

На правах рукописи

Рекунов Виталий Сергеевич



**ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ
ПЫЛЕУЛАВЛИВАНИЯ И ГИДРАВЛИЧЕСКОГО
СОПРОТИВЛЕНИЯ ПРЯМОТОЧНЫХ ЦИКЛОНОВ В
ЕДИНИЧНОМ И КАСКАДНОМ ИСПОЛНЕНИИ**

05.23 03 – Теплоснабжение, вентиляция,
кондиционирование воздуха,
газоснабжение и освещение

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Томск 2007

Работа выполнена в Томском государственном архитектурно-строительном университете

Научный руководитель

кандидат физико-математических наук, доцент Шилиев Алексей Михайлович

Официальные оппоненты

доктор технических наук, профессор

Костин Владимир Иванович

доктор технических наук, профессор

Дворников Николай Алексеевич

Ведущая организация

Томский политехнический университет

Защита состоится «29» мая 2007г в 16 часов на заседании диссертационного совета Д 212 171 03 в Новосибирском государственном архитектурно-строительном университете по адресу 630008, г Новосибирск, 8 ул Ленинградская, 113

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Новосибирского государственного архитектурно-строительного университета

Автореферат разослан «19» апреля 2007г

Ученый секретарь
диссертационного совета



Дзюбенко Л Ф

Общая характеристика работы

Актуальность работы. В связи с большим ростом загрязнения атмосферы пылевыми выбросами различных отраслей промышленности и в большей степени ТЭС, предприятиями промышленной теплоэнергетики, котельными в процессе приготовления пылеугольного топлива, выброса отходящих газов предприятиями строительных материалов, металлургической, химической промышленности и т.д., защита окружающей среды является актуальной задачей

Проведенные автором теоретические исследования на основе энергетического принципа, сформулированного на кафедре "Отопление и вентиляция" ТГАСУ, показали, что каскадные системы, состоящие из нескольких низкоэффективных аппаратов, обладающих невысоким гидравлическим сопротивлением, позволяют достигать высокой степени очистки пылевых потоков при удельных энергозатратах значительно меньших, чем в единичном высокоэффективном пылеуловителе. К таким аппаратам относятся прямоточные циклоны (ПЦ), как наиболее простые и надежные в эксплуатации, комплексное исследование которых является предметом настоящей диссертационной работы

Работа выполнялась в рамках тематических планов по заданию Министерства Образования РФ по теме 2 3 01 «Исследование процессов взаимодействия высокоэнтальпийных потоков газа с дисперсными частицами при производстве строительных материалов» (2001-2005), а также научно-технической программы Министерства Образования РФ «Научные исследования высшей школы по приоритетным направлениям науки и техники» подпрограммы 211 «Архитектура и строительство» по теме 06 03 038 «Разработка энергетического принципа сравнения и компоновки пылеулавливающего оборудования» (2001-2002)

Цель работы. Разработка по результатам экспериментальных и теоретических исследований компактных малоэнергоемких каскадных пылеочистных систем на основе прямоточных циклонов и методов их расчета для технологий пылеприготовления и очистки золы уноса и пыли на предприятиях теплоэнергетики и пылящих производств промышленности.

Для достижения поставленной цели в работе решались следующие задачи:

- создание экспериментального оборудования для изучения пылеулавливающих и гидравлических характеристик каскадов ПЦ;
- исследование влияния отсоса части газа из пылесборного бункера ПЦ на эффективность улавливания пылей различной дисперсности,
- разработка метода расчета прямоточных каскадных пылеуловителей, а также нового метода определения фракционного состава порошковых материалов по результатам пылеулавливания каскада трех ПЦ

Научная новизна работы заключается в следующем:

- на основе экспериментальных исследований впервые получены полные эффективности пылеулавливания прямоточными циклонами в каскадной компоновке,
- выявлено и обосновано снижение гидравлического сопротивления прямоточных циклонов при их компоновке в каскадные системы пылегазоочистки;
- получены опытные константы в обобщенной экспоненциальной зависимости для фракционного коэффициента проскока ПЦ в единичном и каскадном исполнении от инерционного числа Стокса;
- получена теоретическая зависимость для расчета фракционного коэффициента проскока, учитывающая отсос части газа с частицами через кольцевую щель между корпусом и выхлопным патрубком ПЦ, и исследовано влияние отбора части газа из пылесборного бункера ПЦ на его эффективность улавливания пылей различной дисперсности;
- разработана методика определения дисперсного состава порошковых материалов с использованием каскада трех прямоточных циклонов решением обратной коэффициентной задачи.

Достоверность результатов обеспечивается применением стандартных экспериментальных методик и метрологическими характеристиками используемых приборов, а также согласование результатов теории и опытных данных, известных и автора

Практическая значимость работы заключается в следующем определены рациональные режимно-геометрические параметры работы прямоточных циклонов в каскадной компоновке и передана для серийного изготовления на предприятие ООО «Сиб-промвентиляция» разработанная документация по конструкции магистрального ПЦ, разработан каскадный прямоточный пылегазоочистной комплекс для замены устаревшего пылезолоулавливающего оборудования вагранки ЗАО КЗМИ «Минвата», разработан метод дисперсного анализа порошковых материалов с аппаратурным и программным обеспечением, а также проведено определение фракционных составов ряда промышленных пылей для предприятий теплоэнергетики и промышленности строительных материалов, результаты исследований используются в учебном процессе ТГАСУ при проведении практических и лабораторных занятий со студентами специальности «Теплогасоснабжение и вентиляция» в курсах «Аэродинамика и тепломассообмен газодисперсных потоков» и «Методы расчета и проектирование пылегазоочистного оборудования»

Публикации. По материалам диссертации опубликовано 15 научных работ, из них две в журналах с внешним рецензированием («Известия Томского политехнического университета», «Известия вузов Строительство»), девять статей в сборниках материалов международных научно-практических конференций, два тезиса в сборниках докладов международных конференций и получено два патента РФ на изобретение патент № 2273019 от 27 03 2006, патент № 2287375 от 20 11 2006

Апробация работы. Основные положения работы доложены и обсуждены на научно-технических конференциях ТПУ (Томск, 2004-2006г г.), межвузовских, всероссийских и международных научно-практических конференциях (Рыбинск, 2003г , Томск, 2001-2005г г , Новосибирск, 2004г)

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы и приложений Общий объем диссертации составляет 142 страницы, включая 61 рисунок, 33 таблицы

Основное содержание работы.

Во введении обоснована актуальность темы диссертации, сформулированы цели работы, приведены основные положения, выносимые на защиту, отмечена научная новизна полученных результатов и их практическая значимость

Первая глава (*Современные системы пылеулавливания и методы их расчета*) носит обзорный характер. В ней приведен анализ существующих методов подбора и расчета пыле- и золоулавливающего оборудования, применяемого в различных отраслях промышленности, а также рассмотрены результаты экспериментальных и опытно-промышленных испытаний прямоточных пылегазоочистных аппаратов.

Экспериментальным и теоретическим исследованием эффективности пылеулавливания прямоточных циклонов занимались Русанов А А , Кирпичев Е Ф , Идельчик И Е., Александров В.П., Коган Э И , Шиляев М.И , Шиляев А М , Страус В., Василевский М.В. Однако, систематического изучения этих аппаратов в каскадном исполнении и влияния их режимных и геометрических параметров (диаметра корпуса циклона, числа лопаток и их угла наклона к оси циклона, влияние отсоса части газа из пылеосадительного бункера) на процесс пылеулавливания не проводилось. Анализ обработанных результатов выявил необходимость всесторонних дополнительных исследований прямоточных циклонов, как в единичном исполнении, так и при их последовательной компоновке с целью разработки эффективных конструкций и методов расчета малоэнергоемких каскадных прямоточных пыле- и золоулавливающих аппаратов для предприятий теплоэнергетики и пылящих производств различных отраслей промышленности.

Вторая глава (*Экспериментальные стенды для исследования работы каскадов прямоточных циклонов*) посвящена разработке экспериментальных стендов для исследования эффективности пылеулавливания и гидравлического сопротивления ПЦ различных конструкций при их последовательной установке. Схема компоновки оборудования в лабораторный стенд представлена на рис. 1. Представленный лабораторный каскад ПЦ состоит из различных

блоков, перестановка или исключение которых из конструкции каскада позволяет проводить опытные изучения пылеуловителей при различных режимах работы аппарата.

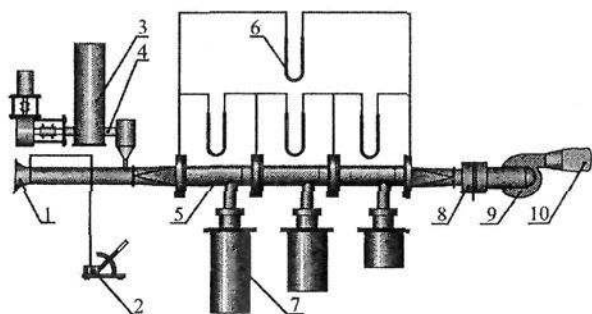


Рис. 1. Экспериментальный стенд: 1 – расходомерное сопло; 2 – наклонный микроманометр ММН-240; 3 – пылевой бункер; 4 – шнековый дозатор; 5 – прямоточный циклон; 6 – U-образные манометры; 7 – пылеприемный бункер; 8 – шиберная заслонка; 9 – тягодутьевая установка; 10 – тканевый фильтр

Экспериментальные исследования по пылеулавливанию каскада ПЦ диаметром $d_0 = 0,125$ м проводились при работе аппарата на нагнетание и разрежение. Поток воздуха обеспечивался вентилятором 9, а его расход регулировался шиберной заслонкой 8 и контролировался по перепаду давления на микроманометре с наклонной трубкой 2 с помощью расходомерного сопла 1 диаметром $d_c = 0,1$ м. ПЦ, входящие в каскад, были выполнены идентичными.

Закрутка запыленного потока газа осуществлялась импеллером, состоящим из 8-ми лопаток с углом наклона 60° к оси циклона. Уловленная пыль собиралась пылеприемными бункерами 7, установленными под каждым прямоточным пылеуловителем, а неуловленная каскадом – задерживалась идеальным тканевым фильтром 10. Для взвешивания пыли, использовались аналитические и стрелочные весы. Погрешность измерений на стрелочных весах составляла ± 5 г, что создавало относительную погрешность измерений менее 1 %, на аналитических весах погрешность измерений $\pm 0,05$ г., соответственно, относительная погрешность – 0,01 %.

Для исследования эффективности пылеулавливания и гидравлического сопротивления ПЦ диаметром $d_0 = 0,046$ м был создан отдельный экспериментальный стенд. Для создания разрежения в аппаратах использовался пылесос, который подсоединялся к газоходу очищенных газов замыкающего циклона через участок

трубы с пиберной заслонкой. При проведении экспериментов использовались три вида импеллеров с 4-х, 6-ю и 8-ю лопатками с углом их наклона к оси циклона 30°, 45° и 60°, которыми был оснащен каждый ПЦ. Лопатки импеллера перекрывали друг друга. Для плавного ввода запыленного потока газа в циклон и, соответственно, для снижения гидравлического сопротивления тело каждого импеллера имело обтекаемую форму

Для равномерной подачи пыли в каскад прямоочных циклонов использовался пылепитатель, который присоединялся ко входному патрубку первого циклона (см рис 1) и поддерживал входную концентрацию пыли в газовом тракте установки перед первым пылеуловителем в пределах до 15 г/м³

Третья глава (*Проведение экспериментальных исследований и обработка полученных результатов*) посвящена проведению экспериментальных исследований на каскадах прямоочных циклонов и обработке полученных результатов. В ходе опытов использовались различные порошковые материалы, дисперсный состав которых был получен методом жидкостной седиментации (кроме древесной пыли) в лабораторных условиях (табл. 1)

Таблица 1

Параметры порошковых материалов, использованных при проведении экспериментов

Порошок	Плотность ρ_m , кг/м ³	Медианный размер δ_{50} , мкм	Дисперсия σ
Шлифпыль АОЗТ «Томскинструмент»	7860	33,0	2,24
Модельный кварцевый порошок № 1	2650	15,93	1,93
Модельный кварцевый порошок № 2	2650	26,16	1,93
Древесная шлифовочная пыль завода ДСП ОАО «Томлесдрев»	400	50,7	1,15
Измельченный каменный уголь Кузнецкого бассейна	2200	39,3	2,65

Для обработки результатов жидкостной седиментации порошков была разработана программа «Sedimentation», написанная в среде Delphi, которая позволяет по табличным данным результатов опыта строить кривую накопления осадка и ее обработкой восстанавливать интегральную и дифференциальную весовые функции распределения частиц по размерам. Программный продукт позво-

ляет также вычислять опытные константы в функции Розина-Раммлера и в логарифмически нормальном законе распределения частиц по размерам

При обработке результатов опытных испытаний прямоочных циклонов эффективность пылеулавливания i -м циклоном в каскаде η_{Σ_i} , определялась из соотношения

$$\eta_{\Sigma_i} = 1 - K_{\Sigma_i}, \quad (1)$$

где K_{Σ_i} – суммарный проскок всех фракций пыли в i -м циклоне

Полный проскок пыли в каскаде трех прямоочных циклонов определялся как отношение массы задержанной фильтром пыли $\Delta G_{m\phi}$, равной разности веса фильтра после опыта $G_{\phi 2}$ и до опыта $G_{\phi 1}$, к массе пропущенного через циклон за время опыта порошкового материала, которую можно принять как сумму весов порошка, уловленного каждым циклоном ΔG_{m_1} , ΔG_{m_2} , ΔG_{m_3} и фильтром $\Delta G_{m\phi}$. Так что

$$K_{\Sigma_{123}} = \frac{\Delta G_{m\phi}}{\Delta G_{m_1} + \Delta G_{m_2} + \Delta G_{m_3} + \Delta G_{m\phi}} \quad (2)$$

Полные коэффициенты проскока первого, второго и третьего циклонов установленных в каскаде, определялись по формулам

$$K_{\Sigma_1} = \frac{\Delta G_{m_2} + \Delta G_{m_3} + \Delta G_{m\phi}}{\Delta G_{m_1} + \Delta G_{m_2} + \Delta G_{m_3} + \Delta G_{m\phi}},$$

$$K_{\Sigma_2} = \frac{\Delta G_{m_3} + \Delta G_{m\phi}}{\Delta G_{m_2} + \Delta G_{m_3} + \Delta G_{m\phi}}, K_{\Sigma_3} = \frac{\Delta G_{m\phi}}{\Delta G_{m_3} + \Delta G_{m\phi}}. \quad (3)$$

Коэффициенты сопротивления каскада ζ_{Σ} , первого ζ_1 , второго ζ_2 и третьего ζ_3 циклонов вычислялась из соотношений

$$\zeta_{\Sigma} = 2(\Delta P_1 + \Delta P_2 + \Delta P_3) / \rho V_0^2, \quad \zeta_i = 2\Delta P_i / \rho V_0^2 \quad (4)$$

где ΔP_i – перепад давления на i -м циклоне, Па, V_0 – среднерасходная скорость газа в пылеуловителе, м/с; ρ – плотность газа, кг/м³.

Для выявления зависимости характера работы пылеуловителей от таких геометрических параметров как диаметр корпуса циклона, количество и угол наклона лопаток импеллера, длина пыле-

вой камеры изготовлены различные по конструкции прямооточные циклоны, на которых были проведены серии экспериментов по измерению эффективности пылеулавливания и гидравлического сопротивления каскада

При работе установки с циклонами диаметром $d_0 = 0,125$ м на разрежение использовался импеллер с 8-ю лопатками и углом их наклона 60° к оси циклона, результаты опытов показали высокую эффективность пылеулавливания каскадом (порядка 97-98%) Следует заметить, что в экспериментах была использована легкая древесная шлифовочная пыль завода ДСП г Томска (рис 2)

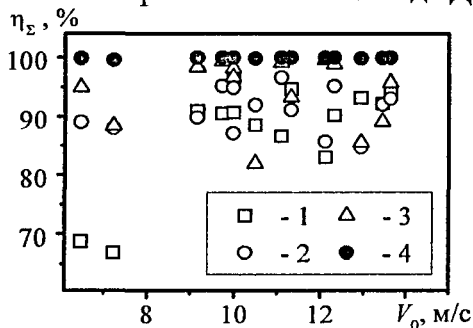


Рис 2 Зависимость эффективности улавливания древесной шлифовочной пыли (табл 1) от скорости в плане прямооточных циклонов 1 – эффективность первого циклона, 2 – второго циклона, 3 – третьего циклона, 4 – эффективность пылеулавливания всего каскада

Проведенные исследования пылеулавливания на прямооточном циклоне, изготовленном из прозрачных материалов, с импеллером, имеющим по 4 лопатки, установленные под углами 30° , 45° и 60° к оси аппарата показали, что установка в циклон 4-х лопаточного импеллера не позволяет достичь требуемой степени очистки пылегазового потока. С учетом этого, были проведены опытные дополнительные исследования эффективности пылеулавливания и гидравлического сопротивления ПЦ, диаметром $d_0 = 0,046$ м при различном числе лопаток (6 и 8) импеллера с углом их наклона 45° и 60° , как в единичном, так и в каскадном исполнении. Полученные результаты представлены в табл 2 и на рис 3. Анализ результатов проведенных экспериментов показал, что установка ПЦ в каскад оказывает стабилизирующее действие на общую эффективность пылеулавливания Неуловленные первым циклоном частицы улавливаются следующими аппаратами, и происходит выравнивание полной эффективности пылеулавливания каскадом.

Таблица 2

Значение коэффициента сопротивления ζ ПЦ в и каскадов из них

Тип импеллера	Один циклон	Каскад двух циклонов	Каскад трех циклонов
6 лопаток 45°	7	12	18
8 лопаток 45°	11	19	25
8 лопаток 60°	14	26	50

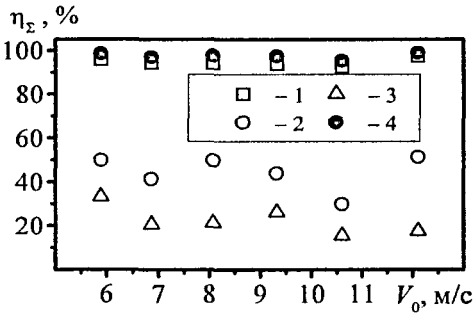


Рис 3 Зависимость эффективности улавливания измельченного каменного угля (табл 1) при работе установки на разрежение от скорости в плане прямооточных циклонов диаметром $d_0 = 0,046$ м с 8-и лопаточным импеллером с углом наклона лопаток 45° к оси циклона 1 – эффективность первого циклона, 2 – второго циклона, 3 – третьего циклона, 4 – эффективность пылеулавливания всего каскада

В результате моделирования процессов конвективной диффузии в единичном прямооточном циклоне, когда к радиальной скорости дрейфа частиц в центробежном поле вращающегося внутри циклона газового потока добавляется составляющая за счет радиального движения отсасываемого с периферии аппарата газа, для фракционного коэффициента проскока получена зависимость

$$K_{\delta} = \exp[-(4\Delta U + q)\bar{l}], \quad (5)$$

где параметр ΔU определялся по формуле

$$\Delta U = \left(\frac{48}{A}\right)^{2-n} \left(18 \frac{\rho}{\rho_m} \text{Re}\right)^{2(2-n)} \text{Stk}^{\frac{n+1}{2(2-n)}} \left[1 - m \left(\zeta - R_1^{-4}\right)\right]^{\frac{1}{2-n}}, \quad (6)$$

ρ и ρ_m – плотность газа и частицы соответственно; $\text{Re} = V_0 d_0 / \nu$ – число Рейнольдса; ν – коэффициент кинематической вязкости газа; $\text{Stk} = \tau V_0 / d_0$ – инерционное число Стокса; $\tau = \rho_m \delta^2 / 18\mu$ – время динамической релаксации частиц размером δ ; μ – динамическая

вязкость очищаемого газа, A и n – константы в законе сопротивления частиц

$$\xi = A / \text{Re}_\delta^n, \quad (7)$$

Re_δ – число Рейнольдса обтекания частицы во вращающемся газовом потоке, определяемое из выражения

$$\text{Re}_\delta = \left(\frac{48}{A} \sqrt{18 \frac{\rho}{\rho_m} \text{Re} \cdot \text{Stk}^3} \right)^{\frac{1}{2-n}}, \quad (8)$$

m – показатель в законе для окружной скорости газа; ζ – коэффициент сопротивления ПЦ, $R_1 = r_1/r_0$ – безразмерный внутренний радиус выхлопного канала прямоточного циклона; r_0 – радиус вихревой камеры прямоточного циклона, $\bar{l} = l_0/d_0$ – относительная длина корпуса циклона; q – доля от общего расхода очищаемого циклоном газа, отбираемая из пылеприемного бункера.

При установке прямоточных циклонов в каскадные системы необходимо учитывать взаимное влияние пылеуловителей на эффективности очистки запыленных газовых потоков. С учетом этого произведен пересчет интегральных значений коэффициентов проскока K_Σ на фракционные по формуле

$$K_\Sigma = \int_0^\infty K_\delta g_0(\delta) d\delta, \quad (9)$$

где $g_0(\delta)$ – весовая дифференциальная функция распределения частиц по размерам, для описания которой, используется логарифмически нормальный закон (ЛНР), справедливый для многих промышленных пылей

$$g_0(\delta) = \frac{1}{\delta \sqrt{2\pi \ln \sigma}} \exp[-(\ln \delta - \ln \delta_{50})^2 / (2 \ln^2 \sigma)]. \quad (10)$$

где δ и δ_{50} – текущий и масс-медианный размер частицы, σ – дисперсия

Работа единичного циклона может быть описана экспоненциальной зависимостью фракционного коэффициента проскока от инерционного числа Стокса

$$K_8 = \exp(-A_{\text{пц}} \text{Stk}^N), \quad (11)$$

где $A_{\text{пц}}$ и N – индивидуальные опытные константы пылеуловителя

Коэффициент $A_{\text{пц}}$ подбирался из условия равенства расчетного и полученного в опыте интегрального значения коэффициента проскока с последующим осреднением по всем опытным точкам. При этом показатель степени числа Стокса в соответствии с (6) задавался формулой

$$N = (n+1)/(2(n+1)) \quad (12)$$

Для условий, характерных для режимов работы ПЦ, согласно соотношению (12), получено значение показателя степени числа Стокса $N = 0,75$

Коэффициенты $A_{\text{пц}}$ в формуле (11) для фракционных проскоков прямооточных циклонов и каскадов из них, полученные по результатам обработки опытных данных, сведены в табл. 3

Таблица 3

Значения коэффициентов $A_{\text{пц}}$ в зависимости для фракционного проскока

Тип импеллера	Один циклон	Каскад двух циклонов	Каскад трех циклонов
6 лопаток 45°	3,3	7,2	9,0
8 лопаток 45°	4,8	6,7	7,3
8 лопаток 60°	8,0	17,85	22,0

На рис. 4 показаны опытные и расчетные интегральные эффективности пылеулавливания в исследуемых аппаратах. Расчет производился по формуле (9), где фракционный проскок K_8 определялся по зависимости (11) с использованием коэффициентов из табл. 3.

Сопоставление в одинаковых условиях эффективности пылеулавливания используемых в опытах единичных прямооточных циклонов показало, что наиболее эффективным является циклон диаметром $d_0 = 0,046$ м с 8-и лопаточным импеллером, имеющим угол наклона лопаток 60° к оси аппарата. В таком циклоне расстояние от среза лопаток импеллера до передней кромки пылевывпускного патрубка равно диаметру корпуса пылеуловителя (на конструкцию каскада состоящего из трех ПЦ получен патент РФ на изобретение № 2287375).

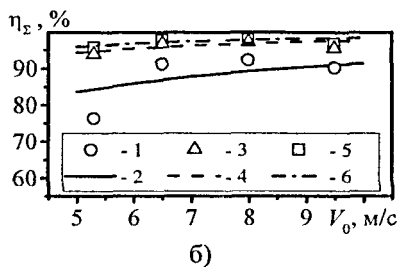
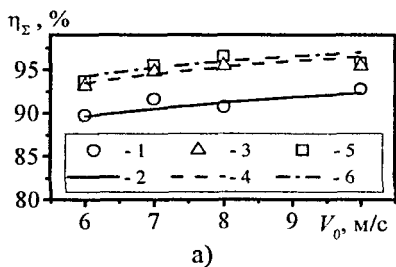


Рис 4 Полные эффективности улавливания модельной пыли прямоточным циклоном диаметром $d_0 = 0,046$ м а) порошок № 2, табл 1, 8-и лопаточный импеллер, угол наклона лопаток 45° к оси циклона, б) порошок № 1, табл 1, 8-и лопаточный импеллер, угол наклона лопаток 60° к оси циклона 1, 2 – один циклон, 3, 4 – каскад двух циклонов, 5, 6 – каскад трех циклонов, точки – эксперимент, линии – расчет

Для увеличения эффективности пылеулавливания единичного циклона, рекомендуется применять принудительный отбор части газа из пылеприемного бункера. Проведенный численный анализ формулы (5), учитывающий отсос части пылегазового потока из пылесборного бункера ПЦ, показал, что наибольший эффект дополнительного пылеулавливания, достигается за счет высокодисперсной пыли, имеющей значение масс-медианного диаметра δ_{50} менее 5 мкм

Для проверки работоспособности процесса пылеулавливания в ПЦ с учетом отсоса части газа из пылесборного бункера (5) были проведены дополнительные эксперименты на циклоне диаметром $d_0 = 0,046$ м, с 8-и лопаточным импеллером с лопатками, расположенными под углом 45° к его оси. В испытаниях использовалась кварцевая пыль с параметрами: $\sigma = 1,921$, $\rho_m = 2650 \text{ кг/м}^3$, $\delta_{50} = 11,85 \text{ мкм}$. Величина отсоса смеси газа из пылеприемного бункера циклона варьировалась в пределах до 20 % при одновременном изменении расхода пылегазового потока через пылеуловитель от 42 до 60 $\text{м}^3/\text{ч}$. Циклон работал на разрежение. Полученные результаты показали, что отсос 10 % газа из пылеприемного бункера пылеуловителя повышает эффективность очистки газа от 1,5 до 2 %, а при отсосе 20 % газа – от 3 до 4 %.

По результатам расчетов по формуле (9) для пыли с теми же параметрами отсос 10 % газа из пылеприемного бункера повышает

эффективность очистки газа в прямоточном циклоне на 2 %, при отсосе из бункера 20 % газа – на 4 %. Таким образом, проведенные расчет и эксперимент показали близкие значения, что подтвердило правомочность использования зависимости (5) для расчета ПЦ с отсосом части газа из пылесборного бункера при проектировании систем пылегазоочистки на основе таких аппаратов

В работах Русанова А А , Идельчика И Е , Кирпичева Е Ф. и в проведенных исследованиях интегральные эффективности пылеулавливания циклоном были получены при испытаниях циклонов различного диаметра с различными порошками. Сравнить напрямую такие результаты нельзя. Необходимо произвести перерасчет эффективности пылеулавливания этими циклонами на одни и те же условия работы.

При известных значениях $A_{\text{пц}}$ и N в (11) можно производить расчет полной эффективности пылеулавливания по формуле (9). Эти коэффициенты по результатам опытов Идельчика И Е , Кирпичева Е Ф были определены методом решения коэффициентной обратной задачи. Произведен расчет для каждого из описанных Идельчиком И Е. и Кирпичевым Е Ф ПЦ полной эффективности улавливания металлической шлифовочной пыли (табл. 1) при которых были проведены опыты в настоящей работе, и построен гра-

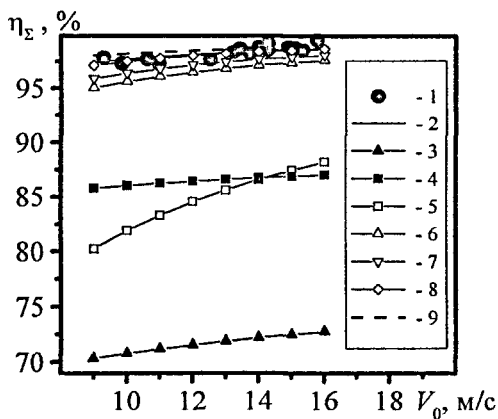


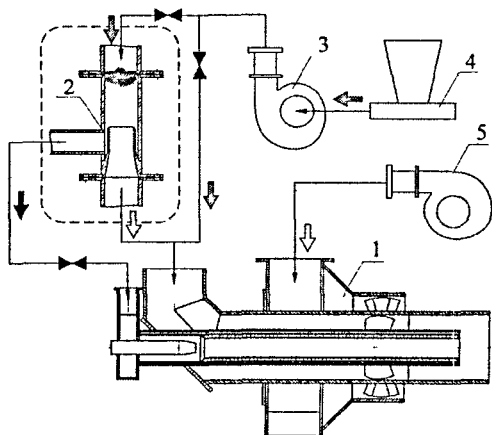
Рис 5 Полная эффективность улавливания металлической шлифовочной пыли единичными ПЦ 1 – циклон диаметром корпуса $d_0 = 0,125$ м (8 лопаток под углом 60° к оси), эксперимент, 2 – расчет по (1), 3 – расчет для циклона Кирпичева Е Ф без отсоса части газа из бункера; 4 – то же с отсосом 7,5–23 % газа, 5 – расчет для циклона Идельчика И Е без отсоса части газа из бункера, 6 – то же с отсосом 4 % газа, 7 – то же с отсосом 6 % газа, 8 – то же с отсосом 8 % газа, 9 – расчет для циклона Русанова А А с отсосом до 15 % газа из бункера циклона

фик зависимости полной эффективности от среднерасходной скорости в плане циклонов (рис 5). Из рис.5 видно, что экспериментальные данные (точки 1) согласуются с результатами расчета (линия 2) Сопоставление в идентичных условиях разработанных ПЦ показало, что по эффективности пылеулавливания даже без отсоса части газа из пылеосадительного бункера, ПЦ диаметром корпуса $d_0 = 0,125$ м (8 лопаток наклоненных под углом 60° к оси циклона) превосходит пылеуловители, использованные Кирпичевым Е.Ф. и Идельчиком И.Е., и его можно рекомендовать к широкому применению в системах пылегазоочистки на предприятиях различного профиля

Для рационального использования твердого топлива необходимо найти решения ряда технических и экологических задач, связанных как с эффективным сжиганием твердых топлив, так и с очисткой дымовых газов до нормативных требований. Известные исследования по плазменному розжигу и стабилизации горения измельченных каменных углей показали, что наиболее эффективный розжиг происходит при коэффициенте избытка воздуха, в розжиговом канале, равном приблизительно 0,3. Однако если воздуха подавать в плазменный муфель надо мало, то смесь должна быть высококонцентрированной Пневмотранспорт на большие расстояния от участка размола топлива до горелок на промышленных предприятиях таких смесей обычно затруднен. Поэтому, для

работы вихревой горелки на котле КВТК 100/150 районной котельной г. Прокопьевска разработана схема включения и произведен расчет ПЦ для обеспечения требуемой концентрации (рис 6).

Рис 6 Схема пылепитания вихревой горелки 1 – вихревая горелка, 2 – пылеконцентратор, 3 – мельничный вентилятор, 4 – мельница, 5 – вентилятор для подачи вторичного воздуха



За счет центробежных сил в закрученном внутри циклона потоке воздуха частицы смещаются на периферию и через боковой патрубок с необходимой концентрацией поступают в плазменный модуль. Обедненный угольными частицами воздушный поток через выходной центральный патрубок выводится в кольцевой канал горелки, минуя плазменное устройство.

При равной эффективности пылеулавливания произведено сопоставление каскада прямоточных циклонов с высокоэффективным циклоном НИИОГАЗ, показавшее, что удельные затраты энергии на очистку газа в циклоне СК-ЦН-34 выше, чем в каскаде двух прямоточных циклонов, в 2,5 раза. В ряде случаев это отношение может быть еще выше. Концентрация пыли на выходе из каскада трех ПЦ снижается на 25 % по сравнению с каскадом двух пылеуловителей. Разработанная конструкция пылеулавливающих аппаратов на основе каскадов двух прямоточных циклонов предназначена для замены устаревшего газоочистного оборудования в системе пылезолоулавливания вагранки ЗАО КЗМИ «Минвата».

В четвертой главе (*Разработка метода определения дисперсного состава порошковых материалов*) изложен разработанный автором метод определения дисперсного состава порошковых материалов с использованием последовательно установленных прямоточных циклонов и расшифровкой результатов пылеулавливания решением обратной коэффициентной задачи.

При известных опытных константах в формуле (11) каскад ПЦ может быть использован как устройство для определения фракционного состава пыли. Определение фракционного состава порошка, пропускаемого через каскад трех ПЦ, заключается в нахождении минимума функционала

$$J = \sum_{i=1}^w \sum_{j=1}^3 (\eta_{p_i} - \eta_{\Sigma_i})^2 \rightarrow 0, \quad (13)$$

где w – число опытов; $\eta_{\Sigma_i}, \eta_{p_i}$ – экспериментальные и расчетные значения эффективностей пылеулавливания циклонами в каскаде.

Расчетная эффективность очистки определялась по формуле

$$\eta_{PJ} = 1 - \frac{1}{2\pi} \int_0^{\infty} \exp[-(\ln \delta - \ln \delta_{50}) / (2 \ln^2 \sigma)] \exp(-A_{\text{пц}} \text{Stk}^{N_J}) \cdot (14)$$

Для описания дисперсного состава исследуемого порошка необходимо знать две константы δ_{50} и σ . Значение этих величин следует подбирать в формуле (14), устремляя функционал (13) к нулю. Осуществить это автоматически можно, например, симплексным методом, предложенным Нелдером и Мидом. По изложенной методике автором разработана программа «Dispersion», которая подвергалась тестированию на искусственно полученных параметрах пыли. Тестовая погрешность поиска не превышала 0,1%. Разработанная программа была использована для определения параметров ЛНР различных пылей, образующихся в технологических условиях промышленных предприятий. Эмпирические эффективности пылеулавливания циклонами при соответствующих скоростях движения запыленного потока в каскаде были получены в этих же опытах. Пример определения дисперсного состава кварцевого порошка представлен на рис. 7.

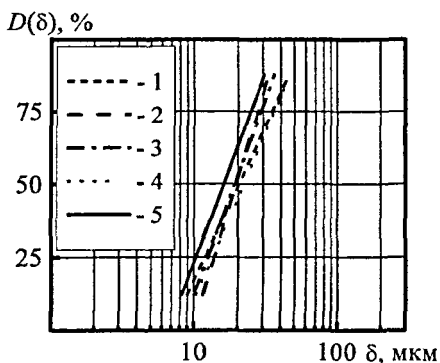


Рис 7 Распределение (функции проходов) частиц по размерам модельной пыли, полученные методом трех последовательно установленных ПЦ диаметром $d_0 = 0,046$ м с 6-и лопаточным импеллером с углом наклона лопаток к оси циклона 45° , 1 — $V_0 = 5,6$ м/с, 2 — 8,0, 3 — 10,6, 4 — 12,0, 5 — параметры пыли определены методом жидкостной седиментации

Полученный «разброс» расшифрованных параметров модельной пыли объясняется невысокой стабильностью работы циклонов в лабораторном каскаде. Обратная задача, реализованная в программе «Dispersion», относится к классу некорректных задач, для которых условие устойчивости может не выполняться, т.е. погрешности в исходных данных могут привести к непропорциональному увеличению ошибки получаемого решения. Однако ре-

зультаты, представленные на рис. 7, показывают, что в интервале скоростей газа в циклонах от 5 до 12 м/с при расшифровке фракционного состава использованного порошка получено устойчивое решение и этой методикой можно пользоваться при определении дисперсности различных промышленных пылей (патент РФ на изобретение № 2273019)

Выводы

1. Разработаны и смонтированы экспериментальные стенды и проведена серия исследований процессов пылеулавливания ПЦ в каскадной компоновке при различных режимных и геометрических параметрах работы циклонных элементов. Экспериментально получены коэффициенты гидравлического сопротивления циклонов в каскаде при различных углах наклона лопаток импеллера
2. Получены опытные коэффициенты в экспоненциальной зависимости для фракционного коэффициента проскока каскадов прямоточных циклонов
3. Теоретически получена зависимость для расчета фракционного коэффициента проскока в ПЦ элементе с учетом отсоса части газа из пылеосадительного бункера. Экспериментальные исследования подтвердили результаты расчетов
4. Разработан метод дисперсного анализа порошковых материалов с его программным обеспечением (получен патент РФ на изобретение № 2273019) и проведено определение фракционного состава ряда промышленных пылей для предприятий теплоэнергетики, деревообрабатывающей промышленности и промышленности строительных материалов
5. На основе проведенных исследований найдены оптимальные режимно-геометрические параметры работы прямоточных циклонных пылеуловителей. Разработана и передана для серийного изготовления на предприятие ООО «Сибпромвентиляция» конструкция магистрального каскадного прямоточного пылегазоочистного устройства (получен патент РФ на изобретение № 2287375). Разработаны конструкции пылеулавливающих комплексов на основе каскадов прямоточных циклонов с целью замены устаревшего газо-

очистного оборудования для предприятий теплоэнергетики и отрасли строительных материалов

Основной материал диссертации изложен в публикациях

- 1 Экспериментальная проверка энергетического принципа сравнения и компоновки пылеулавливающего оборудования на каскаде циклонов НИИОГАЗ / Шиляев А.М, Селезнев А Г, **Рекунов В.С.** и др // Материалы второго международного научно - технического семинара, Томск, ТГАСУ 2001, С 252-254
2. **Rekunov V.S.** Dust separation by cascade of direct-flow cyclones / A.M Shiljaev, V S Rekunov, A A Kondratyuk // 8th Korea-Russia International Symposium on Science and Technology Proceedings vol 3 Korus 2004 P 72-75
3. **Рекунов В.С.** Способ определения дисперсного состава порошковых материалов / М И Шиляев, А.М Шиляев, В С Рекунов и др // Бюл № 9 часть II. 27 03 2006. С. 431-432
- 4 **Рекунов В.С.** Сравнение эффективностей пылеулавливания прямоточных циклонных пылеуловителей / Рекунов В С, Топтыгин А Н // Труды VII Международной научно-практической конференции студентов и молодых ученых “Энергия молодых – экономике России” – Томск. Изд-во ТПУ 2006 – С. 607-608.
5. **Рекунов В.С.** Пылеуловитель / М И Шиляев, А М. Шиляев, В С Рекунов. // Бюл. № 32, часть II. 27 03 06. – С 397-398
6. **Рекунов В.С.** Сравнение эффективностей пылеулавливания прямоточных циклонных пылеуловителей / Рекунов В С, Топтыгин А Н. // Труды VII Международной научно-практической конференции студентов и молодых ученых “Энергия молодых – экономике России” – Томск. Изд-во ТПУ 2006 – С. 607-608
- 7 **Рекунов В.С.** Метод определения дисперсного состава порошкового материала каскадом прямоточных циклонов / Рекунов В С **Шиляев А М**, // Известия Томского политехнического университета – 2007 – Т 310. – № 1. – С. 171-175
8. **Рекунов В.С.** Определение гранулометрических характеристик дисперсных материалов каскадом двух прямоточных циклонов / **Шиляев А М**, Рекунов В.С, / Известия вузов Строительство – 2007 – № 3 – С. 67-73

Новосибирский государственный архитектурно-строительный
университет (Сибстрин)
630008, г.Новосибирск, ул.Ленинградская, 113

Отпечатано в мастерской оперативной полиграфии
НГАСУ (Сибстрин)

Тираж 100 Заказ 202