

БЕЛОРУССКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

УДК 628.51.4

ХОДЬКОВ
Андрей Алексеевич

**ПЫЛЕУЛАВЛИВАНИЕ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ
ВИНТОВОЙ ПОВЕРХНОСТИ**

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук
по специальности 05.23.03 – Теплоснабжение, вентиляция, кондиционирование
воздуха, газоснабжение и освещение

Минск 2018

Научная работа выполнена в Учреждении образования «Витебский государственный технологический университет»

Научный руководитель

КЛИМЕНКОВ Степан Степанович,
доктор технических наук, профессор кафедры
«Технология и оборудование машиностроительного производства» УО «Витебский государственный технологический университет»

Официальные оппоненты:

БЕРЕЗОВСКИЙ Николай Иванович,
доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Горные машины» Белорусского национального технического университета;

КОРОЛЁВА Татьяна Ивановна,
кандидат технических наук, доцент, заведующая кафедрой «Теплогасоснабжение и вентиляция» УО «Полоцкий государственный университет»

Оппонирующая организация

УО «Белорусский государственный технологический университет»

Защита состоится 6 декабря 2018 г. в 15.00 на заседании совета по защите диссертаций Д 02.05.10 при Белорусском национальном техническом университете по адресу: 220013, г. Минск, проспект Независимости, 65, корп.1, ауд. 202, тел. ученого секретаря (+375-17) 265-64-21.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Белорусского национального технического университета.

Автореферат разослан «___» _____ 2018 г.

Ученый секретарь совета
по защите диссертаций Д 02.05.10,
доктор технических наук, профессор

Дячек П. И.

© Ходьков А. А., 2018
© Белорусский национальный
технический университет, 2018

ВВЕДЕНИЕ

В современных условиях одной из самых острых экологических проблем является загрязнение атмосферного воздуха промышленными выбросами. Общее количество взвешенных частиц, попадающих в атмосферу в результате деятельности человека, становится соизмеримым с количеством загрязнений естественного происхождения. Суммарные выбросы пыли по Республике Беларусь, например, в 2013 году составили около 65,6 тыс. тонн.

В связи с этим возрастают требования к системам очистки промышленных выбросов, которые должны являться надежным средством защиты атмосферного воздуха и производственных помещений от загрязнений, содействовать улучшению санитарно-гигиенических условий работы и экологической ситуации в целом. Однако следует учитывать, что повышение эффективности очистки связано со значительными затратами сырьевых и энергетических ресурсов.

В настоящее время для очистки запыленных газовых потоков в различных отраслях промышленного производства массовое применение нашли инерционные и тканевые пылеуловители. Последние, имея высокую степень очистки, характеризуются значительным аэродинамическим сопротивлением, увеличивающимся по мере загрязнения фильтрующего материала, невозможностью его полной регенерации. Инерционные пылеуловители, в свою очередь, обладают недостаточно высокой эффективностью, но в то же время имеют хорошие эксплуатационные характеристики, которые не изменяются в процессе их применения.

На основании вышесказанного и ввиду удорожания энергетических ресурсов на первый план выходит задача по совершенствованию существующих и созданию новых высокоэффективных компактных и экономичных аппаратов для очистки воздушной среды от загрязнений с целью создания необходимых условий на рабочих местах и поддержания экологической ситуации на требуемом уровне.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Связь работы с крупными научными программами, темами

Диссертационная работа выполнена автором в инициативном порядке и в соответствии с региональной научно-технической программой «Инновационное развитие Витебской области», утвержденной приказом № 357 государственного комитета по науке и технологиям Республики Беларусь от 21.12.99 г. по заданию 02.14/704 «Разработать и освоить производство высокоэффективных компактных аппаратов для очистки воздуха от пыли».

Цель и задачи исследования

Целью диссертационной работы является разработка научных основ и конструкторско-технологической модели процесса пылеулавливания с использованием винтовой поверхности в качестве основного рабочего органа. В соответствии с указанной целью поставлены следующие задачи:

1. Провести аналитический обзор существующих способов улавливания мелкодисперсных частиц и конструкций пылеуловителей с целью обоснования конструкторско-технологической модели, основным рабочим органом которого является винтовая поверхность.

2. Провести теоретический анализ, позволяющий выявить основные закономерности течения запыленного потока через винтовую поверхность, построив математическую аэродинамическую модель течения запыленного воздуха и определить основные направления экспериментальной работы.

3. Провести экспериментальные исследования и вывести эмпирическим путем основные зависимости, определяющие устойчивую и эффективную работу винтовых горизонтальных пылеуловителей.

4. Определить основные области использования винтовых горизонтальных пылеуловителей в отраслях народного хозяйства Республики Беларусь и за ее пределами.

Объект исследования – инерционные пылеуловители.

Предмет исследования – физические процессы в инерционных пылеуловителях с рабочим органом в виде горизонтальной винтовой поверхности.

Научная новизна

1. Впервые теоретически обоснована и экспериментально подтверждена эффективность пылеулавливания с использованием винтовой поверхности для очистки мелкодисперсных сухих неволокнистых пылей с выявлением эмпирических зависимостей фракционной эффективности пылеулавливания и оптимальных параметров для линейки аппаратов.

2. Установлены закономерности распределения доломитовой пыли с фракционным составом от 5 до 40 мкм по секциям винтового горизонтального пылеуловителя, что позволяет расширить технологические возможности предлагаемого аппарата с учетом сепарации пылей различного фракционного состава по камерам осаждения для дальнейшей технологической обработки.

3. Впервые выявлены зависимости эффективности и потерь давления в винтовых горизонтальных пылеуловителях с линейкой диаметров основного рабочего органа от 100 до 400 мм при различных скоростях воздушного потока и различном количестве секций, что позволило оптимизировать режимно-конструктивные параметры предлагаемого аппарата.

Положения, выносимые на защиту

Основные результаты работы, выносимые на защиту:

1. Разработка аэродинамической модели работы винтового горизонтального пылеуловителя с выводом основных физико-математических зависимостей его эксплуатации.

2. Экспериментально-теоретические закономерности эффективности пылеулавливания и аэродинамического сопротивления в зависимости от основных конструкторско-технологических параметров разработанного аппарата.

3. Экспериментально-теоретические закономерности распределения сухих неволокнистых пылей различного фракционного состава по секциям винтового горизонтального пылеуловителя.

4. Конструкция винтового пылеуловителя, защищенная патентом РБ №3253 от 24.04.97, обеспечивающая повышенную эффективность очистки и обладающая устойчивыми технологическими характеристиками.

Личный вклад соискателя ученой степени

Соискателем лично:

– разработана методика расчета основных режимно-конструктивных параметров пылеуловителей с диаметром основного рабочего органа 100 мм; 200 мм, 320 мм, 400 мм;

– предложено конструктивное решение схемы горизонтального пылеуловителя, подтвержденное патентом РБ №3253 от 24.04.97, с рабочим органом в виде винтовой поверхности, ограниченной в пространстве, что позволило изготовить экспериментальные и опытно-промышленные образцы горизонтальных винтовых пылеуловителей с основным рабочим органом диаметром 100 мм; 200 мм, 320 мм, 400 мм.

– проведены экспериментальные исследования пылеуловителей с диаметром основного рабочего органа 100 мм; 200 мм, 320 мм, 400 мм с целью определения эффективности пылеулавливания и аэродинамического сопротивления в зависимости от основных конструкторско-технологических параметров.

Автором решены поставленные задачи и сделаны выводы; соавторами оказана помощь в проведении исследований, разработке методики и проверке результатов исследований.

Апробация диссертации и информация об использовании ее результатов

Основные результаты работы представлены и получили положительную оценку на:

- международной научно-технической конференции «Новые ресурсосберегающие технологии и улучшение экологической обстановки в легкой промышленности и машиностроении» (г. Витебск, 1999 г.);

- 48 Международной научно-технической конференции преподавателей и студентов, посвященной 50-летию Витебского государственного технологического университета (г. Витебск, 2015 г.);

- VI Белорусском энергетическом и экологическом конгрессе (г. Минск, 2001 г.);

- научно-технических конференциях преподавателей и студентов УО «Витебский государственный технологический университет» 1996-2015 гг.;

- международной научно-технической конференции «Ресурсо- и энергосберегающие технологии промышленного производства» (г. Витебск, 2003 г.).

Апробация разработанных горизонтальных винтовых пылеуловителей и их практическое внедрение в производственный цикл была осуществлена на ОАО «Визас» (г. Витебск), РУП «Витебский механический завод» и ОАО «Витрембыт».

Опубликование результатов диссертации

По результатам диссертационной работы опубликовано 15 печатных работ, в том числе 3 статьи в научных журналах (по перечню ВАК), 5 статей в сборниках материалов международных и республиканских научно-технических конференций, 5 тезисов докладов конференций. Получено 2 патента: № 3253 «Устройство для очистки воздушного потока от пыли» и № 5599 «Пылеулавливающее устройство». Общее количество авторских печатных листов – 2,51.

Структура и объем диссертации

Диссертационная работа содержит введение, общую характеристику работы, четыре главы, заключение, библиографический список и приложения. Общий объем работы составляет 165 страниц. Объем диссертации составляет 113 страниц, включая 37 рисунков и 27 таблиц. Библиография, представленная на 9 страницах, включает 103 литературных источника и 15 публикаций соискателя. В работе приложено 11 приложений, представленных на 42 страницах.

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Во введении обоснована актуальность диссертационной работы. Определено основное направление по исследованию выбранной научной проблемы в соответствующей отрасли научных знаний. Отражена практическая значимость полученных результатов.

В первой главе в результате изучения публикаций в научно-технических изданиях, патентных материалов и других источников приведен анализ существующих пылеуловителей инерционного типа, используемых для очистки воздуха от пыли. Рассмотрены конструктивные особенности, принцип работы различных аппаратов с инерционным механизмом улавливания пыли, их достоинства и недостатки. Установлено, что перспективными направлениями повышения эффективности пылеулавливания в этом типе аппаратов являются: конструктивное совершенствование, связанное с вводом новых элементов, способствующих более эффективной сепарации пыли; повышение турбулизации пылевоздушного потока; многоступенчатая очистка и специализация пылеуловителей, характеризующаяся рациональным подбором пылеуловителей, специально разработанных для улавливания определенных видов пыли. В результате проведенного анализа установлено, что винтовая поверхность ранее использовалась недостаточно широко в пылеуловителях инерционного типа и её введение в качестве основного рабочего органа позволит повысить эффективность очистки воздуха от мелкодисперсной пыли по сравнению с циклонами на величину до 10%.

Во **второй главе** представлена физико-математическая модель процесса пылеулавливания с использованием винтовой поверхности (рисунок 1).

Уравнение винтовой поверхности в параметрическом виде было представлено соотношениями

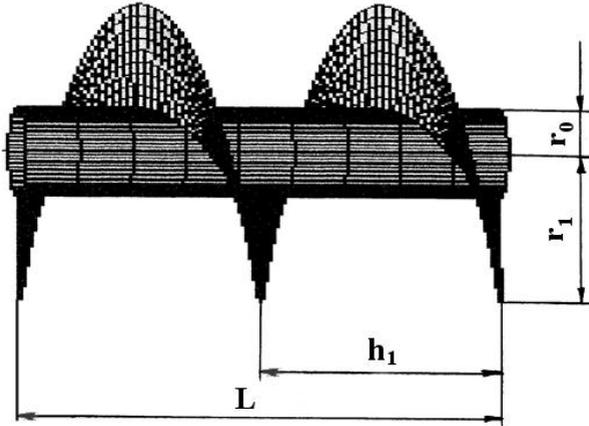
$$x = r \cos \varphi; \quad y = r \sin \varphi; \quad z = f(r) + \lambda \varphi, \quad (1)$$

где

$$r_0 \leq r \leq r_1, \quad 0 \leq \varphi \leq \frac{z_0}{\lambda}, \quad \lambda = \frac{h}{2\pi}, \quad (2)$$

или в векторной форме

$$\vec{R} = (r \cos \varphi, r \sin \varphi, f(r) + \lambda \varphi). \quad (3)$$



r_0 – радиус цилиндрической поверхности, соосной винтовой;
 r_1 – радиус винтовой поверхности; h_1 – шаг винтовой поверхности;
 L – длина рабочего органа

Рисунок 1. – Схема винтовой поверхности

Одной из задач исследования рабочего органа пылеуловителя является построение модели прямого геликоида и соосной ей цилиндрической поверхности (рисунок 1).

Единичные векторы, определяющие любую точку винтовой поверхности:

$$\vec{R}_r = \left(\cos \varphi, \sin \varphi, \frac{df(r)}{dr} \right), \quad (4)$$

$$\vec{R}_\varphi = (-r \cdot \sin \varphi, r \cdot \cos \varphi, \lambda). \quad (5)$$

Формирование траектории движения пылевых частиц в зоне винтовой поверхности происходит под действием инерционных, гравитационных и центробежных сил.

Одним из важнейших результатов взаимодействия пылевых частиц с увлекающим их воздушным потоком при наличии внешних сил являются силы инерции, имеющие большое значение в теории и практике обеспыливания.

Определяющим параметром инерционного осаждения является критерий Стокса, характеризующий отношение инерционной силы, действующей на пылинку, к силе сопротивления газовой среды:

$$Stk = \frac{d^2 W \rho}{18 \mu (D - 2r_0)} . \quad (6)$$

После инерционной сепарации частиц из газового потока включаются процессы седиментационного осаждения, которые определяются отношением критерия Стокса к критерию Фруда:

$$\eta_G = \frac{Stk}{Fr} = \frac{d^2 \rho g}{18 \mu} . \quad (7)$$

Механизм вывода пылевых частиц из зоны винтовой поверхности основан на использовании центробежных сил, под воздействием которых частица пыли приобретает скорость в радиальном направлении W_R , которая уравнивается сопротивлением газового потока, что описывается в первом приближении законом Стокса

$$\frac{\pi d^3}{6} \cdot \rho \cdot \frac{W_e^2}{R} = 3 \pi \mu W_R d . \quad (8)$$

Физико-математическое описание исследуемого процесса пылеулавливания должно включать:

- геометрию аппарата, включая объемную винтовую поверхность, корпус и карманы накопителя уловленной пыли, их параметры, как исходные данные, в процессе исследования должны меняться;
- уравнения движения двухфазного потока, включая описание процессов воздействия на течение газовой компоненты изменяющегося в процессе очистки по массе и фракционному составу полифракционного потока пыли и воздействие потока воздуха на движение частиц твердой фазы; для описания этого процесса может быть применено уравнение Навье-Стокса для турбулентного газового потока, представляющее характер силового взаимодействия частиц пыли с транспортирующим воздухом:

$$P_z \left(\frac{\partial \vec{w}}{\partial t} + (\vec{w} \nabla) \vec{w} \right) = -\nabla P_z + \mu \nabla^2 \vec{w} + \frac{1}{3} \mu \nabla (\nabla \vec{w}) + P_z \vec{g} ; \quad (9)$$

- уравнение неразрывности транспортирующего потока воздуха;
- характер изменения импульса движения при соударении частицы с твердой поверхностью элементов конструкции пылеуловителя;
- формирование турбулентности и изменение параметров турбулентного двухфазного потока в пылеуловителе в процессе сепарации пыли;
- описание параметров потока на входе в пылеуловитель, включая векторное поле скоростей воздуха и частиц пыли, а также распределение их по сечению входного узла.

Особую сложность в физико-математическом описании исследуемых процессов представляет описание характера взаимодействия пылевых частиц с воздухом. Достоверные сведения об этом имеются только для ламинарного потока. Достоверная модель турбулентности для двухфазного потока в литературе не обнаружена. В этой связи было признано, что широко используемые в настоящее время пакеты прикладных программ для исследования движения турбулентных однофазных воздушных потоков (Star-CCM, Ansys и др.), в данном случае не могут быть применены.

В этой связи было принято решение провести только экспериментальные исследования сепарации пыли в инерционном пылеуловителе с рабочим органом в виде винтовой поверхности и оценку достоверности полученных данных.

Результаты, полученные при разработке физико-математической модели исследуемых процессов, использованы для построения дальнейшего плана работы. При проведении экспериментов необходимо выявить зависимость аэродинамического сопротивления и эффективности пылеочистки от ряда режимно-конструктивных (операционных) параметров:

- дисперсного состава, концентрации и физических параметров пыли на входе в аппарат;
- от скорости и направления пылевоздушного потока в аппарат;
- длины рабочего органа, угла захода и радиуса винтовой поверхности; числа секций накопителя, ширина которых должна быть равна шагу винта.

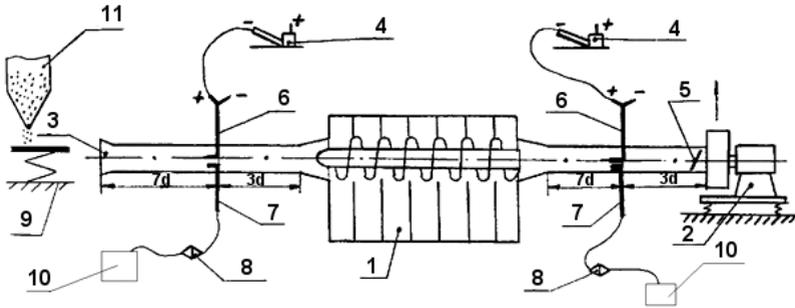
Практическая польза применения исследуемого пылеуловителя заключается в выяснении экономических и технических последствий его применения, то есть исследование эффективности в зависимости от его определяющих параметров: длины, количество секций, условий подвода, скорости, фракционного состава и т. п.

В третьей главе разработан экспериментально-теоретический метод аэродинамического расчета пылеуловителя, результаты которого были получены на самостоятельно изготовленном стенде (рисунок 2).

Методика проведения исследования заключалась в следующем: после включения вентилятора с помощью дроссель-клапана устанавливалась требуемая производительность вентилятора и через 1–2 мин при установившемся режиме на основе показаний микроманометра определялась скорость воздуха в воздуховоде. Затем после установления требуемой производительности по воздуху до и после аппарата с помощью пневмометрических трубок и микроманометров одновременно снимались показания по полному давлению с целью определения потерь давления в аппарате. С помощью дозатора и вибрототка во входной коллектор стенда подавалась пыль требуемой концентрации. Через 1–2 минуты одновременно производился отбор проб запыленного воздуха до и после пылеуловителя в течение 10 минут. После отбора пробы запыленного воздуха установка отключалась и на аналитических весах взвешивались фильтры с целью определения эффективности пылеуловителя.

При исследовании винтового пылеуловителя были выделены основные целевые параметры, определяющие работу аппарата и его применимость для решения конкретных задач. К таким параметрам отнесены эффективность пылеулавливания и аэродинамическое сопротивление, на основе которых строятся целевые

функции оптимизации устройства. Сама оптимизация проводилась по операционным (изменяемым) параметрам системы.



1 – пылеуловитель; 2 – тягодутьевое устройство; 3 – входной коллектор;
4 – микроманометр; 5 – дроссель-клапан; 6 – пневмометрические трубки;
7 – пылезабортные трубки; 8 – аналитические фильтры; 9 – вибролооток;
10 – аспиратор; 11 – дозатор
Рисунок 2. – Схема лабораторно-испытательного стенда

Операционные параметры разделены на две группы:

- 1) геометрические (конструктивные);
- 2) режимно-эксплуатационные.

Геометрические параметры:

- число камер пылеуловителя;
- угол захода и диаметр винтовой поверхности;
- подвод воздушного потока в пылеуловитель (осевой; тангенциальный).

Режимно-эксплуатационные параметры:

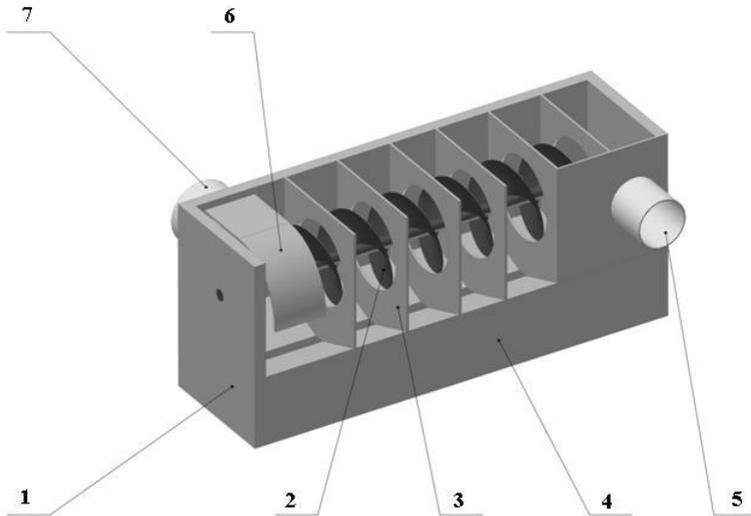
- скорость воздушного потока на входе в аппарат;
- запыленность потока;
- среднemasсовый размер частиц дисперсной фазы.

Для проведения исследований был разработан и изготовлен ряд винтовых пылеуловителей с диаметром основного рабочего органа 100 мм; 200 мм; 320 мм; 400 мм, которые в дальнейшем получили название ВП-100; ВП-200; ВП-320; ВП-400 (рисунок 3).

Конструкция винтовых горизонтальных пылеуловителей защищена патентом Республики Беларусь №3253.

При изготовлении экспериментальных и опытно-промышленных установок были выдержаны следующие геометрические соотношения:

- расстояние между перегородками корпуса равно шагу основного рабочего органа;
- зазор между отверстиями в перегородках корпуса и основным рабочим органом до 1 мм.



1 – корпус; 2 - рабочий орган; 3 – секции корпуса; 4 - бункер для сбора пыли; 5 - выходной патрубок; 6 - завихритель; 7 - входной патрубок

Рисунок 3. – Аксонометрическая объемная схема винтового горизонтального пылеуловителя

Ввиду практической значимости в проводимых исследованиях для эксперимента была использована доломитовая пыль ПО «Доломит» г. Витебска. Предприятие расположено в 10 км от города и оказывает серьезное воздействие на экологическую ситуацию в регионе.

На начальном этапе исследований определена зависимость эффективности пылеулавливания доломитовой пыли в зависимости от размеров исследуемых частиц. Результаты замеров при определении концентрации пыли до аппарата и после были обработаны методами математической статистики с определением доверительных интервалов. Уровень запыленности воздушного потока с доломитовой пылью колебался от 1170 мг/м^3 до 1360 мг/м^3 .

Графическая зависимость эффективности очистки доломитовой пыли от диаметра частиц на пылеуловителе ВП-100 представлена на рисунке 4.

Немаловажным операционным параметром является угол захода винтовой поверхности. В процессе ряда исследований, проведенных на опытно-промышленных образцах, были установлены эмпирические зависимости, позволяющие установить оптимальный угол захода винтовой поверхности, который составил 25° , что нашло свое отражение на рисунке 5.

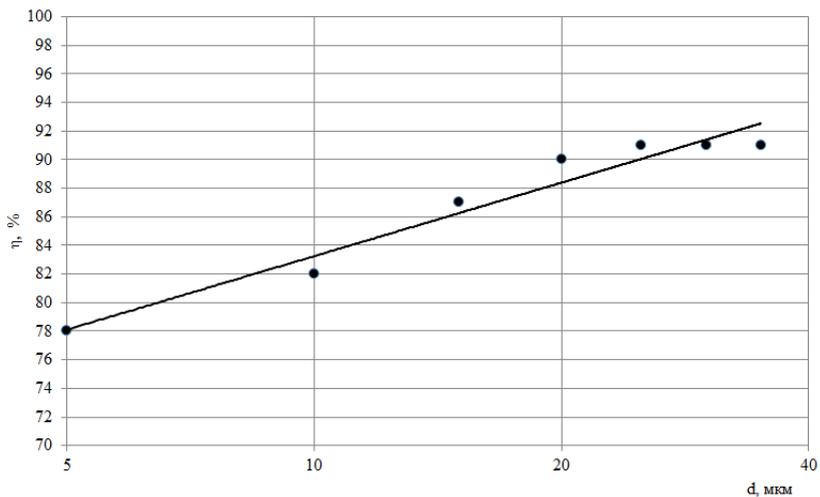


Рисунок 4. – Зависимость эффективности пылеулавливания от диаметра исследуемых частиц доломитовой пыли

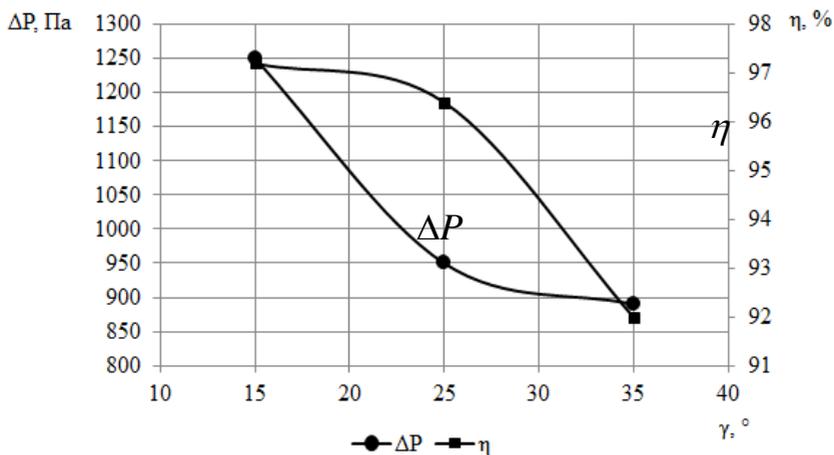


Рисунок 5. – Зависимость аэродинамического сопротивления аппарата ΔP и эффективности пылеулавливания η от угла захода винтовой поверхности γ для доломитовой пыли

При проведении исследований по определению основных целевых параметров пылеуловителя, таких, как эффективность пылеулавливания и полное аэродинамическое сопротивление, в зависимости от ряда изменяемых переменных и учета внешних факторов был проведен эксперимент по классическому плану с числом факторов 2 и числом уровней 3 (таблица 1). Первый фактор – скорость на входе в аппарат: 5 м/с, 10 м/с, 15 м/с. Второй фактор – количество секций в аппарате: 5, 6, 7. Зависимыми (целевыми) параметрами в данном эксперименте являются эффективность пылеулавливания и полное аэродинамическое сопротивление.

Таблица 1. – Матрица планирования эксперимента

№ опыта	Матрицы планирования		Значения факторов		Зависимые переменные	
	X_1	X_2	W	N	$\Delta P, Pa$	$\eta, \%$
1	+ 1	- 1	15	5	1519,9±15,2	85,2±2,9
2	0	0	10	6	810,4±45,6	95,2±1,8
3	- 1	+ 1	5	7	230,3±30,4	78,5±2,0
4	+ 1	+ 1	15	7	2099,8±42,3	95,9±1,5
5	- 1	- 1	5	5	169,9±22,8	67,5±2,2
6	+ 1	0	15	6	1819,9±21,4	94,7±2,0
7	- 1	0	5	6	200,2±30,4	75,4±1,9
8	0	+ 1	10	7	950,4±68,1	96,4±1,8
9	0	- 1	10	5	680,1±28,3	85,5±3,3

Нами было выведено общее для всех пылеуловителей данного типа уравнение регрессии

$$\eta = (k_1 \cdot W^2 + k_2 \cdot W + k_3) \cdot (k_4 \cdot N^2 + k_5 \cdot N + k_6), \quad (10)$$

где η – эффективность, %;

W – скорость воздушного потока на входе в пылеуловитель, м/с;

N – количество секций пылеуловителя.

Методом наименьших квадратов определено значение коэффициентов нелинейной регрессии для винтового пылеуловителя ВП-100:

$$\eta = (-0,054 \cdot W^2 + 1,352 \cdot W + 4,615) \cdot (-0,235 \cdot N^2 + 3,369 \cdot N - 4,195). \quad (11)$$

Аналогично была определена зависимость потерь давления ΔP от скорости воздушного потока W и количества секций N для данного аппарата:

$$\Delta P = (2,331 \cdot W^2) \cdot (0,562 \cdot N + 0,091). \quad (12)$$

Полученные математические зависимости позволили провести комплексную оптимизацию режимно-конструктивных параметров винтового пылеуловителя ВП-100, что графически отражено на рисунке 6.

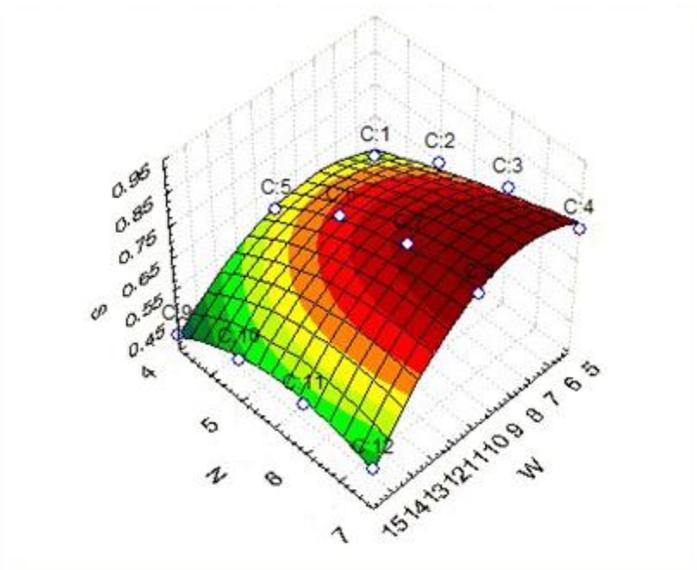


Рисунок 6. – Зависимость $\eta = f(W, N)$ для пылеуловителя ВП-100

Наиболее высокие результаты по эффективности пылеулавливания 94,5-95% с приемлемыми потерями давления для ВП-100 достигнуты при количестве секций $N = 7$ и скорости воздушного потока 8 м/с.

Кроме того, нами были построены уравнения нелинейных регрессий для ВП-200, ВП-320, ВП-400:

$$\eta_{200} = (-0,055 \cdot W^2 + 1,377 \cdot W + 4,591) \cdot (-0,232 \cdot N^2 + 3,328 \cdot N - 4,167); \quad (13)$$

$$\eta_{320} = (-0,057 \cdot W^2 + 1,440 \cdot W + 4,233) \cdot (-0,227 \cdot N^2 + 3,258 \cdot N - 4,051); \quad (14)$$

$$\eta_{400} = (-0,058 \cdot W^2 + 1,450 \cdot W + 3,789) \cdot (-0,240 \cdot N^2 + 3,422 \cdot N - 4,383); \quad (15)$$

$$\Delta P_{200} = (0,607 \cdot W^2) \cdot (2,031 \cdot N + 0,444); \quad (16)$$

$$\Delta P_{320} = (0,981 \cdot W^2) \cdot (1,179 \cdot N + 0,338); \quad (17)$$

$$\Delta P_{400} = (0,660 \cdot W^2) \cdot (1,634 \cdot N + 0,470). \quad (18)$$

На основании полученных зависимостей была произведена оптимизация конструктивных параметров ВП-200, ВП-320, ВП-400 по аналогии с ВП-100, что позволило определить необходимые скорости воздушного потока на входе в аппарат в диапазоне 8–12 м/с и количество секций до 7, при которых достигаются наиболее оптимальные параметры работы аппаратов данной конструкции (таблица 2).

Таблица 2. – Режимно-конструктивные параметры винтовых пылеуловителей

Обозначение	Скорость воздушного потока, м/с	Количество секций	Эффективность, %
ВП-200	8 – 10	6 – 7	94 – 94,5
ВП-320	8,6 – 10,5	7	93 – 94
ВП-400	9 – 11	7	92,5 – 93,5

В разработанных пылеуловителях возможен подвод воздуха двумя способами: прямой и тангенциальный. В результате проведения серии экспериментов установлено, что при тангенциальном подводе воздушного потока в пылеуловитель в диапазоне скоростей от 5 м/с до 15 м/с эффективность выше на 3 – 3,5 % по сравнению с прямым подводом. Кроме того, при тангенциальном подводе воздушного потока в пылеуловитель потери давления снижены на 8 %.

Анализируя результаты экспериментальных исследований пылеуловителей с различным диаметром рабочего органа, можно отметить, что увеличение диаметра основного рабочего органа в аппаратах более высокой производительности влечет за собой увеличение скорости во входном патрубке для достижения требуемой эффективности (рисунок 7).

Для более глубокого изучения процесса пылеулавливания, происходящего в аппаратах данной конструкции, с целью расширения их технологических возможностей была разработана физико-математическая модель оседания частиц по камерам винтового пылеуловителя.

Дисперсный анализ исходной исследуемой доломитовой пыли, представленный в таблице 3, проводился микроскопическим методом.

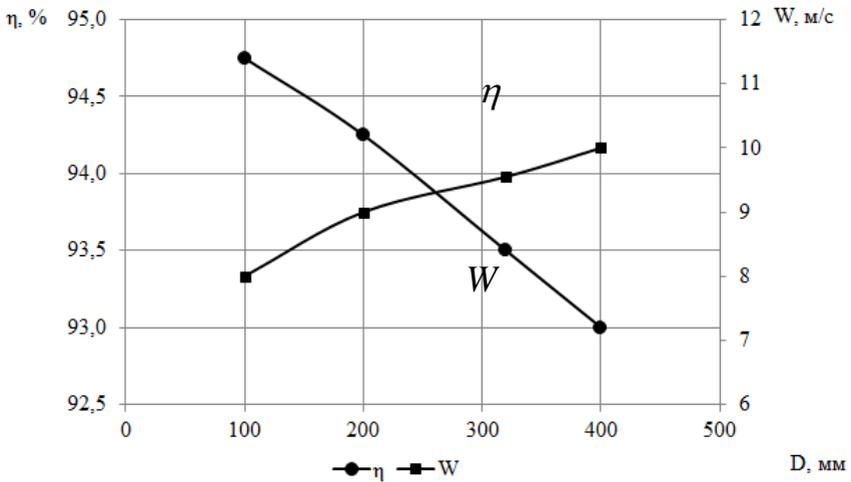


Рисунок 7. – Зависимость эффективности пылеулавливания η и скорости воздушного потока W от диаметра основного рабочего органа D

Таблица 3. – Исходный фракционный состав доломитовой пыли

d , мкм	до 5	от 5 до 7,5	от 7,5 до 10	от 10 до 16	от 16 до 20	от 20 до 30	от 30 до 40	от 40 до 63	от 63 до 80	от 80 до 100	от 100 до 160
содержание фракции, %	5,1	36,8	7,0	19,0	16,4	7,8	2,5	2,6	0,6	0,4	0,2

Как видно из таблицы 3, основная масса исследуемой пыли находится в интервале от 5 до 10 мкм – 44 % от общего количества. В процессе проведения эксперимента получены данные о дисперсном составе пыли, осаждаемой по камерам пылеуловителя.

Результаты исследования распределения частиц по фракциям и камерам распределили на три диапазона по фракциям и три диапазона по длине пылеуловителя. Результаты были сведены в таблицу 4.

Таблица 4. – Распределение частиц по фракциям по длине пылеуловителя

Диаметр частиц, мкм	Количество осевших частиц по зонам		
	начальной, камеры 1-2	средней, камеры 3-4	конечной, камеры 5-6
	x 10 ⁴		
мелкие, до 10	633,81 (25 %)	134,55 (35 %)	9,91 (39 %)
средние, от 10 до 20	713,47 (28 %)	142,78 (37 %)	8,28 (33 %)
крупные, от 20 до 40	1177,45 (47 %)	106,80 (28 %)	6,94 (28 %)
всего	2524,73 (100 %)	384,13 (100 %)	25,13 (100 %)

Анализируя данные таблицы 4, можно сделать выводы по сепарации частиц в различных зонах пылеуловителя для различных видов мелкодисперсных пылей (доломит, цемент и т.п.):

- в начальной зоне пылеуловителя наблюдается смещение процентного содержания частиц в сторону более крупных;
- в средней зоне частицы распределены более равномерно с небольшим экстремумом в области частиц средней величины;
- в конечной зоне пылеуловителя наблюдается смещение процентного содержания частиц в сторону более мелких.

Полученные зависимости наглядно показывают, что аппараты данной конструкции способны расширить технологические возможности пылеуловителей в части сепарации различных видов мелкодисперсных сухих неволокнистых пылей.

В четвертой главе приведена методика подбора необходимого винтового горизонтального пылеуловителя с диаметром основного рабочего органа от 100 до 400 мм в зависимости от заданных исходных параметров:

- производительность пылеуловителя Q , м³/ч;
- эффективность пылеулавливания η , %.

Основные режимно-конструктивные параметры разработанных пылеуловителей приведены в таблице 5.

Таблица 5. – Основные режимно-конструктивные параметры исследуемых пылеуловителей при $W = 10$ м/с

D , мм	h , мм	N	L , мм	B , мм	H , мм	H_1 , мм	$d_{п}$, мм	$Q_{ном}$, м ³ /ч	ΔP , Па
100	100	7	700	120	380	200	80	180	940
200	200	7	1400	240	740	400	140	720	890
320	320	7	2240	380	1200	640	240	1840	810
400	400	7	2800	480	1500	800	300	2880	780

Вследствие того, что предлагаемые аппараты относятся к пылеуловителям инерционного типа, сопоставительный анализ производился с аппаратами этого же класса. Наиболее распространенными пылеулавливающими аппаратами инерционного типа являются: циклоны, жалюзийные, вентиляторные и вихревые аппараты. Так как конструктивные особенности различных пылеуловителей могут отличаться друг от друга, то приемлемым вариантом может считаться сравнение различных пылеуловителей по удельным показателям и относительным величинам.

Сопоставление технико-экономических показателей различных инерционных пылеуловителей с винтовыми горизонтальными пылеуловителями приведено в таблице 6.

Таблица 6. – Техничко-экономические показатели пылеуловителей

Наименование	Q, м ³ /ч	W, м/с	V _P , м ³	M, кг	ΔP, Па	$\frac{\Delta P}{Q}$	η, %
Циклон СИОТ № 1	1500	15-18	0,36	51	700	0,46	-
Циклон ЦН-15-300	1000	—	0,17	170	1500	1,5	95
Пылеуловитель инерционный ПИ-10	10000	—	—	780	510	0,05	80
Вихревой пылеуловитель	7000	—	0,85	750	1000-1900	0,21	97
Винтовой пылеуловитель ВП-320	1620	8-12	0,52	120	810	0,54	94
Винтовой пылеуловитель ВП-400	2880	8-12	1,0	200	780	0,30	93

Винтовой пылеуловитель по технико-экономическим показателям сопоставим с циклонами. По величине V' (активный объем, отнесенный к производительности) винтовой аппарат несколько уступает циклонам, однако выигрывает у них по потере давления и производительности.

Фракционная эффективность пылеулавливания циклона ЦН-15-300, винтового пылеуловителя ВП-320 и вихревого аппарата ВЗП представлена на рисунке 8.

Таким образом, разработанный винтовой пылеуловитель является вполне конкурентоспособным по сравнению с другими видами инерционных пылеуловителей. Винтовой горизонтальный пылеуловитель может быть использован в ряде отраслей добывающей, строительной и обрабатывающей промышленности для очистки воздушного потока от сухих, неволокнистых пылей, что позволит решить ряд вопросов по охране окружающей среды и созданию нормального микроклимата на рабочих местах. Горизонтальный пылеуловитель внедрен на АП «ВИЗАС» г. Витебска с экономическим эффектом согласно акту внедрения, в размере 9,075 млн. руб. (в ценах на январь 2010 г.), на РУП «Витебский механический завод» с экономическим эффектом согласно акту внедрения, в размере 3,61 млн. руб. (в ценах на январь 2010 г.) и на ОАО «Витре́мбыт» с экономическим эффектом согласно акту внедрения 10,8 млн. руб.

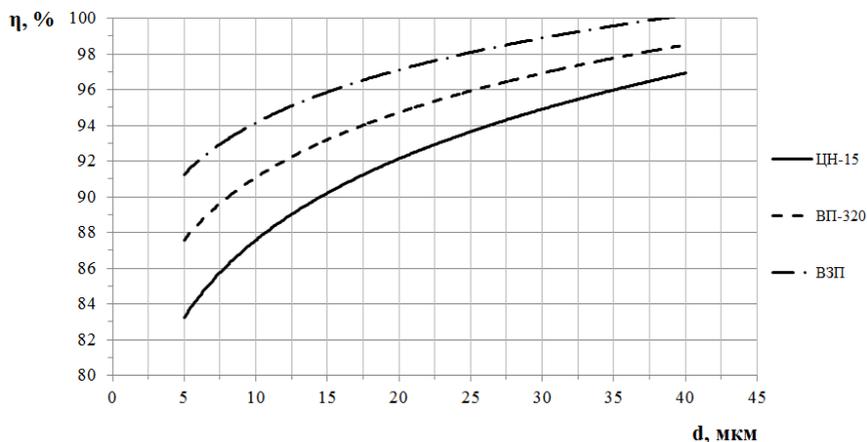


Рисунок 8. – Фракционная эффективность пылеулавливания циклона ЦН-15-300, ВП-320 и вихревого аппарата ВЗП

Пылеуловители данного типа могут устанавливаться внутри и снаружи производственных помещений, а также быть встроенными в технологическое оборудование и осуществлять локальную очистку воздуха от пыли. Кроме этого, ввиду их сравнительно низкой себестоимости и высокой эффективности пылеочистки пылеуловители можно устанавливать перед фильтрами тонкой очистки, например, тканевыми в промышленных пылесосах.

Горизонтальное расположение винтового пылеуловителя значительно упрощает обслуживание и монтаж. Горизонтальный корпус аппарата прямоугольного сечения позволяет устанавливать его в межколонных пространствах, не занимая дополнительные производственные площади.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Основные научные результаты диссертационной работы

1. Теоретически обоснована и экспериментально подтверждена эффективность пылеулавливания с использованием винтовой поверхности путем построения аэродинамической модели течения пылевых частиц в пространстве, ограниченном винтовой поверхностью [1, 2, 3]. Выведены новые зависимости взаимодействия пылевой частицы с винтовой поверхностью, которые в дальнейшем получили экспериментальное подтверждение [4, 5, 6, 8].

2. Впервые разработан экспериментально-теоретический метод аэродинамического расчета винтового горизонтального пылеуловителя, позволяющий с достаточной точностью определять эффективность пылеулавливания и потери давления в предлагаемом аппарате посредством выведенных математических зависимостей [7, 9].

3. Обоснована модель процесса распределения частиц в винтовом горизонтальном пылеуловителе, в основе которой лежит процесс инерционной сепарации пылевых частиц из закрученного криволинейного потока [10, 12, 14, 15] с последующим оседанием частиц, вышедших из зоны действия винтовой поверхности, по камерам пылеосаждения.

4. Впервые разработан и изготовлен пылеуловитель с рабочим органом в виде винтовой поверхности, новизна которого подтверждена патентом Республики Беларусь. Установлены оптимальные режимно-конструктивные параметры предлагаемого аппарата, которые позволяют его эффективно использовать для сухих мелкодисперсных пылей, что позволило его внедрить на ряде предприятий г. Витебска [11, 13].

Рекомендации по практическому использованию результатов

Винтовой горизонтальный пылеуловитель может быть использован в производстве строительных материалов, различных видов минеральных удобрений, в машиностроении, сельском хозяйстве и в ряде других отраслей народного хозяйства.

1. Разработанные опытно-промышленные образцы винтовых пылеуловителей внедрены на Витебском механическом заводе (акт от 01.02.2000 г.), ОАО «ВИЗАС» (акт от 01.09.1999 г.) и ОАО «Витрембыт» (акт от 21.12.2015 г.).

2. На предприятии ОАО «ВИЗАС» по разработанной конструкторской документации была изготовлена опытная партия промышленных пылесосов ВЗ-157 на базе горизонтального винтового пылеуловителя.

СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ СОИСКАТЕЛЯ

Статьи

1. Ходьков, А.А. Винтовой горизонтальный пылеосадитель ВП-400 / А.А. Ходьков // Вестник ВГТУ. – 2001. – № 3. – С. 51–54.

2. Ходьков, А.А. Исследование процессов пылеулавливания в винтовых пылеуловителях / А.А. Ходьков, С.С. Клименков, И.А. Тимонов, Е.Т. Тимонова // Вестник УО «ВГТУ». – 2008. – № 15. – С. 198–202.

3. Ходьков, А.А. Использование винтовой поверхности в пылеулавливании / А.А. Ходьков, И.А. Тимонов, Е.Т. Тимонова // Вестник «ПГУ». Сер. «Строительство. Прикладные науки» № 6. – 2009. – С. 81 – 84.

Сборники статей и материалов конференций

4. Ходьков, А.А. Теоретические исследования пылеулавливания в винтовом воздушном потоке / А.А. Ходьков, С.С. Клименков, В.В. Селивончик, И.А. Тимонов // Новые ресурсосберегающие технологии и улучшение экологической обстановки в легкой промышленности и машиностроении: сб. статей. науч.-техн. конф., ВГТУ, Витебск, 21-23 окт. 1999 г. / Витеб. гос. технолог. ун-т. – Витебск, 1999. – С. 227–230.

5. Ходьков, А.А. Основы теории расчета пылеуловителей ШП-400 / А.А. Ходьков, А.А. Шакель // Инженерные проблемы строительства и эксплуатации сооружений : сб. науч. трудов, ПГУ, Полоцк, 21 мая 2001 г. / Полоцк. госуд. ун-т. – Полоцк, 2001. – С. 362–372.

6. Ходьков, А.А. Разработка и исследование нового устройства для эффективной очистки промышленных запыленных газовых выбросов / А.А. Ходьков, С.С. Клименков, А.С. Клименков, И.А. Тимонов // Современные энергоресурсосберегающие и экологобезопасные технологии в машиностроении и легкой промышленности: сб. науч. трудов, ВГТУ, Витебск, 16 окт. 1998 г. / Витеб. гос. технолог. ун-т. – Витебск, 1998. – С. 9–10.

7. Ходьков, А.А. Обеспыливание воздуха в шнековом пылеуловителе / А.А. Ходьков // Новые ресурсосберегающие технологии и улучшение экологической обстановки в легкой промышленности и машиностроении: сб. статей. науч.-техн. конф., ВГТУ, Витебск, 21-23 окт. 1999 г. / Витеб. гос. технолог. ун-т. – Витебск, 1999. – С. 231–236.

8. Ходьков А.А. Высокоэффективный малогабаритный пылеуловитель / А.А. Ходьков, С.С. Клименков, И.А. Тимонов, Е.Т. Тимонова // Ресурсо- и энергосберегающие технологии промышленного производства: материалы Междунар. науч.-техн. конф., ВГТУ, Витебск, 25-26 окт. 2003 г. / Витеб. гос. технолог. ун-т. – Витебск. – 2003. – Ч.2. – С. 246–249.

9. Ходьков, А.А. Пылеулавливание с использованием винтовой поверхности / А.А. Ходьков, И.А. Тимонов // 48-я науч.-техн. конф. препод. и студ., посвященная 50-летию университета: мат. докл., Витебск, 29 апр. 2015 г. / Витеб. гос. технол. ун-т. – 2015. – С. 70-72.

Тезисы докладов

10. Ходьков, А.А. Уравнение движения пылевой частицы в пространстве, ограниченном винтовой поверхностью / В.В. Селивончик, И.А. Тимонов // 32-я науч.-техн. конф. препод. и студ. ВГТУ: тез. докл., ВГТУ, Витебск, 25 апр. 1999 г. / Витеб. гос. технол. ун-т. – 1999. – С. 114-115.

11. Ходьков, А.А. Винтовой горизонтальный пылеосадитель / А.А. Ходьков // VI Белорус. энергет. и эколог. конгресс НАН РБ: тез. докл., НАН РБ / НАН РБ. – 2001. – С. 117–120.

12. Ходьков, А.А. Винтовой пылеуловитель / А.А. Ходьков // 40-я науч.-техн. конф. препод. и студ. ВГТУ: тез. докл., Витебск, 16 апр. 2007 г. / Витеб. гос. технол. ун-т. – Витебск, 2007. – С. 125.

13. Ходьков, А.А. Пылеуловитель шнековый / С.С. Клименков, И.А. Тимонов // 32-я науч.-техн. конф. препод. и студ. ВГТУ: тез. докл., ВГТУ, Витебск, 25 апр. 1999 г. / Витеб. гос. технол. ун-т. – 1999. – С. 66–67.

Патенты

14. Устройство для очистки воздушного потока от пыли: пат. 3253 Респ. Беларусь, МПК В 01D 45 /00/ С.С. Клименков, И.А. Тимонов, А.А. Ходьков, А.С. Клименков: заявитель Витебский государственный технологический университет. – № 970230; заявл. 24.04.97; опубл. 30.03.2000 // Афицыйны бюл. / Дзяр. Патэнтны камітэт. – 2000. – № 1. – С. 139.

15. Пылеулавливающее устройство Патент 5599. Респ. Беларусь, МПК В 01D 45 /00/ С.С. Клименков, И.А. Тимонов, А.А. Ходьков, Е.А. Варгальёнок, Д.А. Банис: заявитель Витебский государственный технологический университет. – № а 20000197; заявл. 29.02.2000; опубл. 30.12.2003 // Афицыйны бюл. / Дзяр. Патэнтны камітэт. – 2003. – № 4 (39). – С. 118.

РЭЗІЮМЭ

Хадзькоў Андрэй Аляксеевіч

Ўлоўліванне пылу з выкарыстаннем вінтавой паверхні

Ключавыя словы: вінтавы пылаўлоўнік, матэматычная мадэль, даследаванне, распрацоўка, эксперымент, эфектыўнасць, перспектыва

Мэта працы – стварэнне і даследаванне вінтавога пылаўлоўніка..

Аб’ектам даследавання з’яўляецца працэс асаджэння пылу ў розных галінах прамысловасці.

Метады даследавання: распрацоўка канструкцыі пылаўлоўніка грунтавалася на аналізе існуючых пылаўлоўнікаў як айчынай так і замежнай вытворчасці. Пры выкананні тэарэтычных даследаванняў выкарыстоўваліся палажэнні вышэйшай матэматыкі, тэорыі абяспыльвання і матэматычнага мадэліравання. Была распрацавана матэматычная мадэль руху пылавой часціцы ў закручаным паветраным патоку са складаннем адпаведнай праграмы. Апрацоўка вынікаў тэарэтычных даследаванняў праводзілася з выкарыстаннем ЭВМ.

Атрыманныя вынікі і іх навізна: у выніку тэарэтычнага даследавання і правядзення эксперыментаў была распрацавана інжынерная методыка разліку асноўных рэжымна-канструктыўных параметраў вінтавых пылаўлоўнікаў розных тыпамераў. Апрацоўка вынікаў эксперыментаў праводзілася з выкарыстаннем метадаў матэматычнага аналізу на ЭВМ. На падставе атрыманых даных была створана доследна-прамысловая ўстаноўка шнэкавага пылаўлоўніка, якая паказала павышаную эфектыўнасць ачысткі для розных відаў пылу. Рабіўся дысперсны аналіз розных відаў пылу, якія выкарыстоўваліся пры правядзенні эксперыменту. Правядзенне эксперыментальных работ выконваліся на створаным лабараторна-выпрабавальным стэндзе па распрацаванай папярэдне методыцы правядзення эксперыменту. У працэсе выпрабаванняў апарата на стэндзе былі выяўлены залежнасці эфектыўнасці ачысткі, аэрадынамічнага супраціўлення ад рэжымна-канструктыўных параметраў пылаўлоўніка.

Быў зроблены параўнальны тэхніка-эканамічны аналіз распрацаванага вінтавога пылаўлоўніка з іншымі відамі інерцыйных пылаўлоўнікаў і вызначаны галіны прымянення апаратаў данай канструкцыі, зыходзячы з тэхналагічных магчымасцей.

Вобласць прымянення: распрацаваны вінтавы пылаўлоўнік быў укаранены на АП «ВІЗАС» г. Віцебска, Віцебскім механічным заводзе і ААТ «Вітрэмбыт».

РЕЗЮМЕ

Ходьков Андрей Алексеевич

Пылеулавливание с использованием винтовой поверхности

Ключевые слова: винтовой горизонтальный пылеуловитель, математическая модель, исследование, разработка, эксперимент, эффективность, перспектива.

Цель работы – разработка и создание винтового горизонтального пылеуловителя.

Объект исследования сухие неволокнистые пыли присутствующие в различных отраслях промышленности.

Методы исследования: разработка конструкции винтового пылеуловителя основывалась на анализе существующих пылеуловителей как отечественного, так и зарубежного производства. Результаты экспериментальных исследований были обработаны методом математической статистики с целью получения основных режимно-конструктивных зависимостей.

Полученные результаты и их новизна: в результате теоретических исследований и проведения экспериментов была разработана методика расчета основных конструктивно-технологических параметров винтовых пылеуловителей различных типоразмеров. Обработка результатов экспериментов проводилась с использованием методов математической статистики на ЭВМ. На основании полученных данных были созданы опытно-промышленные установки винтового пылеуловителя, которые показали повышенную эффективность очистки для различных видов пылей. Производился дисперсный анализ пылей, которые использовались при проведении эксперимента. Проведение экспериментальных работ выполнялось на созданном лабораторно-испытательном стенде по разработанной предварительно методике проведения эксперимента. В процессе испытаний аппарата на стенде были выявлены зависимости эффективности очистки, аэродинамического сопротивления от конструктивно-технологических параметров пылеуловителя. Был произведен сопоставительный технико-экономический анализ разработанного винтового пылеуловителя в сравнении с другими видами инерционных пылеуловителей, определены области применения аппаратов данной конструкции, исходя из технологических возможностей.

Область применения: разработанный винтовой горизонтальный пылеуловитель был внедрен на АП «ВИЗАС» г. Витебска и Витебском механическом заводе и ОАО «Витрембыт».

SUMMARY

Khodkov Andree Alecseevich

Dust separating with using of screw surface

Key words: screw dust collector, mathematical model, research, development, experiment, efficiency, prospect.

The purpose of work is to develop and create a screw horizontal dust collector.

Object of research is a dry fiber dust, which is present in a variety of industries.

Methods of research: development of the design of the screw of the dust collector was based on analysis of existing dust collectors both domestic and foreign production. The experimental results were processed by the method of mathematical statistics in order to obtain basic dependencies.

Research results and their novelty: as a result of theoretical research and experimentation a method of calculating the basic structural and technological parameters of screw dust collectors of different sizes was developed. The experimental results are processed on a computer using the methods of mathematical statistics. Based on these data have been created pilot plant screw dust collector having enhanced efficiency when cleaning different types of dust. Analysis of variance of dust particles used in experiment was carried out. The experimental work was carried out on a set of laboratory test rig in accordance with the established methodology of the experiment. During the tests were revealed depending which relate the cleaning efficiency and air resistance with various dust collector parameters.

Technical and economic analysis of the developed screw dust collector in comparison with other types of inertial dust collectors was carried out. Fields of application of such devices have been identified on the basis of technological capabilities.

Field of application: developed screw dust collector was introduced to the corporate enterprise «VIZAS» (Vitebsk), Vitebsk mechanical plant and Open Joint Stock Company «Vitreby».

Научное издание

ХОДЬКОВ
Андрей Алексеевич

**ПЫЛЕУЛАВЛИВАНИЕ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ
ВИНТОВОЙ ПОВЕРХНОСТИ**

Автореферат диссертации
на соискание ученой степени кандидата технических наук
по специальности 05.23.03 – Теплоснабжение, вентиляция, кондиционирование
воздуха, газоснабжение и освещение