

М 430088

НА ДОМ
НЕ ВЫДАЕТСЯ

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ СССР
Московское ордена Ленина, ордена Октябрьской Революции и
ордена Трудового Красного Знамени высшее техническое училище
имени Н.Э.Баумана

На правах рукописи

КАРПОВ ЕВГЕНИЙ БАСИЛЬЕВИЧ

УДК 621.928.37 (088.86)

ИССЛЕДОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА ПРОТИВОПОТОЧНОГО
РОТАЦИОННОГО ЦЕЛЕОТДЕЛИТЕЛЯ ТРАНСПОРТНЫХ
СИСТЕМ ВЕНТИЛЯЦИИ И КОНДИЦИОНИРОВАНИЯ.

(05.04.03—машины и аппараты холодильной
и криогенной техники и систем конди-
ционирования, 05.26.02—охрана труда)

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т
диссертации на соискание ученой
степени кандидата технических наук.

Москва - 1984г.

Работа выполнена в Московском ордена Ленина, ордена
Октябрьской Революции и ордена Трудового Красного Знамени высшем
техническом училище имени Н.Э.Баумана.

Научный руководитель - кандидат технических наук,
доцент СИВКОВ В.П.

Официальные оппоненты: доктор технических наук,
профессор Б.А.Иванов
кандидат технических наук
В.И.Крылов

Ведущее предприятие - ВИСХОМ

Защита диссертации состоится "29" апреля 1985 г.
на заседании специализированного Совета К 053.15.07 "Криогенные,
холодильные, гидравлические, вакуумные и компрессорные машины
и аппараты" МВТУ им.Н.Э.Баумана по адресу: 107005 Москва, Лефор-
товская наб., п. I корпус факультета Энергостроения, ауд.
406а.

С
Н.Э.Бау

ВТУ им.

А:
В:
высылат
специал

г.
р, просьба
.. д.5,

уч
СПЕЦИАЛ
К.

М4130088

Актуальность темы. В "Основных направлениях экономическо-го и социального развития СССР на 1981-1985 г.г. и на период до 1990 года", принятых на XXVI съезде КПСС, указано на необходимость: "...совершенствовать технологические процессы и транспортные средства с целью сокращения выбросов вредных веществ в окружающую среду и улучшения очистки отходящих газов от вредных выбросов. Увеличивать выпуск высокоэффективных газопылеулавливающих аппаратов. Предусмотреть улучшение охраны труда и техники безопасности...".

Для обеспечения эффективной защиты человека от пыли используют различные пылеулавливающие системы и аппараты. Наиболее полно современным требованиям очистки воздуха от пыли в системах вентиляции и кондиционирования удовлетворяют циклоны, отличающиеся своей простотой и пористые материалы, имеющие высокую эффективность очистки.

В настоящее время как в СССР, так и за рубежом, широко используются многоступенчатые системы очистки, появление которых вызвано отсутствием универсального пылеулавливающего устройства. Совершенствование же систем кондиционирования и вентиляции невозможно без создания пылеулавливающих аппаратов, объединяющих в себе простоту эксплуатации циклона и эффективность пористого материала. Наиболее остро данная проблема стоит в транспортных системах воздухообеспечения, где наряду с отмеченными характеристиками важную роль играют габаритные размеры и потребляемая мощность.

В связи с чем, создание пылеулавливающего аппарата для систем транспортной вентиляции и кондиционирования является актуальной задачей.

На роль такого устройства претендуют центробежные пылеотделители ротационного действия, которые позволяют совместить в одном агрегате высокую эффективность пылеулавливания и относительно малые габариты. Наряду с этим, они индифферентны к наличию капельной влаги, просты в эксплуатации. Отмеченная универсальность объясняется наличием поля центробежных сил высокой напряженности, создаваемой вращающимся ротором.

Наиболее перспективными считаются аппараты противопотоchnого типа, поскольку их сепарационная эффективность превосходит 95 и более процентов. При этом данные аппараты лишены износа колеса нагнетателя, имеют постоянные аэродинамические характеристики



и изготавливаются из легких материалов и их сплавов. Недостатком противоточного ротационного пылеотделителя (ПРП) является сложность и малая изученность процесса сепарации и аэродинамики проточной части и как следствие, отсутствие методики расчета, что и сдерживает внедрение последних в народное хозяйство.

Цель работы. Изыскание путей повышения эффективности ПРП.

Методы исследования. В настоящей работе теоретические методы исследования сочетались с экспериментальными. При теоретических исследованиях сепарационных возможностей ПРП применялся как метод Лагранжа для динамики точки в обобщенных координатах, так и более упрощенный, учитывающий лишь кинематику движения частицы в поле центробежных сил, но с учетом двухфазности потока. При исследовании аэродинамики ПРП использовался метод суперпозиции полей давлений.

Экспериментальные исследования проводились на опытной модели и на опытно-промышленных образцах ПРП.

Научная новизна. Выполнен математический анализ процесса сепарации в квазипотенциальном поле с учетом собственного вращения частицы. Разработана модель и метод расчета сепарационной эффективности ПРП с учетом двухфазности пылегазового потока. Установлен экспоненциальный закон изменения сепарационной эффективности ПРП от уровня начальной запыленности потока.

Результаты работы. Исследование ПРП позволило выявить влияние основных факторов на эффективность работы аппарата и определить пути его совершенствования. Экспериментальные исследования подтвердили обоснованность принятых технических решений, защищенных авторскими свидетельствами, направленных на повышение эффективности ПРП. Предложена методика расчета разработан-ных ПРП.

Практическая ценность. Теоретические и экспериментальные исследования, проведенные автором, позволяют разработать ПРП целевого назначения, определяемого требованиями потребителя. Установлена предпочтительная область эксплуатации ПРП в зависимости от входной запыленности потока, например, $0,1 \dots 0,2 \text{ г/м}^3$ для кварцевой пыли с удельной поверхностью $5600 \text{ см}^2/\text{г}$. Доказана возможность использования ПРП в качестве окончательной ступени очистки газа. ПРП, разработанный для системы транспортного кондиционирования, позволил повысить эффективность очистки воздуха

на 15-20% и полностью исключить техническое обслуживание системы обеспыливания. Экономический эффект от использования ПРП в системе кондиционирования комбайна составил 134,6 рубля в год на машину.

Апробация работы. Основные положения и результаты работы докладывались на научно-технических семинарах и ежегодных научно-технических конференциях по итогам научно-исследовательских работ, проводимых кафедрой "Охрана труда и окружающей среды" МВТУ им. Н.Э.Баумана (1980-1984), на семинаре "Задачи охраны окружающей среды" технико-экономического Совета Бауманского РК КПСС (Москва, 1982), на Всесоюзном научно-техническом семинаре "Защита воздушного бассейна от вредных выбросов предприятий машиностроения" (Москва, 1982), на Всесоюзном семинаре "Обеспыливающая вентиляция" (Москва, 1984).

Публикации. По теме диссертации опубликовано 7 печатных работ. Получено 10 авторских свидетельств. Основные разделы диссертации изложены также в трех научно-исследовательских отчетах.

Объем работы. Диссертационная работа изложена на 310 страницах машинописного текста, включает введение, пять глав, выводы, приложение на 63 страницах, иллюстрирована 98 рисунками на 86 страницах, 2 таблицами на 2 страницах. Список литературы содержит 101 наименование работ.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

В первой главе дан обзор литературы по теме диссертации и проведен ее анализ, сформулированы цели и задачи исследования. Установлено, что для защиты организма человека от вредного воздействия пыли в системах транспортной вентиляции и кондиционирования целесообразно использовать ротационные пылеотделители. Показано, что совершенствование конструкции центробежных пылеотделителей ротационного действия развивается в соответствии с тремя основными способами выделения пыли из потока газа: одинаковопоточного, накрестпоточного и противопоточного движения пыли и очищаемого газа.

В диссертации был осуществлен анализ работы трех основных типов пылеотделителей исходя из свойств самой сепарируемой пыли с целью выявления наиболее эффективного из них. Полученный вывод о преимуществах ПРП, реализующего принцип противотока пыли при центральном стоке газа, полностью согласуется с результа-

том анализа данных советской и зарубежной литературы, что подтверждается последними экспериментальными исследованиями, полученными на близких по механике сепарации-капельных аэрозолей.

Исследованиями данной группы устройств, предложенных в конце прошлого века (Р.Васк.), посвящены работы как отечественные (С.А.Пречистенский, В.Ю. Падва, И.Е.Идельчик, В.И.Фиксен, М.И.Лев, М.В.Василювский, Ф.М.Прудников, Л.В.Титов и др.), так и зарубежные ученых (F. Probač, R. Andrzejewski, K. Mikula). В выводах проведенных исследований указывается на необходимость совершенствования аэродинамики проточной части ПРП, а также изучение механики движения частиц аэрозоля в зоне сепарации ПРП.

Исследованиями аппаратов данного типа в МВТУ им.Н.Э.Баумана занимался Л.В.Титов, который показал, что сепарационные и аэродинамические характеристики существенным образом зависят от относительной неравномерности поля скоростей всасывания в ротор. Им была достигнута величина относительной неравномерности скоростей всасывания равная 28%. В тоже время, при исследовании Ф.М.Прудниковым сепарационных возможностей ПРП, был установлен минимальный размер сепарируемых частиц, равный 10 мкм. Как видно из теоретических предпосылок, основывающихся на равенстве центробежной силы силе лобового давления, эффективность данных аппаратов является абсолютной на любой по размеру пыли. Разработанная С.А.Пречистенским канальная теория сепарации приводит к значительным энергозатратам в аппаратах данного типа. Существующий вывод о не влиянии начальной концентрации пыли на сепарационную эффективность ПРП находится в противоречии с явлением накопления пыли в перфорации ротора, приводящим к росту скорости всасывания газа в ротор. В тоже время, существующие расчетные зависимости не позволяют оценить сепарационную эффективность ПРП в зависимости от формы ротора.

Вопросы аэродинамики ПРП настолько сложны, что допускают существование двух взаимоисключающих точек зрения: о применимости ПРП в низконапорных газовых системах и целесообразности применения ПРП лишь в высоконапорных газовых системах.

Проведенный анализ состояния вопроса позволяет сформулировать основные задачи исследования:

1. Исследование аэродинамики ПРП в зависимости от уровня относительной неравномерности скорости всасывания и подкрутки потока на входе в колесо.

2. Теоретическое и экспериментальное исследование сепарационной эффективности ПРП с учетом поведения частицы и поле скоростей ротора и влияния концентрированного характера пылевоздушной системы.

3. Рассмотрение влияния конструктивных особенностей исполнения ротора и ПРП в целом на сепарационную эффективность аппарата.

4. Экспериментальная проверка достоверности результатов теоретического исследования.

5. Разработка и создание методики расчета ПРП.

Вторая глава посвящена теоретическому исследованию ПРП.

Рассмотрение работы ПРП было начато с исследования поля скоростей всасывания на входе в ротор, поскольку гидравлические характеристики проточной части ротора и подводящего устройства определяют сепарационную и энергетическую эффективность ПРП.

Для определения скорости всасывания через боковую поверхность ротора начало декартовой системы координат было помещено на оси стоков в точке ее пересечения с плоскостью симметрии пространственного потока. Координаты точки боковой поверхности ротора обозначались X, Y, Z , а компоненты вектора скорости потока V_x, V_y, V_z . Элементарное количество воздуха, отсасываемого через бесконечно-малые площадки со сторонами dX_0, dY_0 , расположенные в плоскости отверстий на расстоянии X_0 и Y_0 от начала координат приняло следующий вид:

$$dQ = V_0 dX_0 dY_0$$

Элементарные скорости, создаваемые точечными стоками отверстий имеют следующее выражение:

$$dV_1 = \frac{dQ}{2\pi r_1^2}; \quad dV_2 = \frac{dQ}{2\pi r_2^2};$$

а их проекции на координатные оси выражаются следующими соотношениями:

$$\begin{aligned} dV_{x1} &= dV_1 \frac{X - X_0}{r_1}; & dV_{x2} &= \frac{dV_2 (X - X_0)}{r_2}; \\ dV_{y1} &= dV_1 \frac{Y - Y_0}{r_1}; & dV_{y2} &= \frac{dV_2 (Y - Y_0)}{r_2} \end{aligned}$$

$$dV_{z1} = dV_1 \frac{Z-Z_0}{Z_1} ; \quad dV_{z2} = dV_2 \frac{Z+Z_0}{Z_2} ;$$

где Z_1 и Z_2 - расстояния от рассматриваемой точки до соответствующих точечных стоков, т.е.

$$Z_1 = \sqrt{(X-X_0)^2 + (Y-Y_0)^2 + (Z-Z_0)^2}, \quad Z_2 = \sqrt{(X-X_0)^2 + (Y-Y_0)^2 + (Z+Z_0)^2}$$

Решив совместно полученные уравнения и суммируя действия от-
дельных точечных стоков по площади круговых отверстий O_1 и O_2
были получены выражения проекций результирующих скоростей воз-
душного потока на координатные оси.

Анализ полученных зависимостей, проведенный на ЭВМ, по-
казал существенную роль осевой (V_z) составляющей скорости всасы-
вания газа при входе в ротор, величина которой в централь-
ной по длине части ротора равна радиальной составляющей. С
целью устранения осевого стока над ротором было выполнено дис-
кретное разбиение входящего в ротор потока газа, что привело
к невозможности применения описанной ранее расчетной модели.
Рассмотрение процесса движения газа в модели, состоящей из пер-
форированного вращающегося ротора и наружной жалюзийной решет-
ки, позволило получить выражение для скорости всасывания газа
в ротор.

Анализ сепарационных возможностей ПРП показывает, что
внутри ротора в результате сохранения момента количества дви-
жения, сообщаемого просасываемому газу, существует поле выде-
ляющих сил, превосходящее по своей напряженности такое же по-
ле в самом роторе, поскольку ротор имеет пористость более еди-
ницы, что и вызывает существование большей по величине силы
аэродинамического давления.

Для оценки сепарационных возможностей ПРП было рассмот-
рено движение частицы пыли во внутреннем квазипотенциальном по-
ле. Особенностью представленной системы уравнений Лагранжа
II-го рода, записанной исходя из разбавленного характера систе-
мы "газ-частица", является использование в качестве внешних
сил уточненной силы сопротивления и силы подъемной миграции,
учитывающей поведение, именно, вращающейся частицы. Величина
силы сопротивления составляет, согласно анализу данных Г.И.Ху-
дыкова для вращающейся частицы, третью часть от значения силы,
полученного Стоксом.

$$\begin{cases} \frac{d}{d\tau} \left(\frac{\partial T}{\partial \dot{S}} \right) - \frac{\partial T}{\partial S} = \pi N r d_4 (V_s - \dot{S}) - \frac{\pi}{8} \rho r d_4^3 \omega_4 (V_n - \dot{n}) \\ \frac{d}{d\tau} \left(\frac{\partial T}{\partial \dot{n}} \right) - \frac{\partial T}{\partial n} = \pi N r d_4 (V_n - \dot{n}) + \frac{\pi}{8} \rho r d_4^3 \omega_4 (V_s - \dot{S}) \\ \frac{d}{d\tau} \left(\frac{\partial T}{\partial \dot{\varphi}} \right) - \frac{\partial T}{\partial \varphi} = \pi \mu r d_4^3 \omega_4 \end{cases}$$

где V_s и V_n – радиальная и тангенциальная скорости газа; T – кинетическая энергия частицы; S, n и $\dot{S}, \dot{n}$ – радиальная и тангенциальная координаты и скорости частицы; d_4 и ω_4 – диаметр и собственная частота вращения частицы; μ и ρ – динамическая вязкость и плотность газа.

Приводя систему к безразмерному виду при

$$\bar{S} = \frac{S}{R}; \bar{n} = \frac{n}{R}; \bar{V}_s = \frac{V_s}{\omega R}; \bar{V}_n = \frac{V_n}{\omega R}; \bar{\tau} = \tau \cdot \tau_M$$

где R и ω – радиус и частота вращения обечайки; $\tau_M = 18/\eta \rho_4 d_4^2$ – время релаксации; $Stk = \omega d_4^2 \rho_4 / 18 \mu$ – критерий Стокса, характеризующий соотношение между силами инерции частицы и сопротивления среды; $B = 0,75 \rho r \omega_4 / \rho_4 \omega$ – критерий подобия, характеризующий соотношение между силами подъемной миграции и инерции частицы; и проводя ее решение, используя начальные условия:

$$\bar{\tau} = 0; \bar{n} = 0; \bar{S} = 0; \bar{\dot{n}} = Stk \bar{V}_n / \Pi_p; \bar{\dot{S}} = Stk \bar{V}_s / \Pi_p$$

где Π_p – пористость обечайки;

было получено решение, указывающее на возможность сепарации частиц в области малых чисел Стокса ($Stk < 0,02$). Полученный результат объясняется определяющей ролью сил подъемной миграции в области малых расходов газа ($V_s < 0,03$). Таким образом, в случае разбавленного характера пылегазовой системы, ПП обладает абсолютной сепарационной эффективностью на любой по дисперсному составу пыли. При этом наименьшие расходные характеристики ПП имеет в области $0,02 \dots 0,035 Stk$, что обычно, соответствует условиям сепарации I-но-2-х микронной пыли.

Разработанный метод расчета ПП в случае разбавленных пылегазовых систем удалось применить для расчета высококонцентрированных смесей. В условии концентрированной аэрозольной системы частицы движутся облаком пыли. При решении системы дифференциальных уравнений, использовались граничные условия, учитывающие до-

полнительное накапливание пыли у внутренней поверхности ротора.

Образовавшийся подвижный пористый слой, у внутренней поверхности ротора, перекрывает радиальный сток газа, величина скорости частицы может быть представлена следующим выражением:

$$\dot{S} = Stk \bar{V}_s / \Pi_p \Pi_{cl}$$

где Π_{cl} — пористость подвижного слоя пыли.

В тангенциальном направлении, напротив, происходит движение частицы, только в облаке, исключая влияние границы самой обечайки

$$\dot{H} = Stk \bar{V}_n$$

Решая приведенную ранее систему уравнений для случая минимальной величины пористости слоя с учетом треугольной ($\Pi_{cl} = 0,093$) укладки при новых граничных условиях:

$$\bar{C} = 0; \bar{S} = 0; \bar{H} = 0; \dot{S} = Stk \bar{V}_s / \Pi_p \Pi_{cl}; \dot{H} = Stk \bar{V}_n$$

Имеем: для $Stk < 0,02$ $\bar{V}_s = 0,0065$

В результате решения установлено, что сепарационная эффективность ПРП практически равна нулю в зоне наиболее вредной для организма человека пыли 1–10 мкм.

Для оценки сепарационной эффективности ПРП в переходной области (от пористой обечайки $\Pi_p = 0,5$, до пористости слоя и обечайки $\Pi_p \Pi_{cl} = 0,05$) целесообразно рассматривать сепарационное поле, как двухфазную систему. Рассматривая элементарный объем газа dW в квазипотенциальном поле, ограниченный элементарным углом $d\varphi$ с толщиной dR и шириной L , равной длине ротора и исходя из уравнения баланса массы и количества частиц пыли сепарируемых в элементарном объеме, была получена зависимость для оценки эффективности очистки, указывающая на существование экспоненциального закона снижения сепарационных возможностей ПРП в зависимости от уровня начальной запыленности потока:

$$\eta_n = 1 - \exp \left[\frac{1}{2\pi r} \cdot \frac{V_{ng} + V_{so} \cos \alpha}{V_{so} \sin \alpha} \cdot \frac{L \Pi_p}{d_0} \cdot L n \frac{R_1}{R_0} \right]$$

где R_α и R_0 – радиусы границ зоны квазипотенциальности; α_0 – начальная запыленность потока; f – эмпирический коэффициент, учитывающий взаимодействие пылевого облака и центробежного поля, имеющий размерность начальной запыленности потока; α – угол, образованный вектором полной и тангенциальной составляющей скорости всасывания.

Полученная зависимость подтвердила выполненные ранее теоретические исследования, т.е. показала, что в случае разбавленного характера пылегазовой системы сепарационная эффективность ПРП стремится к абсолютному значению, а для концентрированной системы – стремится к нулю.

Предварительная очистка газа перед его входом в квазипотенциальное поле является актуальной задачей; возникла необходимость теоретического исследования предварительной очистки газа в самом роторе в зависимости от его исполнения.

Рассматривая работу ротора в условии концентрированной пылегазовой системы было установлено, что сепарационная эффективность каналов в форме щелей, образованных дисками выше, по сравнению с каналами, образованными цилиндрическими отверстиями.

Данный вывод согласуется с результатами известных экспериментальных исследований, выполненных С.А.Грузиенским и М.И.Шилевым.

Совместная работа сепаратора пыли и центробежного нагнетателя приводит к образованию на входе в колесо ПРП динамически уравновешенного потока, что снижает возможность получения рассчитанного по уравнению Эйлера теоретического напора (P_T). В связи с чем, элементарному объему газа dw , находящемуся в колесе, передается лишь часть энергии, вызванная разницей частот вращения, сообщаемых газу колесом и имеющихся в подкрученном ротором потоке.

Тогда

$$dP_T^* = \rho_r(\omega_k - \omega_p)^2 R dr$$

Производя интегрирование для случая квазипотенциального и квазитвердого вращения было установлено, что динамически уравновешенный поток приводит к снижению напора колеса нагнетателя P_T^*

$$P_T^* = (0.3...1) P_T$$

где

В третьей главе рассмотрена методика экспериментальных исследований ПРП. Приведено описание двух экспериментальных стендов, опытной модели пылеотделителя и контрольно-измерительной аппаратуры. Изложена методика проведения эксперимента, проведена оценка погрешностей измерений.

Первый стенд предназначен для получения экспериментальных данных необходимых для подтверждения полученной в работе исходной расчетной зависимости по определению поля скоростей всасывания через боковую поверхность ротора.

Стенд состоял из побудителя движения, выполненного в виде центробежного вентилятора, на входе которого установлена труба длиной 2,0 м с внутренним диаметром 0,132 м, оканчивающаяся фланцем, на котором, согласно выбранной теоретической модели течения, установлены две плоские пластины размером 0,9х0,9 м² соединенные по углам квадрата шпильками, позволяющими изменять расстояние между ними, причем в пластине, соединенной с фланцем выполнено центральное отверстие диаметром 0,132 м. Замер скорости всасывания по образующей ротора диаметром 0,132 м с пористостью $P=1$ проводился термоанемометром СКБ ЛИОТ с индикатором выполненным на базе цифрового милливольтметра. Диапазон измерения скоростей всасывания лежал в пределах от 5 до 20 м/сек.

Гидравлические, мощностные и сепарационные характеристики были сняты на втором стенде, состоящим из вентилятора, выполненного в виде мотор-весов и сообщенного своим входом с выходом многосекционной подводящей улитки, установленной над ротором, причем сам ротор имел отдельный привод, выполненный в виде мотор-весов на базе регулируемого двигателя постоянного тока. Мощность, потребляемая эл. двигателями, фиксировалась ваттметрами. Замеры давления на входе в ПРП проводились с использованием специально разработанной 36-канальной панели, выдающей сигнал от пневмометрических трубок на два образцовых микроманометра МНН-240. Замер давления на выходе ПРП проводился аналогично замерам по снятию характеристик центробежных вентиляторов и фиксировался на образцовых микроманометрах МНН-240. ПРП содержал тонкостенный перфорированный ротор диаметром 0,137 м с отношением длины к диаметру равно единице, обороты которого изменялись в пределах от 0 до 3000 об/мин и фиксировались элек-

тронным тахометром. Замер поля скоростей на срезе ротора проводился по описанной ранее схеме термоанемометром СКБ ЛИОТ. Расход воздуха изменялся от 50 до 700 м³/час и определялся путем пересчета показаний образцовых микроанометров МНН-240.

На входе в ПРП устанавливался взмучиватель пыли. Пробоотборники пыли располагались перед взмучивателем и на выходе из ПРП. Количество частиц на входе и на выходе ПРП определялась фотоэлектрическим счетчиком аэрозольных частиц (АЗ-5) и фиксировалась на электронносчетном частотомере. Эквикинетический отбор пробы обеспечивал аспиратором (модель 822) и лежал в пределах от 0,5 до 2,5 л/мин. Замеры были выполнены на кварцевой пыли плотностью 2650 кг/м³. Внутренний профиль проточной части и число секций в подводящей улитке изменялись в процессе эксперимента. Выравнивание спектра скоростей всасывания на входе в ПРП достигалось переменным по длине ротора регулируемым гидравлическим сопротивлением, представляющим собой двухсторонний шибер. Расход воздуха через пылеотводящую цель во время эксперимента равнялся нулю.

Четвертая глава посвящена экспериментальному исследованию опытной модели ПРП. В задачу экспериментальных исследований входило: проверка результатов теоретического анализа; выявление оптимальных режимов работы и определении путей повышения эффективности ПРП; отработка отдельных конструктивных элементов ПРП.

Проверка результатов теоретического исследования спектра скоростей всасывания показала возможность применения разработанного метода для оценки исходных спектров скоростей всасывания с ошибкой не более 7%.

Устранение вихреобразования в роторе и получение равномерного поля скоростей всасывания проводилась на модели ПРП, имеющей отношение длины ротора к диаметру равное единице. Число секций в подводящей улитке равнялось двенадцати, что позволило снизить относительную неравномерность расхода газа по длине ротора в 5,7 раза. Исследование проводилось по экспериментальной методике нахождения искомой величины гидравлического сопротивления двухстороннегошибера по длине ротора и обеспечило снижение гидравлического сопротивления на достижение равномерности в 8,7 раза. Величина относительной неравномерности скоростей всасывания, полученная от использования разработан-

ной методики, не превышала 3%.

В результате устранения вихреобразования удалось снизить коэффициент проскока 4-х микронных частиц в 1,85 раза. В то же время, в случае выравненного поля скоростей всасывания, сепарационная эффективность ПРП, определяется минимыми сепарационными траекториями движения, т.е. траекториями, имеющими лишь одну точку касания с внутренней поверхностью обечайки ротора. В результате испытаний ПРП на кварцевой пыли с удельной поверхностью $5600 \text{ см}^2/\text{г}$ была подтверждена возможность сепарации частиц микронного размера. При уменьшении чисел Стокса до 0,02 и менее имеет место возрастание расходной скорости газа, обеспечивающей абсолютную эффективность очистки. Экспериментальное подтверждение получил также и экспоненциальный закон снижения сепарационной эффективности очистки от уровня начальной запыленности потока.

В процессе исследования была установлена граница существования разбавленной пылегазовой системы в условиях противопоточной ротационной сепарации, которая лимитируется концентрацией $0,1 \dots 0,2 \text{ г/м}^3$. При запыленности равной $10 \text{--} 12 \text{ г/м}^3$ сепарационные возможности внутреннего квазипотенциального поля, создаваемого обечайкой ротора, не превышает нескольких процентов, что указывает на стабильный характер образования подвижного пористого слоя. Введение, покрывающей ротор, заслонки позволяет повысить сепарационную эффективность при запыленности потока 1 г/м^3 в два раза, а при запыленности 3 г/м^3 в 10 раз.

Повышение сепарационной эффективности в переходной зоне достигается как варьированием параметров, входящих в выражение коэффициента сепарационной эффективности, например, вводом запыленного потока в зону сепарации под углом α , изменяющимся от 0 до 45 градусов, так и самой формой ротора. Использование дисковой формы ротора в условиях повышенной запыленности, является наиболее предпочтительной.

Анализ результатов изменения величины избыточного напора, развиваемого ПРП, показал его снижение, достигающее $1,8 \dots 2,5$ раза при практически пропорциональном снижении потребляемой мощности. В случае же установки отводящей улитки на выходе из ротора происходит снижение гидравлического сопротивления ПРП. Сравнение показывает, что ПРП в раздельном исполнении более выгоден, причем повышение напора нагнетателя достигает $2 \dots 15$

раза по сравнению с совместным исполнением. Таким образом, экспериментальное подтверждение получили основные результаты теоретических исследований ПРП, направленные на повышение его эффективности.

В пятой главе рассмотрены возможные области применения ПРП и приведены результаты его опытно-промышленных испытаний. Представлена методика расчета разработанных ПРП.

К разряду наиболее перспективных областей применения ПРП следует отнести буровую технику, где для обеспечения санитарных норм рабочей зоны, используется многоступенчатая система пылеулавливания, приводящая к нехватке располагаемого перепада давления на очистку используемого воздуха. В связи с чем, был испытан опытно-промышленный образец ПРП с отводящей улиткой, позволивший на расчетном режиме снизить гидравлическое сопротивление ПРП в 3 раза.

Системы транспортной вентиляции и кондиционирования воздуха наряду с компактностью пылеулавливающего оборудования, предъявляют повышенные требования к его надежности при эксплуатации и простоте при обслуживании. Исходя из этого был разработан и испытан ПРП для системы вентиляции зерноуборочной техники, имеющей раздельное соосное исполнение сепаратора пыли и побудителя движения воздуха. В пространство между ротором и нагнетателем была помещена спрямляющая решетка, позволившая при постоянстве габаритных размеров, получить увеличение развиваемого напора в 2 раза.

Воздухоочистка в двигателе является наиболее важным направлением совершенствования систем обеспыливания, где использование фильтроматериалов не решает задачу, а приводит к периодической остановке двигателя, что не всегда является удобным.

В связи с чем, был разработан ПРП с приводом от турбины, установленной в потоке очищенного воздуха в центральной части ротора.

Экономический эффект от внедрения ПРП в системе вентиляции комбайнов серии "ДОН" составляет 134,6 рубля в год на машину.

ВЫВОДЫ

1. Установлено, что одним из определяющих факторов снижения эффективности противопоточных ротационных пылеотделителей является, изменяющаяся вдоль боковой поверхности ротора по ве

личине и направлению скорость всасывания газа. Степень неравномерности поля скоростей всасывания зависит от соотношения между диаметром ротора, диаметром вытяжного отверстия, рабочей длиной ротора и наличия осевого стока, устранение которого обеспечивает снижение относительной неравномерности расхода газа по длине ротора в 5,7 раза.

2. Доказана целесообразность использования статического переменного регулируемого гидравлического сопротивления для достижения равномерного поля скоростей всасывания, приводящая к снижению энергозатрат на достижение равномерности в 8,7 раза.

3. Использование шелевой подводящей улитки со входным переменным регулируемым сопротивлением позволяет снизить относительную неравномерность поля скоростей всасывания до 3% и полностью исключить кольцевой вихрь, что приводит к уменьшению коэффициента проскока, например, кварцевой четырехмикронной пыли в 1,86 раза.

4. Доказана теоретически и подтверждена экспериментально необходимость расчета процесса сепарации в ПРП с учетом собственного вращения частицы. Установлено, что эффективность ПРП в микронной области имеет минимум, отличный от нуля, что обеспечивает применение ПРП в качестве окончательной ступени очистки.

5. Установлено, что увеличение входной концентрации пыли более 100 мг/м^3 приводит к экспоненциальному снижению эффективности очистки ротором ПРП, а устранение, накопившейся в вихревом движении пыли, обеспечивает повышение сепарационной эффективности до 10 раз. При этом, в случае разбавленной пылегазовой системы следует использовать в ПРП ротор обещающего типа, а в случае концентрированной — дискового типа.

6. Доказана теоретически и подтверждена экспериментально необходимость ввода запыленного потока газа в зону сепарации под углом от 0 до 45 градусов, образованным осью потока с тангенциально^ю составляющей скорости всасывания.

7. Теоретический напор, развиваемый ПРП, составляет 0,3...1 напора вентилятора, что устраняется введением выравнивающих потоков устройств между центробежным вентилятором и сепарирующим ротором.

8. Показана целесообразность применения ПРП с турбоприводом в очищенном потоке для системы воздухоочистки двигателя и отходящей улитки для систем вентиляции, обеспечивающей повышение из-

быточного напора нагнетателя в 2 и более раз по сравнению с совместным исполнением сепаратора пыли и побудителя движения.

9. Предложенная математическая модель ПРП для случая слабо, средне и высоконцентрированных пылегазовых систем удовлетворительно согласуется с результатами эксперимента. Расчетные и экспериментальные значения характеристик отдельных образцов, выполненные по разработанной методике, различаются не более, чем на 10-12%.

10. Созданные опытно-промышленные образцы ПРП для систем вентиляции, транспортного кондиционирования и воздухообеспечения двигателя проверили работоспособность новых элементов и всей конструкции в целом. Результаты исследования внедрены на ряде предприятий: ЛЗОС, РОСТСЕЛЬМАШ и др. Экономический эффект от внедрения ПРП в системе вентиляции комбайна "ДОН" составляет 134,6 рубля в год на машину.

Основные положения диссертации изложены в следующих публикациях:

1. Сивков В.П., Карпов Е.В. Определение поля скоростей всасывания в ПРП - Изв. ВУЗов. Машиностроение, 1982, №9, с.85-90.
2. Карпов Е.В., Сивков В.П. Определение спектра скоростей всасывания систем местных отсосов.- Защита воздушного бассейна от вредных выбросов предприятий машиностроения: Тез.докл. - Всесоюзн. научно-техн.семинар. - М.: ЦИТИХИМНЕФТЕМАШ, 1982, с. 19.
3. Карпов Е.В., Сивков В.П. Анализ сепарационных способностей противопоточных ротационных пылеотделителей.- Защита воздушного бассейна от вредных выбросов предприятий машиностроения. - Тез. докл. Всесоюзн. научно-техн. семинар.- М.: ЦИТИХИМНЕФТЕМАШ, 1982, с.30-31.
4. Карпов Е.В., Сивков В.П. Теоретическое исследование сепарационных возможностей противопоточного ротационного пылеотделителя. Депонир. рукопись - М.: ЦИТИХИМНЕФТЕМАШ, 1983, №1083, 30 с.
5. Карпов Е.В., Сивков В.П. О сепарационной эффективности противопоточного ротационного пылеотделителя.- Очистка газовых выбросов на предприятиях различных отраслей промышленности: Тез. докл. Всесоюзн.конф.- М.:ЦИТИХИМНЕФТЕМАШ, 1983, с.30.
6. Сивков В.П., Карпов Е.В., Смирнов Н.А. Расчет центробежного ротационного пылеотделителя.- Сб. типовых расчетов по курсу "Охрана труда" /Под ред. С.В.Белова, А.Ф.Козьякова- М.: МВТУ им. Н.Э.Баумана, 1983, с.3-8.

7. Карпов Е.В., Сивков В.П. Интенсификация процесса сепарации в противопоточном ротационном пылеотделителе. - Обеспыливающая вентиляция - М.: МДНТП, 1984, № 4, с.107-109.
8. А.с. 610545 (СССР). Центробежный ротационный пылеотделитель /Авт.изобрет. Е.В.Карпов, А.А.Афонин.- Заявл. 23.01.76, № 2316735/26; опубл. в Б.И., 1978, № 22, МКИ ВОИД 45/14.
9. А.с. 614804 (СССР). Центробежный ротационный пылеотделитель. /Авт.изобрет. Е.В.Карпов, А.А.Афонин. - Заявл. 18.10.76, № 2412348/26; Опубл. в Б.И., 1978, № 26; МКИ ВОИД /45/14.
10. А.с. 682250 (СССР)'. Центробежный ротационный пылеотделитель. /Авт. изобрет. Е.В.Карпов, А.А.Афонин. - Заявл. 28.11.77, № 2546811/26; Опубл. в Б.И., 1979, № 32; МКИ ВОИД 45/14.
11. А.с. 919714 (СССР). Центробежный пылевлагоотделитель /Авт. изобрет. Е.В. Карпов, В.П.Сивков, Ю.А.Новосельский. - Заявл. 29.07.80, № 2962276/26-23; Опубл. в Б.И., 1982, № 14; МКИ ВОИД 45/12.
12. А.с. 925371 (СССР). Центробежный пылевлагоотделитель. /Авт. изобрет. Е.В.Карпов, В.П.Николаев, В.П.Сивков, Ю.А.Новосельский. - Заявл. 29.07.80, № 2962277/26; Опубл. в Б.И. 1982, № 17, МКИ ВОИД 45/12.
13. А.с. 948405 (СССР). Центробежный пылевлагоотделитель /Авт. изобрет. Е.В.Карпов, В.П.Николаев, В.Н.Воробьев, В.П.Сивков, Ю.А.Новосельский. - Заявл. 28.11.80, № 3228220/23-26; Опубл. в Б.И., 1982, № 29, МКИ ВОИД 45/12.
14. А.с. 952293 (СССР). Центробежный пылевлагоотделитель для очистки воздуха. /Авт. изобрет. Е.В.Карпов, В.П.Сивков, Ю.А.Новосельский. - Заявл. 28.11.80, № 3228386/23-26; Опубл. в Б.И., 1982, № 31, МКИ ВОИД 45/12.
15. А.с. 967522 (СССР). Центробежный пылевлагоотделитель. /Авт. изобрет. Е.В.Карпов, В.П.Николаев, В.П.Сивков, В.И.Воробьев, Ю.А.Новосельский. - Заявл. 28.11.80, № 3228389/26; Опубл. в Б.И., 1982, № 39; МКИ ВОИД 45/12.

З.А. Жуков

Л-96570

Подписано к печати. 23.04.85. Заказ № 584 Объем I п.л. Тираж 100 экз.

Типография МВТУ им. Н.Э.Баумана, 107006, Москва, 2-я Бауманская, 5

