

0 - 784481

На правах рукописи



КОНЬКОВ ОЛЕГ АЛЕКСАНДРОВИЧ

**ПЫЛЕОЧИСТКА ГАЗОВЫХ ВЫБРОСОВ В ВИХРЕВЫХ
АППАРАТАХ С УДАРНЫМИ ПНЕВМОГИДРАВЛИЧЕСКИМИ
РАСПЫЛИТЕЛЯМИ**

Специальность 05.17.08. – Процессы и аппараты химических технологий

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Казань – 2010

Работа выполнена в Исследовательском центре проблем энергетики
Учреждения Российской академии наук Казанского научного центра РАН

Научный руководитель

доктор технических наук,
профессор
Николаев Николай Алексеевич

Официальные оппоненты

доктор технических наук, профессор
Лаптев Анатолий Григорьевич

кандидат технических наук, доцент
Елизаров Виталий Викторович

Ведущая организация

ГОУ ВПО «Самарский государственный
технический университет»

Защита диссертации состоится «19» октябрь 2010 г. в 16 часов на заседании диссертационного совета Д 212.080.06 при Казанском государственном технологическом университете по адресу: 420015, г. Казань, ул. К.Маркса, 68 (зал заседаний учёного совета), А-330.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Казанского государственного технологического университета.

Автореферат разослан «19» сентябрь 2010

НАУЧНАЯ БИБЛИОТЕКА КГУ



0000728809

Ученый секретарь
диссертационного совета, доктор
технических наук, профессор

С.И. Поникуров

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ*

Актуальность работы.

Для развития химической промышленности необходимо резкое увеличение производительности оборудования при минимальных капитальных затратах и энергоресурсов. Особенно это актуально при разработке систем очистки газовых выбросов предприятий, в силу того, что природоохранным мероприятиям не уделялось и не уделяется должного внимания. Одними из наиболее перспективных аппаратов, обладающих большой пропускной способностью при высокой степени очистки газовых выбросов и низком гидравлическом сопротивлении, являются полые вихревые аппараты.

В вихревых аппаратах реализован «мокрый» способ очистки газовых выбросов, который позволяет улавливать частицы с диаметром менее 10 мкм.

Одной из актуальных проблем при использовании полых вихревых аппаратов является диспергирование жидкости в рабочую зону аппарата. От характеристик факела распыла, таких как диаметр капель, распределение их по размерам, зависят основные параметры, характеризующие работу данного типа аппаратов: энергетические потери и эффективность очистки газовых выбросов.

Цель работы.

Целью работы является комплексное исследование гидродинамики распада струй и плёнок жидкости в процессах пылеочистки в вихревых аппаратах с ударными пневмогидравлическими распылителями. Для достижения указанной цели в работе поставлены и решены следующие задачи:

- разработка устройства диспергирования жидкости, позволяющего достичь более высоких степеней очистки газа от дисперсных примесей в вихревых аппаратах с ударными пневмогидравлическими распылителями;
- оценка влияния размера и распределения капель жидкости на энергетические затраты при обработке газа в полых вихревых аппаратах с ударными пневмогидравлическими распылителями;
- создание инженерной методики расчёта эффективности очистки газов от тонкодисперсной твердой взвеси с учётом турбулентной миграции для вихревого аппарата с предложенным диспергирующим устройством;
- разработка технологической схемы улавливания и повторного использования дисперсных частиц с целью получения наибольшего экономического эффекта при внедрении системы пылеочистки.

Научная новизна.

- представлена методика определения толщины плёнки жидкости с помощью сфокусированного монохромного излучения в видимой области спектра;
- получили зависимость энергетических потерь при обработке газа в аппаратах вихревого типа с ударными пневмогидравлическими распылителями от характеристик дисперсной фазы и интенсивности турбулентности основного

* В руководстве работы принимал участие к.т.н. Дмитриев Андрей Владимирович

технологии», г. Казань, 2006-2008; ежегодных научных конференциях Казанского научного центра Российской Академии Наук, г. Казань, 2006-2009; международной научной конференции «Математические методы в технике и технологии – ММТТ-22», г. Псков, 2009.

Публикация работы.

По теме диссертационной работы опубликовано 13 статей, из них 3 в журналах, соответствующих перечню ВАК, патент Российской Федерации на полезную модель № 88283, опубликовано: 10.11.2009, бюллетень № 31.

Структура и объем работы.

Диссертация состоит из введения и пяти глав, содержащих основные результаты исследования, выводов по работе и списка литературы, состоящего из 157 наименования. Работа изложена на 126 страницах, содержит 50 рисунков и 4 таблицы.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована необходимость разработки оборудования для очистки газовых выбросов предприятий от тонкодисперсной твёрдой взвеси в связи с интенсификацией производственных процессов.

В первой главе представлен обзор аппаратов для очистки газовых выбросов от пыли, используемых в настоящее время на предприятиях химической промышленности, а также интервалы размеров улавливаемых в них частиц.

Известно, что интенсификация процессов ведёт к уменьшению размеров образующихся частиц. Поэтому традиционно используемые пылеосадительные камеры и циклоны, в которых скорость осаждения твёрдых частиц зависит от их массы, будут обладать малой эффективностью. Электрофильтры и аппараты фильтрационного действия, эффективные при очистке от частиц пыли менее 5 мкм, требуют поддерживать низкую скорость потока. В связи с этим целесообразно применять аппараты «мокрой» очистки, в основе работы которых лежит контакт запыленного газового потока с каплями или плёнкой жидкости, которая захватывает взвешенные частицы и уносит их из аппарата.

Аппараты вихревого типа обладают рядом достоинств, что выгодно отличает их от других аппаратов «мокрой» очистки. В них возможна совместная очистка газов от газообразных и дисперсных включений. Они обладают большой пропускной способностью по газу, что даёт возможность очищать большие объёмы выбросных газов. Позволяют создавать в аппарате высокую удельную площадь поверхности контакта фаз и добиваться высоких коэффициентов массопереноса. Они устойчиво работают в широких диапазонах рабочих нагрузок по газу и жидкости, имеют малые габариты и сравнительно простое конструктивное оформление.

Во второй главе представлены теоретические и экспериментальные исследования влияние механизма распада потока жидкости на капли и его воздействие на основные характеристики образующегося двухфазного потока, такие как средний диаметр капель, функция их распределение по размерам, удельная поверхность капель и др.

Одной из основных проблем при использовании аппаратов вихревого типа является создание факела распыла из капель жидкости. В настоящее время получило распространение пневмогидравлическое распыление, когда струя жидкости разрушается перпендикулярно направленным высокоскоростным потоком газа. Данный способ распыла жидкости имеет ряд недостатков. В частности имеется не рабочая зона аппарата, в которой струя дробится на капли под действием газа, не равномерное распределение жидкости в рабочей зоне аппарата, наличие частиц жидкости менее 100 мкм, которые уносятся газовым потоком и др.

Для решения данной проблемы предложено использовать форсунку, представленную на рис. 1. Поток жидкости поступает через центральную трубу 4. Далее попадает в патрубки 9, которые расположены на расстоянии друг от друга по всей высоте трубы 4. Патрубки 9 имеют отверстия 10, которые образуют и направляют струи жидкости на диски 11. При столкновении потока жидкости с дисками 11 образуется пленка жидкости, которая распадается на капли в газовом потоке. Образующиеся капли двигаются практически перпендикулярно потоку газа, благодаря чему происходит их вторичное дробление. Диски 11 крепятся к лопастям 8, расположенным под углом к плоскости, перпендикулярной оси трубы 4. При этом диски 11 расположены под углом к плоскости, перпендикулярной лопастям 8. Лопастя 8 поддерживают крутку потока постоянной по всей высоте контактной зоны аппарата.

В целом аппарат работает следующим образом, поток газа поступает через штуцер 2, поток жидкости поступает в аппарат через узел ввода жидкости 4. Из отверстий форсунки 8 жидкость разбрызгивается в рабочую зону аппарата. Поток газа интенсивно взаимодействует с жидкостью. Под действием центробежной силы жидкость осаждается на стенке аппарата и стекает по нему в виде пленки. При этом создается дополнительная зона контакта газовой и жидкой фазы. Газ, проходя через слой капель, очищается от газообразных и твердых примесей, после чего удаляется из аппарата через штуцер 6. Отработанная жидкость удаляется через штуцер 5.

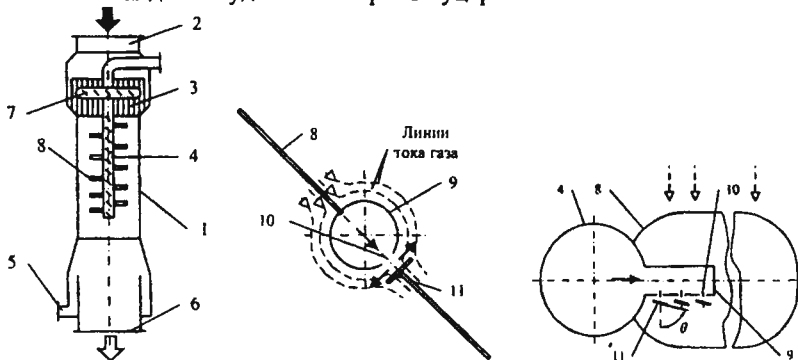


Рис. 1. Вихревой аппарат с форсунками ударного пневмогидравлического действия.

Достоинством разбрызгивающего устройства является минимальная затрата энергии на дробление потока жидкости, создание объёмного факела распыла (рис. 2), что приводит к минимизации не рабочей зоны в аппарате.

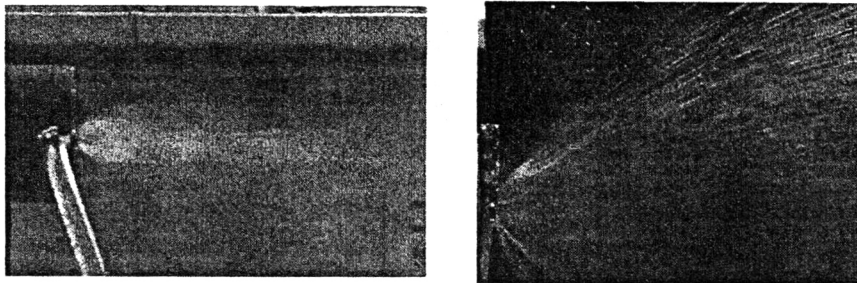


Рис. 2. Факел распыла, полученный с помощью форсунки ударного пневмогидравлического действия

Для апробации эффективности распыла жидкости форсункой была сконструирована установка (рис. 3, 4). Распыл жидкости осуществлялся форсункой с диаметром отверстия 5 мм и диаметром диска 8 мм. Скорость жидкости составляла от 1 до 5 м/с и измерялась с помощью ротаметра. Скорость газа составляла от 8 до 30 м/с и измерялась по изменению давления в трубках Пито-Прандгля с помощью микродифманометра. Фотографии сделаны фотоаппаратом Canon Power Shot SX100 IS со следующими характеристиками: эффективное количество пикселей – 8 млн, датчик изображения – матрица CCD 1/2,5 дюйма, выдержка затвора – 4/10000 с.

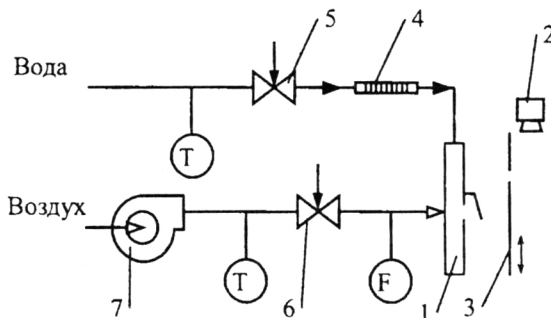


Рис. 3. Схема экспериментальной установки по определению дисперсного состава капель жидкости: 1 – разбрызгивающее устройство; 2 – фотоаппарат; 3 – экран с узкой щелью; 4 – ротаметр; 5, 6 – вентили; 11 – вентилятор высокого давления. Места измерения параметров воздуха и воды: F – расход; T – температура.

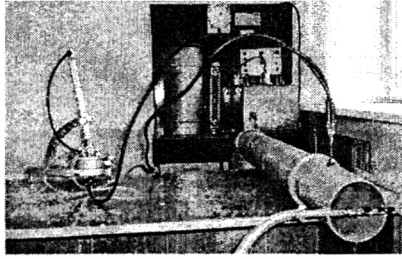


Рис. 4. Внешний вид экспериментальной установки.

Построение функции плотности распределения капель по размерам, представленного на рис. 5, было осуществлено с помощью фотографического метода, позволяющего получить реальное представление о форме, размерах и взаимном расположении капель в факеле. Полученное распределение капель свидетельствует о том, что при использовании форсунки в аппарате будут отсутствовать частицы жидкости менее 100 мкм, что способствует лучшей сепарации жидкости. При сравнении пневмогидравлического (кривая 1 на рис. 5) и ударного пневмогидравлического (кривые 2-3 на рис. 5) способа диспергирования жидкости в рабочий объём аппарата имеется тенденция заметного снижения доли не только мелких капель, но и крупных, т. е. распыл жидкости становится более однородным. Это объясняется тем, что в случае использования форсунки размеры образующихся капель зависят, главным образом, от характеристик плёнки жидкости, таких как скорость движения, толщина.

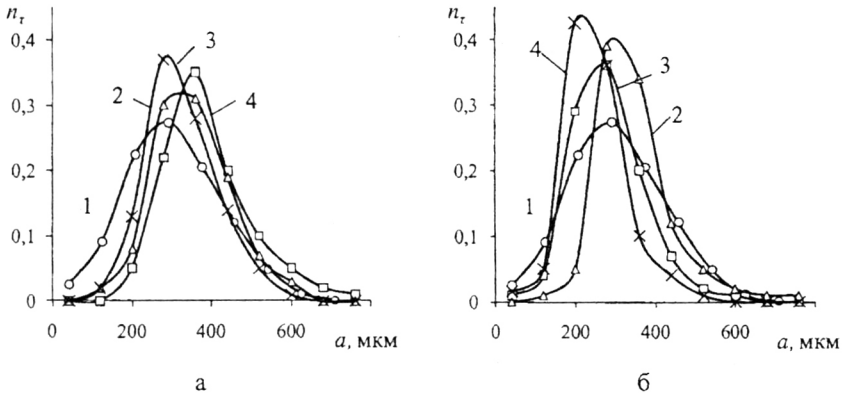


Рис. 5. Распределение по размерам капель в единицу времени:

1 – распределение капель по опыту: $U_L = 2$ м/с; $W_{ax} = 20$ м/с.

а) $U_L = 2$ м/с; W_{ax} , м/с: 2 – 30; 3 – 20; 4 – 10.

б) $W_{ax} = 0$ м/с; U_L , м/с: 2 – 1; 3 – 3; 4 – 5.

В связи с этим были проведены экспериментальные исследования толщины свободной плёнки жидкости, которая образуется при ударе струи

жидкости о твёрдую поверхность. Схема экспериментальной установки показана на рис. 6. Для определения толщины свободной плёнки её просвечивали сфокусированным монохромным излучением в видимой области спектра 3 со следующими характеристиками: длина волны излучения – 670 нм; диаметр пучка (на выходном зеркале) – 50 мкм. При прохождении плёнки происходит преломление луча света, пропорциональное её толщине. Ширина пятна луча на плёнке зависит от толщины плёнки, угла контакта плёнки и лазера, коэффициента преломления жидкости. Ширину пятна луча определяли фотографическим методом.

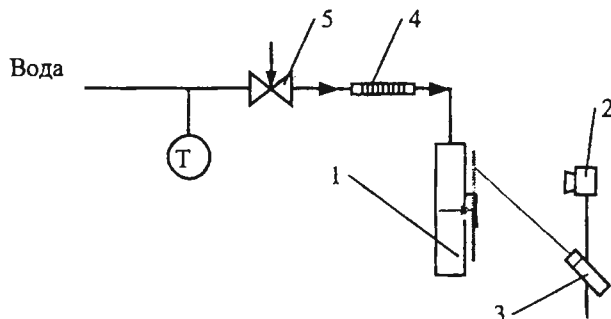


Рис. 6. Схема экспериментальной установки по определению дисперсного состава капель жидкости: 1 – разбрызгивающее устройство; 2 – фотоаппарат; 3 – устройство для создания сфокусированного монохромного излучения в видимой области спектра; 4 – ротаметр; 5 – вентиль; Т – место измерения температуры воды.

Ранее было установлено, что скорость свободной плёнки жидкости не меняется по её радиусу. Тогда можно записать:

$$h = \frac{d^2}{4r} \quad (1)$$

где h – толщина свободной плёнки жидкости; d – диаметр отверстия в форсунке; r – расстояние от центра струи жидкости, образующей плёнку (радиус плёнки).

При распылении жидкости форсункой с диаметром отверстия 5 мм, диаметром диска 8 мм, скоростью истечения жидкости из форсунки 3 м/с, толщина плёнки жидкости составила от 1200 до 150 мкм (рис. 7).

Расхождения экспериментальных и расчётных результатов можно объяснить влиянием поверхностных сил на формирование плёнки жидкости.

Для практического подтверждения точности предложенной методики, с помощью штангенциркуля были измерены толщины пластинок некоторых твёрдых прозрачных материалов и сравнены с результатами измерений, полученных с помощью представленной методики (табл. 1).

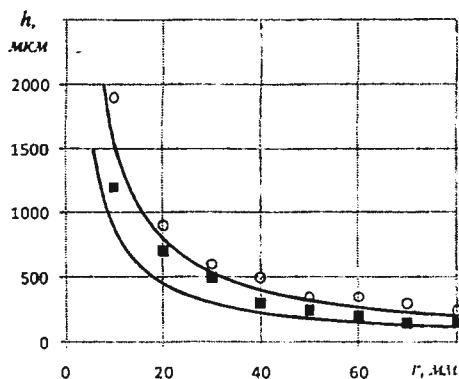


Рис. 7. Зависимость толщины плёнки жидкости от радиуса: сплошная линия – расчётные данные, точки – экспериментальные данные.

Таблица 1. Результаты тарировки предложенной методики

Материал	Штангенциркуль ШЦ-I-250-630-0,01-1 ГОСТ 166-89	Представленная методика
Стекло	5,14	5,05
Поликарбонат	1,93	2,01
Поликарбонат	4,11	4,21
Оргстекло (акрил)	1,03	1,12
Оргстекло (акрил)	3,05	2,98

В третьей главе дан оценочный расчёт потерь энергии при движении двухфазного потока в полых вихревых аппаратах.

Особенностью полых вихревых аппаратов является не линейная зависимость гидравлического сопротивления аппарата, а значит и энергии на обработку газа, от соотношения нагрузок по жидкости и газу (L_m/G_m). Как было установлено ранее, подача небольшого количества жидкости вызывает снижение гидравлического сопротивления по сравнению с неорошаемым аппаратом до 20-50%. Дальнейшее увеличение расхода жидкости ведет к постоянному повышению гидравлического сопротивления, которое при некотором значении начинает превосходить величину гидравлического сопротивления неорошаемого аппарата.

Интервал значений нагрузок по жидкости и газу, при котором наблюдается эффект снижения сопротивления и степень его снижения зависят от величины коэффициента крутки (A). Расчёт затрат энергии на обработку газа для вихревого аппарата позволит осуществлять эффективную очистку газовых выбросов и значительно экономить энергетические ресурсы при его эксплуатации.

Суммарное количество энергии, теряемое газом при прохождении пологого аппарата вихревого типа, можно рассчитать как:

$$E = \begin{cases} E_0 & \text{при } L_m/G_m = 0 \\ E_1 + E_2 + E_3 + E_4 & \text{при } L_m/G_m > 0 \end{cases} \quad (2)$$

где E_0 – потери энергии на трение для сухого аппарата; E_1 – потери энергии на трение о пленку жидкости и пленки жидкости о стенку; E_2 – потери энергии на дробление капель; E_3 – потери энергии на трение о капли; E_4 – увеличение энергии из-за понижения скорости турбулентных пульсаций.

Потери энергии на трение для сухого аппарата зависит от степени крутки, вязкости, плотности, скорости газа, геометрических параметров самого аппарата и определяется экспериментально. Для вихревого аппарата с тангенциальным вводом газового потока зависимость имеет вид:

$$E_0 = \rho_G W_{cp} H \frac{\pi}{4} (D_a^2 - D_p^2) e^{0,655+0,835A} \quad (3)$$

Потери энергии на трение о пленку жидкости и пленки жидкости о стенку

$$E_1 = \frac{c_1}{4A^2} \left(\frac{v_L}{U_{fp} \delta} \right)^{0,25} \left(\frac{D_a^2 - D_p^2}{4D_a \delta} \right)^2 \frac{\rho_G}{\rho_L} \left(\frac{L_m}{G_m} \right)^2 \quad (4)$$

Потери энергии на дробление капель диапазона от a_{\min} до a_{\max} определяется уравнением:

$$\Delta E_2 = 6\sigma L_v \left(\tau_{acp} + E_s \frac{H}{U_{fp}} \right) \frac{\sum_{i=1}^{n_a} n_{vi} a_i^2}{\sum_{i=1}^{n_a} n_{vi} a_i^3} \quad (5)$$

Потери энергии на трение о капли

$$\Delta E_3 = \frac{3c_a U_o^2 \tau_{acp} \rho_G}{2A^2 H \rho_L} \left(\tau_{acp} + E_s \frac{H}{U_{fp}} \right) \frac{\sum_{i=1}^{n_a} n_{vi} a_i^2}{\sum_{i=1}^{n_a} n_{vi} a_i^3} \frac{L_m}{G_m} \quad (6)$$

Коэффициент, учитывающий гашение турбулентных пульсаций:

$$E_4 = \frac{C_d}{L} \left(\frac{\rho}{2} \right)^{3/2} W^{1,3} \left[\frac{2 \frac{L_m}{G_m} + \left(\frac{L_m}{G_m} \right)^2}{\left(1 + \frac{L_m}{G_m} \right)^2} \right]^{3/2} \quad (7)$$

Апробация данной модели проводилась на основе данных по гидравлическому сопротивлению для пологого вихревого аппарата (рис. 8).

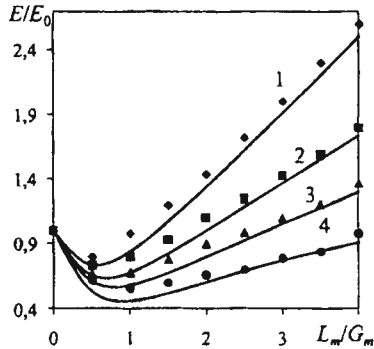


Рис. 8. Относительные энергопотери вихревых аппаратов с тангенциальными завихрителями. А: 1 – 0,5; 2 – 0,67; 3 – 0,91; 4 – 1,85. Сплошная линия – расчётные данные, точки – экспериментальные данные.

В четвёртой главе представлен расчёт эффективности пылеочистки в полых вихревых аппаратах с ударной пневмогидравлическим распылителем с учётом инерционного осаждения и турбулентной миграции на плёнку и капли жидкости.

Время пребывания капель в объеме рабочей зоне аппарата и относительная скорость капель, существенно меняются по высоте, так как эти параметры зависят от скорости газового потока. Таким образом, для снижения погрешности расчетов, рабочая зона аппарата разбивается на j частей высотой ΔH , и, для каждой части, определяется эффективность осаждения частиц.

Для составления математической модели осаждения частиц на капли за счет инерционного механизма в зоне перекрестного взаимодействия фаз был выделен элементарный объем (тор) высотой dz и определено изменение количества дисперсной фазы в газовом потоке при прохождении им данного объема

$$dM = -W_z dcdS = -2\pi r W_z c dr \quad (8)$$

где r – радиус рабочей зоны аппарата, м; W_z – осевая компонента скорости газа, м/с; c – концентрация дисперсной фазы в газе, кг/м³.

Изменение количества дисперсной фазы в газовом потоке при прохождении элементарного объема обусловлено захватом частиц каплями жидкости и определяется суммарной площадью миделева сечения капель dF_m , эффективностью захвата частиц одиночной каплей η_{stk} и скоростью относительного движения частиц и капли U_{om}

$$dM = \eta_{stk} U_{om} c dF_m \quad (9)$$

Учитывая полидисперсность факела распыленной жидкости, миделево сечение капель с диаметрами в интервале от a до $a + da$ составит:

$$dF = \frac{3}{2a} \cdot dV_p \quad (10)$$

Объем капель указанной фракции dV_p можно рассчитать как:

$$dV_p = L_V n_r \frac{dr}{U_r} \cdot \frac{dz}{H} da \quad (11)$$

где L_V – общий объёмный расход жидкости, поступающей на орошение аппарата, м³/с; n_r – функция распределения капель, образующихся при распыливании в единицу времени; U_r – радиальная составляющая скорости капли, м/с; H – высота рабочей зоны аппарата, м.

Тогда из выражений (10) и (11) площадь миделева сечения капель с диаметрами в интервале от a до $a + da$ в выделенном элементарном объеме

$$dF = \frac{3drdz}{2} \cdot \frac{L_V n_r da}{H a U_r} \quad (12)$$

Уравнение (9) с учётом (12) приобретает вид

$$dM = \frac{3drdz}{2} \cdot \frac{L_V}{H} \int_{a_{\min}}^{a_{\max}} \frac{U_{\text{омн}}}{U_r} \eta_{\text{sik}} n_r \frac{da}{a} \quad (13)$$

Путем сравнения выражений (8) и (13), получено уравнение, характеризующее изменение концентрации дисперсной фазы по высоте аппарата

$$\frac{dc}{c} = -\frac{3}{4} \cdot \frac{L_V}{\pi r H W_z} dz \int_{a_{\min}}^{a_{\max}} \frac{U_{\text{омн}}}{U_r} \eta_{\text{sik}} n_r \frac{da}{a} \quad (14)$$

Расчеты процесса инерционного осаждения частиц на капли в вихревом аппарате проводились с использованием трёхмерной сетки ϕ - r - z ($12 \times 50 \times 10$). В узлах каждого слоя $z = \text{const}$ и $r = \text{const}$ определялись значения осевой, радиальной и относительной скорости для капель различных диаметров в результате численного решения системы уравнений движения одиночной капли.

Эффективность осаждения частиц за счет турбулентной миграции на капли жидкости, на высоте ΔH , определится следующим образом:

$$\eta'_i = \frac{dV_p}{dV} \quad (15)$$

где dV_p – объём газа в выделенном элементарном объеме, где происходит оседание частиц; $dV = \pi (R_a^2 - R_{cp}^2) dz$ – объём газа в выделенном элементарном объеме.

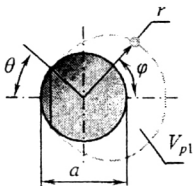


Рис. 9. Схема осаждения частицы за счет турбулентной миграции.

За время полета капли на нее осядут частицы находящиеся в объеме (рис. 9):

$$V_{p1} = \frac{2\pi}{3} \int_0^\theta r^3 \sin(\varphi) d\varphi - \pi \int_{\frac{a}{2} \cos(\theta)}^{0,5a} \left(\frac{a^2}{4} - x^2 \right) dx \quad (16)$$

Выражение (15) с учетом выражений (16) запишется:

$$\eta'_i = \frac{V_{p1} L_V}{H \pi (R_a^2 - R_{cp}^2)} \frac{6\tau_a}{\pi a^3} \quad (17)$$

На высоте ΔH эффективность осаждения за счет

механизма турбулентной миграции определится через отношение массовых расходов жидкой и газовой фаз:

$$\eta'_{ij} = \frac{6V_{p1} \tau_a L_m \rho_G \Delta H}{\pi a^3 \tau_{cp} G_m \rho_L H} \quad (18)$$

Эффективность осаждения частиц за счет турбулентной миграции на стекающую пленку жидкости, на высоте ΔH , можно определить по зависимости:

$$\eta'_{ij} = 1 - \exp\left(-\frac{\Delta H}{R_a - R_p} \frac{U_i}{W_{cp}}\right) \quad (19)$$

Скорость турбулентной миграции определяли по уравнению

$$U_i^* = A(\tau^+)^2 / (1 + \omega_E \tau)^2 \quad (20)$$

Суммарная эффективность, учитывающая как инерционный механизм осаждения, так и осаждение за счет механизма турбулентной миграции определится на высоте ΔH :

$$\eta'_\Sigma = 1 - (1 - \eta'_{ij})(1 - \eta'_j)(1 - \eta'_i) \quad (21)$$

Общая эффективность аппарата рассчитывается по формуле:

$$\eta_\Sigma = 1 - \prod_{j=1}^n (1 - \eta'_\Sigma) \quad (22)$$

Расчеты проводились на примере аппарата с радиусом рабочей зоны $R_a = 0,4$ м, радиусом распылителя жидкости $R_p = 0,02$ м, высотой рабочей зоны $H = 5$ м, плотность частиц полимеров $\rho_p = 1050$ кг/м³, средний диаметр капель $a = 400$ мкм; среднерасходная скорость газа $W_{cp} = 15$ м/с.

Эффективность работы полого вихревого аппарата во многом определяется размерами улавливаемых частиц пыли и капель жидкости, относительной скоростью, плотностью частиц и вязкостью газа. Исследования, представленные на рис. 10, показывают повышение эффективности пылеулавливания за счет инерционного механизма при увеличении скорости и отношения массовых расходов жидкой и газовой фаз.

Частицы, размер которых не превышает 3 мкм, будут улавливаться за счет механизма турбулентной миграции. Из рис. 12 и рис. 13 видно, что турбулентная миграция на капли существенно ниже миграции на пленку, так как время осаждения на капли при интенсивном взаимодействии фаз очень маленькое. Экспериментальные данные показывают высокую эффективность осаждения субмикронных частиц в аппарате с интенсивным взаимодействием фаз, что подтверждается теоретическими расчетами (рис. 12).

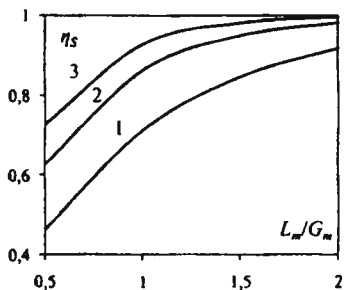


Рис. 10. Зависимость эффективности пылеулавливания за счет инерционного механизма от отношения массовых расходов жидкой и газовой фаз; $W_{гп}$, м/с: 1 – 20; 2 – 15; 3 – 10.

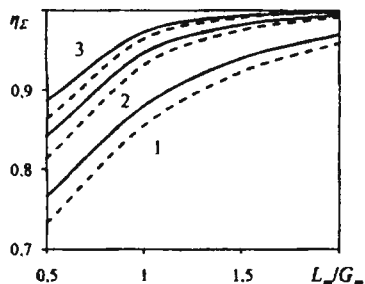


Рис. 11. Зависимость суммарной эффективности пылеулавливания от отношения массовых расходов жидкой и газовой фаз; $W_{гп}$, м/с: 1 – 20; 2 – 15; 3 – 10; сплошная линия – с использованием форсунки, штриховая – без использования форсунки.

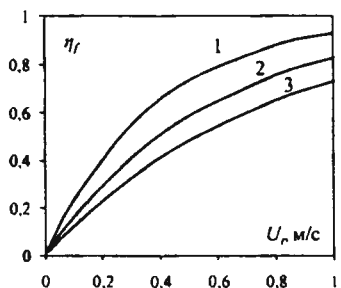


Рис. 12. Зависимость эффективности пылеулавливания за счет механизма турбулентной миграции на пленке от скорости турбулентной миграции и среднерасходной скорости газа в аппарате; $W_{гп}$, м/с: 1 – 10; 2 – 15; 3 – 20.

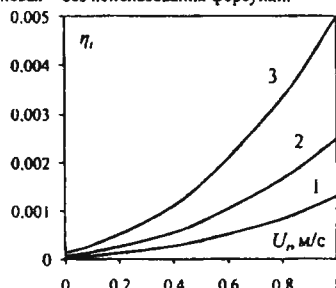


Рис. 13. Зависимость эффективности пылеулавливания за счет механизма турбулентной миграции от скорости турбулентной миграции и отношения массовых расходов жидкой и газовой фаз; L_m/G_m : 1 – 0,5; 2 – 1; 3 – 2.

При использовании форсунки ударного пневмогидравлического действия наблюдается повышение общей эффективности улавливания твёрдых частиц (рис. 11). Это объясняется следующими причинами: уменьшение среднего диаметра капель жидкости, а, следовательно, повышение их удельной поверхности; отсутствие не рабочей зоны в аппарате; широкий факел распыла, что способствует равномерному распределению жидкости по объёму аппарата.

В пятой главе рассмотрена схема очистки газовых выбросов на основе польв вихревых аппаратов.

Схема может быть использована в системе очистки газовых выбросов от пневмотранспорта. Традиционно для этих целей используются циклоны. Анализ работы циклона показывает, что в основном улавливаются частицы размерами более 30 мкм. Однако в воздухе, используемом для пневмотранспорта, присутствуют значительное количество частиц более мелких размеров, которые в значительной степени, уносятся с газовым потоком. Это обуславливают необходимость перехода систем очистки газа, от содержащегося в ней значительного количества твердой полидисперсной фазы. Мелкодисперсные частицы полимеров обладают низкой инерционностью,

поэтому процесс очистки возможен лишь в аппаратах с интенсивным гидродинамическим режимом работы, например, полом вихревым аппарате.

Принципиальная схема двухступенчатой очистки газа от пыли полимеров газ подается в аппарат для улавливания крупных частиц 1, например циклон. После чего газ поступает в вихревой аппарат 2 для очистки от мелких частиц пыли. Жидкость поступает из флотатора 3. Отработанная жидкость из аппарата 2 отводится во флотатор 3, где происходит отделение частиц пыли от жидкости. Вода из флотатора 3 возвращается в аппарат 2. Часть очищенного воздуха прокачивается вентилятором 4 через флотатор 3.

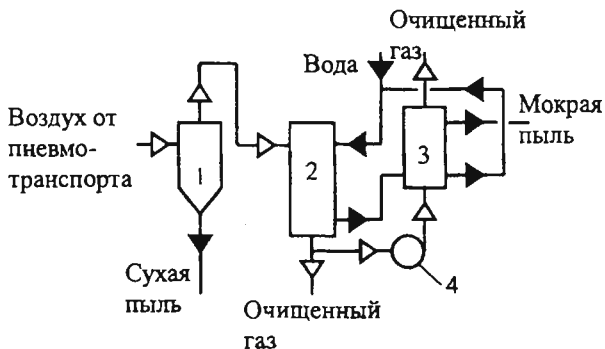


Рис. 14. Технологическая схема очистки газа от твердых частиц: 1 – аппарат для улавливания крупных частиц; 2 – полый аппарат вихревого типа; 3 – флотатор; 4 – вентилятор.

Произведено сравнение экономического эффекта от внедрения полых вихревых аппаратов в режиме минимального гидравлического сопротивления с насадочным абсорбером и вихревым аппаратом, не использующий данный эффект. Хотя по некоторым показателям представленный аппарат уступает, однако в целом экономический эффект выше.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ВЫВОДЫ

1. Представлен анализ конструкций аппаратов для очистки газовых выбросов от пыли. Отмечается, что наиболее перспективным типом аппаратов для реализации эффективной очистки крупнотоннажных газовых выбросов являются полые вихревые аппараты.
2. Разработано устройство диспергирования жидкости с ударным пневмогидравлическим способом распыла жидкости. Предложенная конструкция принята к внедрению на ОАО «Нижнекамскнефтехим» г. Нижнекамск, ООО «СафПласт» г. Казань, ЗАО «Полимализ» г. Елабуга
3. Исследован дисперсный состав жидкости, распыленной ударным пневмогидравлическим распылителем с диаметром отверстия 5 мм, диаметром отражающего диска 8 мм, диспергирующий частицы со средним размером от 200 до 450 мкм при различных нагрузках по жидкости и газу.
4. Предложена методика экспериментального определения одной из основных

характеристик свободной плёнки жидкости – толщины, влияющая на размеры капель, которые образуются при её распаде. При распылении жидкости форсункой с диаметром отверстия 5 мм, диаметром диска 8 мм, скоростью истечения жидкости из форсунки 3 м/с, толщина плёнки жидкости составила от 1200 до 150 мкм в зависимости от радиуса плёнки.

5. Представлена качественная оценка влияния основных характеристик дисперсных частиц, таких как концентрация, плотность, размер, на энергетические затраты в полых вихревых аппаратах. Доказано, что для появления эффекта уменьшения гидравлического сопротивления необходима незначительная величина объёмной концентрации дисперсной фазы, а также малый размер частиц. Для аппаратов вихревого типа данный эффект проявляется при объёмной концентрации жидкости около $5 \cdot 10^4$ кг/м³ и диаметре частиц 100-200 мкм.
6. Произведено сравнение влияния различных механизмов осаждения частиц на общую эффективность очистки газа в полых вихревых аппаратах. Показано, что основной вклад в улавливание твёрдых частиц вносят инерционный механизм осаждения на каплях и турбулентная миграция дисперсных частиц на плёнку жидкости.
7. Разработана инженерная методика расчёта систем очистки газовых выбросов с использованием полых вихревых аппаратов. Выявлено, что при уменьшении среднего диаметра образующихся при распылении капель жидкости, эффективность пылеочистки растёт.
8. Предложен способ двухступенчатой очистки газовых выбросов с использованием полых вихревых аппаратов с возможностью возврата дисперсных частиц для дальнейшей переработки.
9. Представлен анализ работы систем очистки воздуха, поступающего от пневмотранспорта полимеров. Показано, что при использовании полых вихревых аппаратов с ударной пневмогидравлической форсункой экономический эффект от внедрения технологической схемы очистки газовых выбросов от полимерной пыли среди рассмотренных будет наибольшая.

Основное содержание диссертации опубликовано в следующих работах:

монография:

1. **Коньков, О.А.** Математические модели турбулентности [Текст] / О.А. Коньков, Н.А. Николаев. – Казань: Новое знание, 2008. – 84 с.

научные статьи, опубликованные в рецензируемых научных изданиях, определённые ВАК:

2. **Коньков, О.А.** Турбулентная миграция тонкодисперсной взвеси в вихревых камерах [Текст] / О.А. Коньков, П.В. Ежов, А.В. Дмитриев, Н.А. Николаев // Химическое и нефтегазовое машиностроение. – 2009. – № 6. – С. 15-18.
3. **Коньков, О.А.** Использование аппаратов с интенсивными гидродинамическими режимами в системах очистки крупнотоннажных газовых выбросов химических предприятий [Текст] / О.А. Коньков, А.В.

Дмитриев // Вестник Казанского государственного университета. – 2009. – № 3. – С. 25-29.

4. **Коньков, О.А.** Применение вихревых аппаратов для очистки газовых выбросов при производстве и переработке пластмасс [Текст] / О.А. Коньков, А.В. Дмитриев, А.Н. Николаев // Экология и промышленность России. – 2010. – № 6. – С. 8-11.

патент:

5. Пат. 88283 Российская Федерация, МПК⁷ В 01 D 53/18. Вихревой аппарат для очистки высокотемпературных газов [Текст] / Дмитриев А.В., Коньков О.А., Николаев А.Н.; патентообладатель Казанский государственный технологический университет. – 2008145550/22, заявл. 18.11.2008. опубл. 10.11.2009, Бюл. № 31.

другие издания:

6. **Коньков, О.А.** Оценка турбулентности во внешней и внутренней задачах динамики жидкости и газа [Текст] / О.А. Коньков, Н.А. Николаев // Деп. в ВИНТИ. рег. № 1259-B2007. – 24 с.
7. **Коньков, О.А.** Гипотезы турбулентной вязкости [Текст] / О.А. Коньков, Н.А. Николаев // Деп. в ВИНТИ. рег. № 1258-B2007. – 20 с.
8. **Коньков, О.А.** Турбулентность сплошных потоков [Текст] / О.А. Коньков, Н.А. Николаев // Деп. в ВИНТИ. рег. № 1260-B2007. – 45 с.
9. **Kon'kov, O.A.** Turbulent migration of finely disperse suspensions in vortex chambers [Текст] / O.A. Kon'kov, P.V. Ezhov, A.V. Dmitriev, N.A. Nikolaev // Chemical and Petroleum Engineering. – 2009. – V. 45, № 5-6. – p. 336-344.
10. **Коньков, О.А.** Математическое моделирование турбулентного сплошного течения при наличии тонкодисперсной примеси [Текст] / О.А. Коньков, Н.А. Николаев // Сборник научных работ и сообщений «Актуальные проблемы современной науки». – Казань: КГТУ, 2008. – С. 75-77.
11. **Конькова, А.М.** Оценка интенсивности массоотдачи в аппаратах пищевой промышленности с учётом дисперсной фазы [Текст] / А.М. Конькова, О.А. Коньков, А.В. Дмитриев // Материалы Второй Всероссийской студенческой научно-технической конференции «Интенсификация тепло-массообменных процессов, промышленная безопасность и экология». – Казань: КГТУ, 2008. – С. 327-329.
12. **Макушева, О.С.** Оценка интенсивности турбулентности в массообменных аппаратах с высокой пропускной способностью [Текст] / О.С. Макушева, О.А. Коньков, А.В. Дмитриев // Материалы Всероссийской научно-практической конференции «Инновации и высокие технологии XXI века». – Нижнекамск: НХТИ КГТУ, 2009. – С 45-46.
13. **Коньков, О.А.** Турбулентная миграция в полом вихревом аппарате [Текст] / О.А. Коньков, А.В. Дмитриев, Н.А. Николаев // Сборник трудов международной научной конференции «Математические методы в технике и технологии – ММТТ-22». – Псков, 2009. – С 17-20.

Подписано в печать 27 сентября 2010 г.
Форм. бум. 60X84 1/16 Печ. л. 1,18. Тираж 120. Заказ №40.
Отпечатано в редакционно-издательском отделе
НХТИ (филиал) ГОУ ВПО «КГТУ»
Республика Татарстан, г. Нижнекамск, 423570, ул. 30 лет Победы, д. 5а.

102