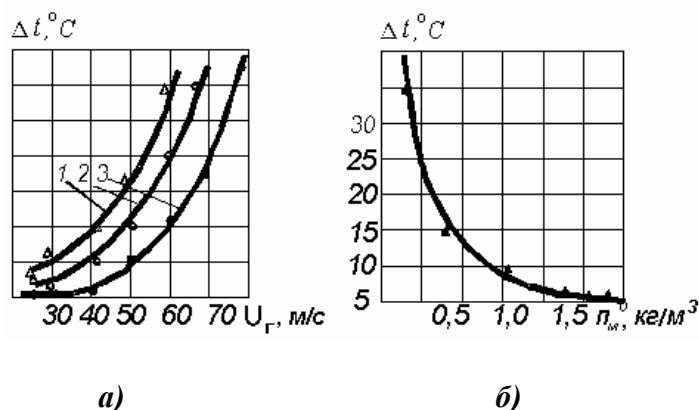


Рис. 2. Влияние скорости в горловине (а) и степени орошения (б) на перепад температур между орошаемым маслом и газом на выходе из гидродинамического коагулятора $\Delta t = t_{вх} - t_{мо}$. Степень орошения: 1- 0,5; 2-1,0; 3 -1,5 кг/м³. Скорость $u_r = 40$ м/с.

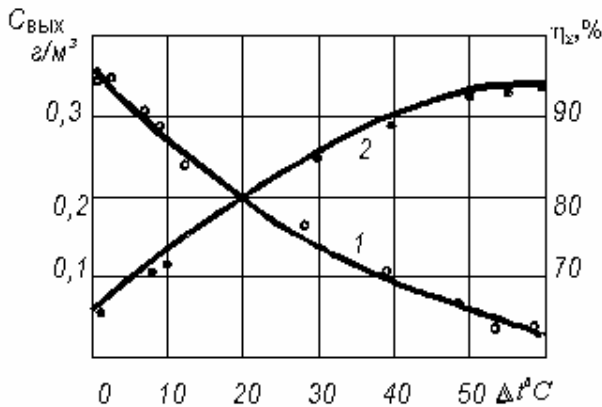


Рис. 3. Влияние перепада температур между смесью на входе в гидродинамический коагулятор и орошающим горловину трубы Вентури маслом на выходную концентрацию частиц (1) и коэффициент суммарной эффективности очистки (2): $t_{\text{вх}}=75\text{ }^\circ\text{C}$; $C_{\text{вх}}=1,0\text{ г/м}^3$; $g_o=0,5\text{ кг/м}^3$.

выходная концентрация снижается в 1,5 раза, а при $\Delta t = 50\text{ }^\circ\text{C}$ почти в шесть раз; средний диаметр частиц на выходе составлял 0,9... 1,5 мкм.

Это обусловлено тепловым эффектом осаждения частиц в гидродинамическом коагуляторе от действия сил термо- и диффузиофореза. За счет теплового эффекта надбавка к коэффициенту суммарной эффективности очистки составляет до 20...30 %.

По мере подачи холодного масла на распыл в горловину трубы Вентури, происходит охлаждение очищаемой смеси, причем температура на выходе всего на 5...10 $^\circ\text{C}$ отличается от температуры холодного масла. Это подтверждают графики (рис. 2), представленные в виде перепада температур между выходной температурой и температурой масла, подающегося на орошение в зависимости от скорости в горловине и степени орошения g_o . Из рисунка видно, что в интервале

скоростей газа 30...50 м/с можно обеспечить эффективное охлаждение смеси в интервале степеней орошения 0,5...1,5 кг/м³. Эти значения u_e и g_o следует использовать в качестве рекомендуемых. Перепад давлений на рабочий участок Δp составлял от 3 до 6 кПа. Таким образом, за счет неизо-термичности можно осуществить интенсификацию очистки в гидродинамических коагуляторах.

Выводы

1. За счет теплового эффекта надбавка к коэффициенту суммарной эффективности очистки гидродинамического коагулятора типа трубы Вентури от частиц со средним диаметром 0,3 мкм составляет до 20...30%.

2. В интервале скоростей газа в горловине трубы Вентури 30...50 м/с можно обеспечить эффективное охлаждение смеси в интервале степеней орошения 0,5...1,5 кг/м³.

ЛИТЕРАТУРА

1. Рыжков С.С., Басок Б.И. Экологические ресурсосберегающие технологии для промышленной теплотехники на основе дисперсных двухфазных сред// Пром. теплотехника.- 2001.- Т. 23.- № 4-5.- С. 141-145.
2. Газоочиститель/ А.с.1731258 СССР, МКИ В01Д 47/10/ С.С. Рыжков (СССР).- № 4784931/26; Заявлено 05.12.89; Опубл. 07.05.92, Бюл. № 17, 5 с.
3. Рыжков С.С., Харитонов Ю.М., Благодатный В.В. Методи очищення повітряного середовища від забруднень: Методичні вказівки.- Миколаїв: УДМТУ, 2002.- 56 с.
4. Создание, внедрение маслоотделителей для ГТД ДГ 90 и ДН 80 с высокой эффективностью и улавливанием паров масла: Отчет о НИР (заключительный)/ Укр. госуд. морск техн. унив-т.- № 1425; № ГР 0103U001788.- Николаев.- 2003.- 101 с.

Получено 05.11.2004 г.