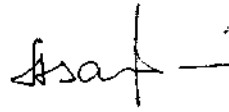


АЗАРОВ ВАЛЕРИЙ НИКОЛАЕВИЧ



КОМПЛЕКСНАЯ ОЦЕНКА ПЫЛЕВОЙ ОБСТАНОВКИ И  
РАЗРАБОТКА МЕР ПО СНИЖЕНИЮ ЗАПЫЛЕННОСТИ  
ВОЗДУШНОЙ СРЕДЫ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

05.26.01 - Охрана труда (строительство)

03.00.16 - Экология

Автореферат диссертации  
на соискание ученой степени доктора технических наук

г. Ростов-на-Дону - 2004

Работа выполнена в Ростовском государственном строительном университете

Научный консультант

доктор технических наук, профессор Богуславский Евгений Иосифович

Официальные оппоненты

доктор технических наук, профессор Коптев Дмитрий Васильевич

доктор технических наук, профессор Водяник Виктор Иванович

доктор технических наук, профессор Мензелинцев Надежда Васильевна

Ведущая организация -


Всероссийский центр охраны труда (г. Москва)

Защита состоится " 6 " февраля 2004г. в 15 часов на заседании специализированного совета Д212.207.03 в Ростовском государственном строительном университете по адресу: 344022, г. Ростов-на-Дону, ул. Социалистическая, 162, аудитория 1049.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Ростовского государственного строительного университета.

Автореферат разослан " 5 " января 2004г.

Ученый секретарь  
диссертационного совета,  
канд. техн. наук,  
профессор



Пушенко Сергей Леонардович

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность проблемы.** При осуществлении многих технологических процессов, в частности, при дроблении, истирании, транспортировке порошкообразного сырья и продуктов и т. д., в рабочие зоны предприятий выделяется большое количество мелкодисперсной пыли. При этом особую группу составляют производства, на которых зоны загрязнения пылевыми выбросами от организованных и неорганизованных источников совпадают также с рабочими зонами, расположенными на промышленных площадках (асфальтобетонные заводы, заводы железобетонных изделий и др.). Поэтому при анализе пылевой обстановки в таких случаях приходится одновременно решать проблемы охраны труда и охраны окружающей среды.

В настоящее время достаточно изучен патогенез воздействия пылевых частиц на организм работающего, причем их размер является очень важным фактором. Особую опасность представляют респираторные и трахеобронхиальные пылинки, способные проникать в альвеолы и в периферии легкого. В мировой практике с учетом рекомендаций Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ) в ряде стран осуществлен переход на нормирование содержания в воздушной среде частиц пыли с размерами не более 2,5 мкм и (или) 10 мкм. В Российской Федерации в настоящее время нормирование запыленности воздушной среды осуществляется без учета конкретного дисперсного состава пыли.

Разработка эффективных инженерных решений по защите работающих от пыли помимо теоретических и экспериментальных исследований закономерностей, связанных с процессами выделения, распространения, оседания, улавливания пыли, требует объективной оценки пылевой обстановки. Комплексно в общем случае оценить пылевую обстановку на предприятиях возможно только при наличии данных о физико-химических свойствах пыли, интенсивности образования и выделения пыли от организованных и неорганизованных источников, распределении концентраций пыли, о пылевом балансе для изолированных объемов, об оценке риска превышения нормативных концентраций пыли в рабочих зонах и влиянии ее на оценку риска заболевания работающих.

Несмотря на многие теоретические исследования и практические разработки в этом направлении, в настоящее время отсутствует единая методология комплексной оценки пылевой обстановки на предприятиях.

Процессы, связанные с выделением, распространением, оседанием, улавливанием пыли, имеют стохастическую природу. Поэтому представляется \* перспективным комплексно оценивать пылевую обстановку с использованием

методов классической теории вероятности и аппарата теории случайных процессов. Это позволяет более точно охарактеризовать пылевую обстановку на предприятии и решать целый ряд конкретных задач с учетом различных факторов.

Работа выполнялась в соответствии с тематическим планом научно-исследовательских работ Экологического фонда Волгоградской области по комплексной целевой программе развития Волгоградского природоохранного комплекса Администрации Волгоградской области, а также тематическими планами научно-исследовательских работ Ростовского государственного строительного университета и Волгоградской государственной архитектурно-строительной академии.

**Цель работы.** Совершенствование системы комплексной оценки пылевой обстановки промышленных предприятий и разработка мер (на ее основе) по снижению пылевых выбросов в производственную и окружающую среду с целью минимизации их вредного воздействия на здоровье работающих.

Для достижения цели решались следующие задачи:

- анализ основных факторов, обуславливающих формирование пылевой обстановки на предприятии, для оценки которых необходимо рассматривать дисперсный состав и фракционную концентрацию пыли как случайные величины;
- разработка математических моделей, описывающих общую и фракционную концентрации, характеристики фракционного состава пыли в воздухе рабочих зон, инженерно-экологических системах, а также описывающих параметры, характеризующие пылевую обстановку производств;
- совершенствование методики анализа дисперсного состава пыли различных производств (строительная индустрия, химия, нефтехимия, металлургия, переработка зерна и др.) на основе микроскопического метода с применением ПК и использованием разработанной программы обработки изображений частиц;
- анализ общей эффективности пылеочистки инерционных аппаратов в реальных условиях функционирования технических средств как источников загрязнения, когда общая концентрация и дисперсный состав пыли в газозо-воздушном потоке, поступающем на очистку, являются соответственно стохастической величиной и случайной функцией;
- разработка методики комплексного обследования предприятий как источников загрязнения воздушной среды пылью и ее апробация на предприятиях строительной индустрии и других отраслей промышленности;

- разработка комплекса технических мероприятий, в том числе совершенствование методов проектирования инженерно-экологических систем с использованием аппаратов со встречными закрученными потоками для снижения негативного воздействия мелкодисперсной пыли на здоровье людей и окружающую среду.

**Основная идея работы** состоит в использовании вероятностно-стохастического подхода для прогнозирования состояния воздушной среды на промышленных предприятиях и разработки мер по ее улучшению, а также для оценки эффективности систем обеспыливания и пылеочистки, в том числе при выделении мелких, наиболее опасных для здоровья работающих, фракций пыли.

**Методы исследования** включали: аналитическое обобщение известных научных и технических результатов, математическое и физическое моделирование, обработку данных экспериментов методами математической статистики с применением ПК, сопоставление полученных результатов экспериментальных исследований, выполненных в лабораторных и промышленных условиях, с результатами, полученными другими авторами.

**Научная новизна** наиболее существенных результатов работы и их значимость состоят в том, что:

- обосновано представление фракционной концентрации и функций дисперсного состава пыли в воздухе рабочих, санитарно-защитных зон, в инженерно-экологических системах предприятий как случайных функций;
- обосновано представление общей эффективности пылеочистки в реальных условиях функционирования инженерно-экологических систем как случайной величины;
- разработана методология комплексной оценки пылевой обстановки с учетом стохастичности процесса массопереноса пылевых фракций, дисперсного состава и общей концентрации пыли, а также дифференцированного подхода к мелким и крупным фракциям;
- обоснованы методы проектирования инженерно-экологических систем с учетом рекомендуемого ВОЗ подхода к нормированию качества воздушной среды на основе регламентирования концентраций мелких фракций;
- получена аналитическая зависимость, характеризующая риск превышения возможных нормативных параметров по фракционной запыленности на основании общей концентрации и Дисперсного состава;

- разработаны стохастические модели и получены аналитические зависимости, описывающие закономерности процессов массопереноса пыли от технологического оборудования и низко расположенных неорганизованных источников пылевых выбросов; экспериментально получены зависимости, характеризующие процессы выделения и оседания пыли;
- разработаны стохастические модели и получены аналитические зависимости, характеризующие процессы пылеочистки в вихревых инерционных аппаратах со встречными закрученными потоками (ВЗП) различных модификаций; экспериментально получены зависимости, описывающие конструктивные и режимные параметры аппаратов ВЗП.

**Достоверность научных положений,** выводов и рекомендаций обоснована применением классических положений теории механики аэрозолей, использованием современных методик исследования, сходимостью аналитических и экспериментальных результатов (относительная погрешность не более  $\pm 15\%$  при доверительной вероятности 0,95) и получением прогнозируемого эффекта в практическом использовании.

**Практическое значение** работы заключается в следующем:

- на базе предложенной методологии разработаны рекомендации по комплексной оценке пылевой обстановки на промышленных предприятиях, включающей в себя: оценку запыленности воздуха в рабочих зонах; описание фракционной концентрации и дисперсного состава пыли в воздухе рабочих зон; оценку герметичности технологического оборудования и т.д.;
- разработана, апробирована и внедрена методика теоретического и экспериментального определения мощности пылевыделения от технологического оборудования с целью оценки его герметичности, достаточности мероприятий по обеспыливанию и взрывопожароопасности производств;
- разработана, апробирована и внедрена методика дисперсионного анализа пыли в воздухе рабочих зон предприятий и в инженерно-экологических системах с использованием цифровой обработки изображения частиц, новизна которой подтверждена свидетельством об аттестации методики о выполнении измерений Госстандарта России № 18-03;
- разработан модифицированный ряд аппаратов на встречных закрученных потоках (пылеуловители, разделители-концентраторы, пылеуловители-коллекторы, отвеиватели и др.), предназначенных для снижения пылевых выбросов в воздушную среду, а также для снижения антропогенного воздействия отходов, образующихся в системах пылеочистки, новизну которых

подтверждают патенты и авторские свидетельства на изобретения, а также патенты и свидетельства на полезные модели;

- разработаны, апробированы и внедрены схемы компоновки инженерно-экологических систем с аппаратами пылеочистки и отвеивания на встречных закрученных потоках и системы аэродинамического разделения пылевидных отходов, новизну которых подтверждают патенты на изобретение, патенты и свидетельства на полезные модели.

#### **Реализация результатов работы:**

- на основании результатов обследований, проведенных по разработанной и апробированной методике, выработаны и практически реализованы рекомендации по улучшению условий труда на рабочих местах, повышению эффективности и надежности инженерно-экологических систем следующих производств: асбестоцементных изделий (г. Тамбов, г. Михайловка), железобетонных изделий (г. Волгоград, г. Астрахань), асфальтобетонных заводов (в Волгоградской области — 12 предприятий), заводов технического углерода (г. Волгоград, г. Иваново, г. Ярославль, г. Сызрань, г. Ставрополь и др.), подготовительных цехов производств шин и РТИ (г. Волжский, г. Барнаул, г. Нижнекамск и др.), на предприятиях по хранению и переработке зерна (в Волгоградской области - 27 предприятий, в Астраханской области, Республики Калмыкия) и др.;
- внедрено более 250 аппаратов со встречными закрученными потоками различных модификаций (вихревые пылеуловители, коллекторы-пылеуловители, разделители-концентраторы, аппараты по разделению пылевидных отходов) на предприятиях стройиндустрии (г. Волгоград, г. Михайловка Волгоградской области, г. Элиста, г. Ярославль, Краснодарский край, г. Рудный, Черновицкая область и др.), алюминиевой промышленности (г. Волгоград, г. Самара и др.), предприятиях по хранению и переработке зерна (г. Волгоград, г. Суровикино, г. Михайловка, г. Калач-на-Дону, Городищенский район Волгоградской области, г. Элиста, г. Астрахань и др.), на производстве карбида кальция (г. Волгоград), на комбикормовых производствах Волгоградской области (Иловлинский и Михайловский районы и др.), на предприятиях, производящих и потребляющих технический углерод (г. Волжский, г. Воронеж, г. Барнаул, г. Балаково, г. Ярославль, г. Горловка и др.), и на ряде других производств.

#### **На защиту выносятся:**

- стохастические модели и аналитические зависимости, описывающие

процессы массопереноса пылевых частиц в воздухе рабочих, санитарно-защитных зон. в аппаратах со встречными закрученными потоками различных модификаций;

- оценка дисперсного состава пыли и фракционной концентрации как случайных функций и общей эффективности пылеочистных устройств как случайной величины;
- методология комплексной оценки пылевой обстановки на промышленных предприятиях;
- результаты экспериментальных и опытно-промышленных исследований пылевой обстановки, аппаратов пылеочистки;
- аналитические и статистические зависимости, характеризующие риск превышения возможных нормативных параметров по фракционной запыленности воздушной среды.

**Апробация работы.** Основные положения и результаты работы с 1976 по 2003 годы докладывались и получили одобрение на международных конференциях (г. Санкт-Петербург, г. Волгоград, г. Ростов-на-Дону, г. Пенза, г. Нижнекамск, Швеция, Финляндия, Норвегия, Турция), на Всесоюзных совещаниях и Всероссийских семинарах по проблемам охраны воздушного бассейна и охраны труда (г. Москва, г. Самарканд, г. Ереван, г. Ростов-на-Дону), на межреспубликанской, межотраслевой, областных и вузовских конференциях (г. Москва, г. Санкт-Петербург, г. Рига, г. Пенза, г. Волгоград, г. Волжский), на региональных и областных семинарах (г. Санкт-Петербург, г. Пенза, г. Волгоград), на технических совещаниях различных предприятий (г. Барнаул, г. Волгоград, г. Воронеж, г. Иваново, г. Ярославль и пр.).

**Публикации.** Основные результаты диссертационных исследований изложены в 145 работах, в том числе: в 1 монографии, в 2 тематических обзорах, 112 статьях, 27 авторских свидетельствах и патентах на изобретение, патентах и свидетельствах на полезную модель, в 1 свидетельстве об аттестации методики выполнения измерений, а также научно-технических отчетах.

**Объем и структура работы.** Диссертация состоит из введения, шести глав, выводов, списка использованной литературы и приложений. Общий объем работы - 597 страниц, в том числе: 334 страницы - основной текст, содержащий 142 рисунка на 114 страницах и 41 таблицу на 42 страницах; список литературы из 357 наименований на 30 страницах; 11 приложений на 263 страницах.



## ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Пылевую обстановку на предприятиях строительной индустрии и в других отраслях промышленности можно рассматривать в частном и общем случаях. В частном случае обычно под пылевой обстановкой понимают ситуацию только в рабочих зонах внутри производственных помещений, и ее оценка включает: исследование закономерностей распределения концентраций пыли в воздухе рабочей зоны; анализ свойств пыли (физико-химические свойства, дисперсный состав и др.); составление пылевого баланса для изолированных помещений в целом и оценку таких его важных составляющих, как мощность пылевыделений от технологического оборудования в рабочую зону и интенсивность пылеоседания по всей площади этих помещений. В общем случае, например, для производств, у которых зоны загрязнения пылевыми выбросами от организованных и неорганизованных источников пересекаются с рабочими зонами, расположенными на территории промышленных площадок в оценку пылевой обстановки, кроме выше перечисленного, включают оценку мощности пылевых выбросов в атмосферу, оценку эффективности систем пылеочистки, исследование закономерностей распределения концентрации пыли в атмосфере и т. д. Изучением различных аспектов этих вопросов успешно занимались: Н.А. Фукс, М.П. Калинушкин, Л.С. Клячко, П.А. Коузов, Д.В. Коптев, Е.И. Богуславский, Е.А. Штокман, В.П. Журавлев, В.А. Минко, В.И. Беспалов и другие ученые. Однако для общего случая пылевой обстановки с учетом стохастичности реальных производственных процессов исследований проведено недостаточно.

Важную роль в снижении пылевого загрязнения для ряда предприятий стройиндустрии и других отраслей промышленности играют средства инерционной пылеочистки. Вопросами совершенствования процессов пылеочистки в центробежном поле занимались: А.И. Пирумов, П.А. Коузов, Е.П. Медников, Б.С. Сажин, В.Л. Успенский, Д.В. Коптев, Е.И. Богуславский, Л.И. Гудим, Э. В. Шургалский, А.С. Латкин, А.В. Акулич и многие другие исследователи. Однако разработка новых конструкций аппаратов и появление на их основе схем обеспыливания требует дальнейшего расширения научных исследований.

Проведенный анализ пылевой обстановки, характерной для предприятий строительной индустрии, подходов к нормированию качества атмосферного

воздуха по содержанию твердых частиц, принятых в мировой практике, влияния различных параметров на фракционный состав, фракционную и общую концентрацию пыли в воздухе рабочей зоны, существующих методов описания дисперсного состава пыли, опыта применения стохастических методов и опыта конструирования аппаратов со встречными закрученными потоками позволили выделить основные факторы, обуславливающие формирование пылевой обстановки на предприятии. Для комплексной оценки последней на основе выявленных факторов и разработки мер по ее улучшению с позиций единого подхода выработана методология, включающая следующие блоки:

- блок теоретических моделей, которые могут быть применены для описания состояния воздушной среды в рабочих зонах промышленных предприятий и для описания параметров функционирования инженерно-экологических систем;
- информационный блок, включающий способы, приемы и методики сбора исходных данных, в том числе методики выполнения измерений и обработки полученных данных, позволяющие получить информацию о пылевой обстановке на промышленных предприятиях в полном объеме для выработки конкретных мероприятий по ее улучшению;
- блок моделей технических решений, которые могут быть применены в том или ином случае для улучшения пылевой обстановки на предприятии;
- блок моделей для реализации технических решений по улучшению пылевой обстановки на предприятии и оценки их эффективности.

Комплексная оценка пылевой обстановки предполагает :

- исследование физико-химических свойств пыли;
- определение мощности образования и выделений пылевых частиц от различных источников;
- установление распределения концентраций пыли в воздушной среде;
- анализ пылевого баланса для изолированных объемов;
- расчет риска превышения возможных нормативов фракционных концентраций;
- оценка риска заболеваемости работающих.

Для формирования блока теоретических моделей необходимо: составление вероятностных моделей, описывающих общую и фракционную концентрации и характеристики дисперсного состава пыли в воздухе рабочих зон, инженерно-экологических системах, а также описывающих параметры, характеризующие

пылевую обстановку; разработка стохастических моделей, описывающих закономерности массопереноса частиц пыли, выбивающейся от технологического оборудования и от низко расположенных источников неорганизованных выбросов; составление стохастических моделей, описывающих закономерности процессов улавливания в разработанных инерционных вихревых аппаратах со встречными закрученными потоками различных модификаций. Информационный блок включает в себя: совершенствование методики анализа дисперсного состава пыли на основе микроскопического метода с применением ПК и использованием авторской программы обработки изображений частиц; апробацию обобщенного подхода к оценке дисперсного состава пыли различных производств; разработку методики оценки технологического оборудования как источника пылевыделения. В зависимости от пылевой обстановки на предприятии вырабатывается блок технических решений, который может включать: разработку модифицированного ряда вихревых инерционных аппаратов со встречными закрученными потоками и аппаратов отвеивания и разделения пылевидных отходов; совершенствование способов укрытий неорганизованных источников выбросов; совершенствование систем аспирации и пневмоуборки. Блок моделей реализации технических решений и оценки их эффективности включает задачи, связанные с выбором конкретного проектного решения, с анализом опыта пуско-наладочных работ и выработкой рекомендаций по повышению герметичности оборудования и эффективности систем обеспыливания, оптимизацией режимов работы аппаратов со встречными закрученными потоками и других инженерно-экологических систем.

В настоящее время в теории и практике оценки пылевой обстановки в рабочей зоне предприятий и условий функционирования инженерно-экологических систем принят детерминированный подход к измерению и описанию дисперсного состава пыли, который представляется в виде дифференциальных или интегральных кривых как содержание среднего числа частиц данного размера или их массы. Считается, что для целого ряда расчетов, в которых используются результаты анализа дисперсного состава, удобно аналитическое описание функций распределения частиц по размерам. Например, наиболее часто используется интегральная функция распределения массы частиц по диаметрам или функция прохода  $D(d_p)$ , т.е. доля частиц пыли, прошедших через сито с заданным размером ячеек  $d_p$ , в общей массе просеиваемой пробы, выраженная в процентах. Причем в большинстве случаев для пыли, содержащейся в воздухе рабочих зон и инженерно-экологических

системах, распределение частиц по размерам является усеченным логарифмически-нормальным, и с высокой степенью точности функция прохода может быть аппроксимирована двухзвенным сплайном (рис. 1).

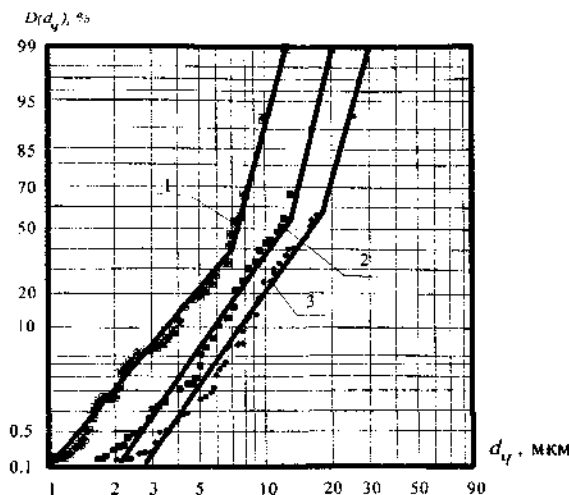


Рис. 1. Интегральные функции распределения массы по диаметрам частиц для пыли, отобранной в воздухе рабочей зоны производства силикатного кирпича на расстояниях от узла пересыпки:

1-2,5 м; 2-1,5 м; 3-0,5 м

Обследования, проведенные на предприятиях стройиндустрии, показали, что в результате изменений технологического процесса в ряде случаев колебания дисперсного состава пыли будут значительно выше, чем погрешность методов измерений. В качестве примера на рис. 2 представлены результаты анализа дисперсного состава пыли в воздухе рабочей зоны производства силикатного кирпича. В этом случае разброс значений функции прохода следует отнести не к разряду ошибок, а к особенностям случайного процесса, который в силу влияния различных технологических факторов (температура и скорость подачи топлива) и изменяющихся в определенных пределах параметров воздушной среды в рабочей зоне (влажность и подвижность воздуха и т. п.) определяет фракционный состав пыли. Поэтому представляется целесообразным рассматривать функции, описывающие

дисперсный состав взвешенных частиц в рабочей зоне и в инженерно-экологических системах не как детерминированные, а как случайные.

В соответствии с этим можно считать, что функция прохода - некоторая случайная функция  $D(d_p, \omega)$ , параметром которой принимается диаметр частицы  $d_p$ , изменяющийся в интервале  $\Delta - [d_{\min}, d_{\max}]$ , а  $\omega$  - это элементарное событие, т.е. эколого-технологические условия, при которых происходит отбор пробы. В каждом конкретном случае измерений ( $\omega = \text{const}$ )  $D$  является уже не случайной, а детерминированной функцией параметра  $d_p$ , которую можно назвать траекторией или реализацией случайной функции  $D(d_p, \omega)$ . Например, кривые, представленные на рис. 2, являются реализациями некоторой случайной функции  $D(d_p, \omega)$ .

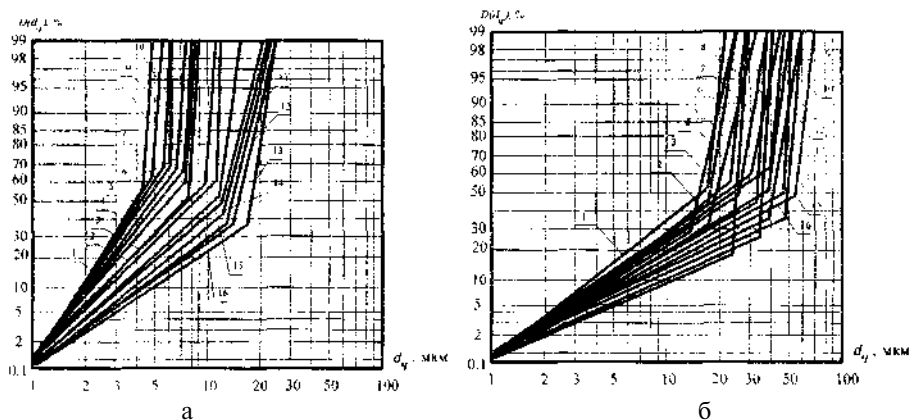


Рис. 2. Функции прохода для частиц пыли, образующейся при производстве силикатного кирпича и отобранной в воздухе рабочей зоны на расстоянии 2,5 м от узла пересыпки:

а - при работающей системе аспирации и концентрации пыли

3 - 3,7 мг/м<sup>3</sup>; б - при неработающей системе аспирации и концентрации пыли 6,2 - 18,7 мг/м<sup>3</sup>; 1 - 16 - номера проб

Следует отметить, что использование термина "случайный процесс" вместо понятия "случайная функция" некорректно, поскольку параметр  $d_p$  нельзя интерпретировать как время. Вместе с тем, во многих случаях для исследования случайных функций  $D(d_p, \omega)$  применим аппарат теории случайных процессов, в частности - "марковских".

При любом фиксированном значении параметра  $d_q$  в  $\Delta$  случайная функция  $D(d_q, \omega)$  уже является случайной величиной, называемой сечением случайной функции. Так, для частиц размером  $d_q = 2,5$  мкм (рис. 2 б) эта случайная величина принимает значения от 2,4 до 6%. На рис. 3 представлены функции плотности распределения (вероятностей) значений  $D(d_q)$  в сечениях случайной функции прохода пыли, отобранной в воздухе рабочей зоны производства силикатного кирпича для размеров частиц, наиболее характерных при оценке воздействия на здоровье работающих.

Другой важнейшей характеристикой пылевой обстановки на предприятии следует считать функцию фракционной концентрации  $C^{\Phi}(d_q)$  пыли в воздухе рабочей зоны, соответствующую массовой концентрации всех частиц с размерами от  $d_{\min}$  до  $d_q$ , которую также можно рассматривать как случайную функцию. В качестве примера на рис. 4 приведены интегральные функции концентрации пыли в воздухе рабочей зоны около сушильного барабана асфальтобетонного производства. Запыленность воздуха на рабочих местах в данном производстве определяется не только выбиванием пыли из технологического оборудования, но и выбросами из пылеочистных установок. Замеры производились в течение одного рабочего дня через каждые 0,5 часа.

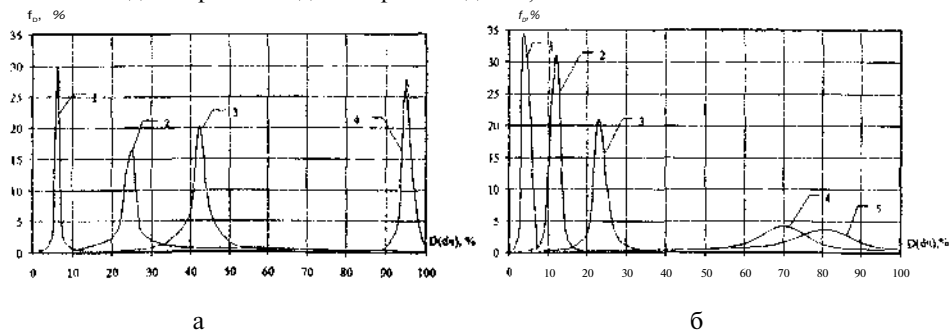


Рис. 3. Функции плотности распределения значений  $D(d_q)$  в сечениях случайной функции прохода  $D(d_q, \omega)$  для пыли, содержащейся в воздухе рабочей зоны при производстве силикатного кирпича:

а - при работающей системе аспирации и концентрации пыли 3 - 3,7 мг/м<sup>3</sup>; б - при неработающей системе аспирации и концентрации пыли 6,2 - 18,7 мг/м<sup>3</sup> для: 1 -  $d_q = 2,5$  мкм; 2 -  $d_q = 5$  мкм, 3 -  $d_q = 10$  мкм, 4 -  $d_q = 20$  мкм, 5 -  $d_q = 40$  мкм

Набор статистических данных, полученных для двух наиболее характерных случаев направления факела выбросов, позволил выявить существенные

различия в распределении фракционной концентрации пыли в воздушной среде, а именно: случайная функция  $C^{\Phi}(d_q)$  в первом случае имеет плавно меняющиеся реализации и большую предсказуемость (рис. 4 а); при более высокой (в 5 - 7 раз) запыленности воздуха во втором случае функция  $C^{\Phi}(d_q)$  имеет скачкообразные реализации, во многом определяемые наличием крупных частиц, оседающих из факела выброса (рис. 4 б). Такой характер хорошо иллюстрируют корреляционные функции  $K_x(d_{q0}, d_q)$ , значения которых, вычисленные для  $d_{q0} = 5$  мкм, показаны на рис. 5.

Функцию  $C^{\Phi}(d_q)$  можно представить как произведение общей концентрации пыли  $C_0$ , которая также может рассматриваться как случайная величина, и случайной функции прохода  $D(d_q, \omega)$ :

$$C^*(d_q) = C_0 \cdot D(d_q, \omega). \quad (1)$$

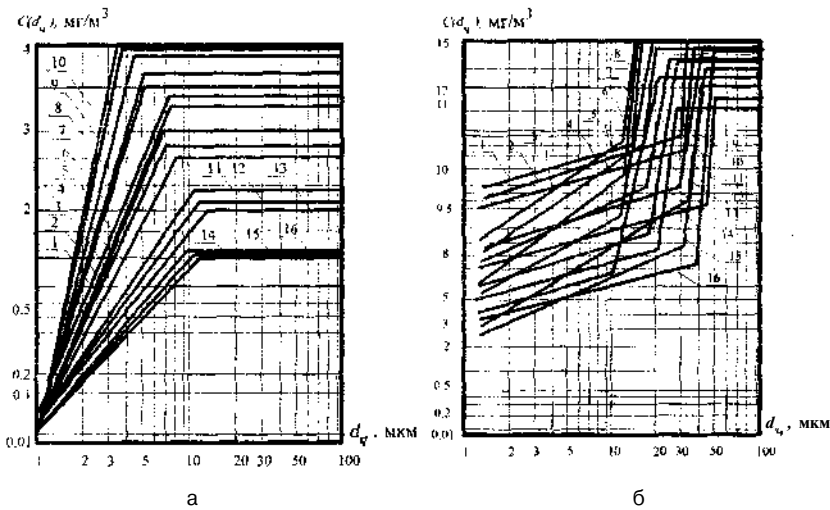


Рис. 4. Фракционная концентрация пыли в воздухе рабочей зоны около сушильного барабана асфальтобетонного производства при направлении факела выброса в сторону:

а - противоположную от рабочего места; б - рабочего места

Такой подход позволяет не только получить характеристики дисперсного состава пыли в воздухе рабочей зоны, но и определить ряд дополнительных показателей. Так, можно оценить вероятность  $P$  того, что концентрация наиболее опасной для здоровья человека пыли размером, например, не более 10 мкм, превысит возможный норматив. Для определения этой вероятности достаточно

знать функцию плотности распределения в сечении  $d_q = 10$  мкм для случайной функции фракционной концентрации  $C^\Phi(d_q)$  и функцию плотности распределения общей концентрации.

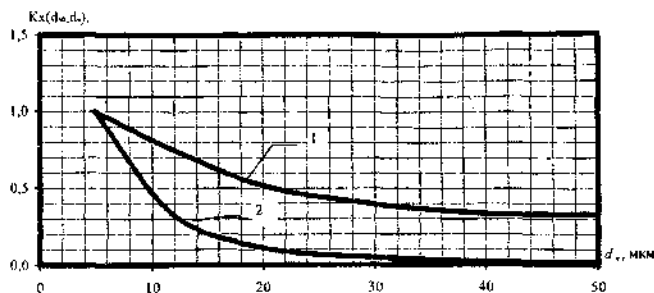


Рис. 5. Корреляционные функции  $K_x(d_{q0}, d_q)$  случайной функции концентрации в воздухе рабочей зоны около сушильного барабана асфальтобетонного производства:

1 - для данных рис. 4 а; 2 - для данных рис. 4 б

Тогда можно рассчитать риск превышения фракционной концентрации возможных нормативных значений концентрации  $C_{\text{норм}}$ :

$$P(C^\Phi(d_q) > C_{\text{норм}}) = \int_0^\infty f_{C_0} \left( \int_{C_{\text{норм}}/C_0}^\infty f_D(d_q) dD(d_q) \right) dC_0. \quad (2)$$

Например, для Себряковского асбестоцементного завода на рис. 6 представлены значения риска (вероятности) превышения возможной нормативной величины  $25 \text{ мкг/м}^3$  для концентрации частиц размером до 10 мкм. В этом случае для расстояния  $l=2,5$  м вероятность риска не превышает величины 0,05.

Поэтому одна из задач диссертационных исследований сводилась к оценке величины  $C^\Phi(d_q)$  в зависимости от дисперсного состава пыли, мощности  $M_t$  пылевыделения из оборудования и других характеристик.

В общем случае в момент времени  $t$  для рабочей зоны А, имеющей объем  $V_A$ , можно показать, что среднее по объему значение интегральной фракционной концентрации определяется следующим образом:



$$C^{\Phi}(d_q, t) = \frac{1}{V_A} \int_0^{D(d_q)} \int_{t-\tau_2}^t M_T \left( t - \tau_1 - \frac{\tau_2}{2} \right) dD_T \left( \delta, t - \tau_1 - \frac{\tau_2}{2} \right) dt \approx \quad (3)$$

$$\approx \frac{1}{V_A} \int_0^{D(d_q)} \tau_2 M_T \left( t - \tau_1 - \frac{\tau_2}{2} \right) dD_T \left( \delta, t - \tau_1 - \frac{\tau_2}{2} \right)$$

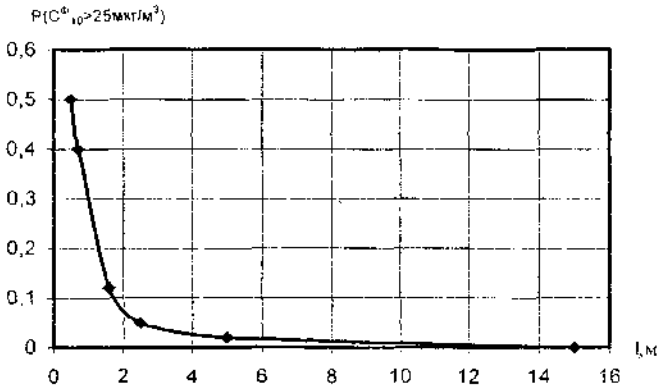


Рис. 6. Величина риска превышения возможного норматива для фракционной концентрации  $C_{10}^{\Phi}$  в зависимости от расстояния между рабочим местом и узлом пересыпки кирпичного производства Себряковского асбестоцементного завода

Функции  $\tau_1$  и  $\tau_2$  зависят от нескольких параметров: расстояний, которые проходит частица соответственно до рабочей зоны и внутри нее; плотности воздуха и частиц; эквивалентного диаметра частицы  $d_q$ ; коэффициентов, характеризующих форму частицы ( $K_{\Phi}$ ,  $K_r$ ,  $S_m$ ), и др. Поскольку коэффициенты, относящиеся к последней группе, для каждой частицы с размером  $d_q$  могут случайным образом принимать значения в соответствии со своей функцией распределения, то они являются стохастическими, и, следовательно, стохастическими также являются и функции  $\tau_1$  и  $\tau_2$ . Известно, что для частиц пыли с размерами  $10 \text{ мкм} < d_q < 200 \text{ мкм}$  величины  $\tau_1$  и  $\tau_2$  (их детерминированная часть) определяются из соотношения;

$$\tau_i = \alpha \cdot (d_q / d_{50})^{\gamma} K_{\Phi}^q, \quad i=1,2. \quad (4)$$

При наличии нескольких стационарных источников (с номерами  $j=1:-N$ ) пылевыделений, когда интенсивность пылевыделения от оборудования является случайной величиной:

$$C^{\Phi}(d_v, t) = \sum_j \frac{\overline{M_{T_j}(t)}}{V_A} \alpha_j \int_0^{M(d_v)} K_{\Phi}^q \left( \frac{\delta}{d_{30}} \right)^q dD_{T_j}(\delta). \quad (5)$$

Из выражения (4) следует, что для некоторых частных случаев (логнормального и потенциального распределений) средний по объему дисперсный состав пыли в воздухе рабочей зоны будет иметь тот же характер распределения, что и дисперсный состав пыли, выбивающейся из оборудования, но со смещением графика функции прохода влево.

Для комплексной оценки пылевой обстановки на предприятиях, в том числе и для описания случайных функций, характеризующих процесс выбивания пыли из оборудования, необходимо проведение большого числа анализов фракционного состава пыли. Разработанная методика микроскопического анализа дисперсности пыли с диапазоном диаметров 0,25 - 100 мкм с применением ПК основана на фотографировании увеличенных под микроскопом в 200 раз полей пылевидных частиц, закрепленных на предметном стекле, с последующим сканированием фотопластинок. Отсканированное изображение переводится в черно-белое и сохраняется в формате Windows Bitmap (.bmp). Для снижения трудоемкости процесса обработки данных дисперсного состава была разработана специальная программа DUST, которая позволяет проводить цифровую обработку полученных микрофотографий пылевых частиц и получить ряд характеристик пыли (факторы формы, коэффициенты сферичности и их корреляционные зависимости для частиц, имеющих одинаковую скорость оседания).

С помощью разработанной методики дисперсионного анализа и программы DUST проведены практические исследования по определению фракционного состава пыли, содержащейся в воздухе рабочей зоны предприятий стройиндустрии, металлургической, химической и нефтехимической промышленности, предприятий по хранению и переработке зерна, как случайных функций. На основе полученных результатов построены функции концентрации и функции прохода как математические ожидания случайных функций, построены сечения этих случайных функций для наиболее гигиенически и экологически значимых параметров:  $C_{25}^{\Phi}$ ,  $C_{50}^{\Phi}$ ,  $C_{100}^{\Phi}$ , и др. Кроме того, вычислены ковариационные функции, определены вероятностные коридоры и ряд других характеристик,

позволяющих судить о характере распределения частиц пыли, значениях концентрации и дисперсном составе пыли.

Особенностью технологических процессов многих производств является наличие различных ингредиентов, подаваемых в оборудование. Поэтому необходимо рассмотрение процесса пылевыведения для различных, хотя бы характерных, размеров частиц и их плотности, т.е. пофракционно. Ввиду наличия общеобменной вентиляции, тепловых потоков, возможных местных отсосов распределение скоростей воздушного потока вблизи технологического оборудования имеет сложную пространственную структуру. Кроме того, частицы, начиная с определенного значения массы, практически не всасываются даже в непосредственной близости от пылеприемника. Таким образом, происходит перенос части частиц от технологического оборудования в рабочую зону, а затем оседание пыли на поверхность рабочей площадки.

Ввиду этого представляет значительный интерес рассмотрение процесса массопереноса от технологического оборудования, обдуваемого горизонтальным потоком, при наличии вертикального восходящего теплового потока или области всасывания местного отсоса также с вертикальным потоком. Возможны следующие физические модели процесса массопереноса от технологического оборудования: совпадение направления скоростей движения частиц и воздушного потока в направлении  $X$ ; противоположное направление движения частиц и воздушного потока.

Для описания процесса массопереноса могут быть использованы различные уравнения, например, Фоккера-Планка-Колмогорова, Понтрягина и др. В основу математической модели, описывающей вероятность процесса массопереноса в рассматриваемом объеме, нами положен подход, предложенный профессором Е.И. Богуславским. С учетом наиболее существенных стохастических явлений и осреднения скоростей движения частиц по длине траектории получена формула вероятности массопереноса пыли от технологического оборудования:

$$P = 1 - \left[ 1 - \exp \left( - \left( \frac{l_k W_{iz}}{W_{iz}} - h_i \right) \frac{\ln a_k}{(H - h)} \right) + \frac{h \ln a_0}{(H - h)} \right] \operatorname{erf}(Y_i), \quad (Y_i) = \left[ \frac{H_i^2}{2\mu^2 h_i \tau_n} \right]. \quad (6)$$

Анализ выражения (6) показывает, что вероятность массопереноса на нижнюю поверхность производственного помещения уменьшается с увеличением расстояния  $l$  от источника пылевыведений. Чем ближе источник пылевыведений приближен к нижней поверхности помещения  $(H-h) \rightarrow 0$ , тем больше

величина  $P > 1$ . В случае увеличения скорости восходящего потока происходит увеличение концентрации частиц малого размера в объеме выше зоны пылевыделений. Увеличение скорости набегающего воздушного потока приводит к изменению направления движения пылевых частиц и накоплению пыли за источником пылевыделений.

Для оценки закономерностей распространения пыли, выбивающейся от технологического оборудования, принята интенсивность пыленакопления (пылеоседания)  $G_{оп}$ , которая представляет собой количество пыли, осевшей на 1 м<sup>2</sup> площади в единицу времени. Представив вероятность массопереноса  $P$  через отношение масс, выбрав в качестве времени процесса  $\tau_n = 1$  сек и приняв  $h_2 = h$ , можно получить среднюю величину интенсивности пыленакопления  $G_{оп}$  на поверхности пола производственного помещения и затем вычислить мощность пылевыделения из технологического оборудования:

$$M_n = G_{оп} F_{оп} = G_{max} P \bar{F}. \quad (7)$$

$$\bar{P} \bar{F} = \frac{\pi \varphi}{360} \left[ \frac{2}{a^3} + \left( \frac{l_k^2}{a} + \frac{2l_k}{a^2} + \frac{2}{a^3} \right) \exp(-al_k) \right] / l_k \operatorname{erf}(Y).$$

При этом параметры  $a$  и  $G_{max}$  определяются на основе экспериментальных данных по  $G_{оп}$ .

Лабораторные эксперименты по исследованию закономерностей процессов распространения и оседания пыли в рабочей зоне проведены на моделях винтовых и ленточных конвейеров, в узлах пересыпки и загрузки в емкостное оборудование. В качестве исследуемого материала использовалась пыль, отобранная из газоходов и бункеров пылеулавливающих аппаратов в системах обеспыливания на производствах силикатного кирпича, асфальтобетонных смесей, подготовительных цехов шинных заводов, заводов технического углерода, мельниц пшеничного и ржаного помола, комбикормовых производств. В модели технологического оборудования подавался материал, по дисперсному составу и физико-химическим свойствам идентичный пыли, выделяющейся при соответствующем технологическом процессе.

Основным фактором, влияющим на особенности распределения интенсивности оседания пыли, выделяющейся от объемного источника, является скорость воздушного потока. В случае линейного источника характер распространения пыли, в основном, определяется направлением воздушного потока по отношению к оси источника пылевыделения. При увеличении скорости воздуха расширяется область распространения пыли, выбивающейся от объемного ис-

точника пыления. Аналогичная картина наблюдается при расположении приточных и вытяжных отверстий перпендикулярно оси линейного источника.

Величина нормальной составляющей скорости выбивания резко уменьшается по мере удаления от источника пылевыведений. Вместе с тем, воздушные течения подхватывают мелкие частицы с  $d_q < 10$  мкм и разносят их на большие расстояния. Интенсивность оседания наиболее крупных частиц с  $d_q > 100$  мкм имеет максимум при расстояниях от модели источника пыления 0,1- 0,2 м. На рис. 7 в качестве примера показана зависимость, имеющая вид, аналогичный кривой Гаусса, которую можно математически описать следующими уравнениями

$$G_{\text{от}} = G_{\text{max}} \exp(-at_k^2) \cdot \text{erf}(Y_z), \quad G_{\text{оп}}^* = G_{\text{оп}} / G_{\text{max}}. \quad (8)$$

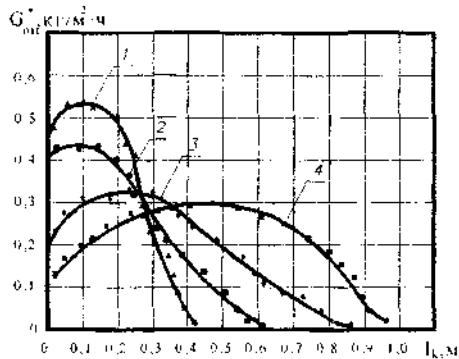


Рис. 7. Интенсивность оседания пыли технического углерода, выбиваемой от шнекового транспортера:

1 - при поперечном обтекании шнека воздухом; 2 - у торца шнека при продольном обтекании воздухом; 3 - на расстоянии 0,5 м от торца при продольном обтекании воздухом; 4 - на расстоянии 1 м от торца при продольном обтекании воздухом

На основе полученных результатов разработана методика экспериментального определения мощности пылевыведения от технологического оборудования через интенсивность пылеоседания, отличием которой является зонирование поверхности пылеоседания.

Предложенная методика апробирована для ряда предприятий стройиндустрии, предприятий по хранению и переработке зерна, предприятий металлургической, химической и нефтехимической промышленности. На ее основе проводилась оценка степени герметичности технологического

оборудования, достаточности аспирационных объемов воздуха и устойчивости работы систем аспирации, а также были получены исходные данные для расчета риска возникновения аварий и оценки взрывопожаробезопасности производств.

Аналогичные исследования были проведены для случаев расположения рабочей зоны на промышленных площадках предприятия, когда источники выделения пыли могут рассматриваться как неорганизованные приземные источники выбросов. При этом особый интерес представляет изучение закономерностей процессов распространения в атмосферном воздухе взвешенных частиц от источников с развитой поверхностью и неравномерностью по поверхности пылевыведений. Получены аналитические зависимости, характеризующие концентрацию загрязняющих веществ в рабочих зонах на территории предприятия:

$$C_0 = \frac{1}{S} \int_S \frac{M(1-P)}{F_b V_b} dS = \frac{1}{S} \int_S C_n (1-P) dS, \quad (9)$$

$$\text{где } P = \int_S \left[ 1 - \exp \left( - \frac{I_s W_z (I_s W_z / W_x - h_{zs})}{H_H W_x (I_s W_z / W_x - h_{zs}^*)} \right) \right] \exp(Y) \varphi(S) dS. \quad (10)$$

Таким образом, аналитически показано, что концентрация взвешенных веществ на удалении от неорганизованного источника выбросов с переменной плотностью пылевыведения зависит от распределения плотности пылевыведения по поверхности, высоты источника и других факторов. Определенное влияние может оказывать конструкция и ориентация укрытия, если оно будет установлено на неорганизованном источнике выбросов.

Полученные экспериментальные данные подтверждают, что независимо от направления ветра количество оседающей на поверхности пыли (например от открытого склада хранения песка) изменяется с расстоянием по экспоненциальному закону (рис. 8). При этом определяющим фактором является скорость ветра. Обработка результатов экспериментов позволила получить регрессионные зависимости, характеризующие изменение плотности пылеоседания на различных расстояниях  $\chi$  (где  $\chi$  - расстояние от источника, отнесенное к его длине) при различных скоростях и направлениях ветра в конкретных условиях. Аналогичный характер имеет распространение концентраций пыли в атмосферном воздухе (рис. 9).

Эти исследования легли в основу методики полного обследования предприятий как источников пылевого загрязнения воздушной среды.

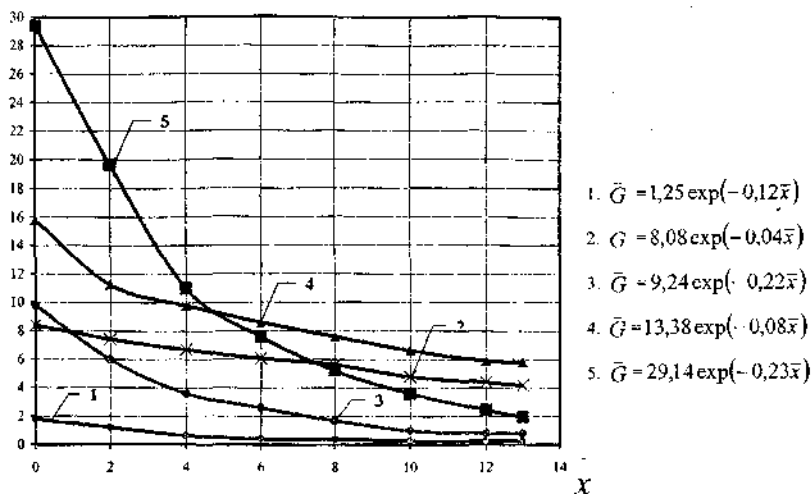
$\bar{G}$ 

Рис. 8. Изменение плотности пылеоседания от источника высотой 3 м с расстоянием при скорости ветра  $V < 2$  м/с и при направлениях ветра относительно продольной оси источника под углом:

1 -  $20^\circ$ ; 2 -  $40^\circ$ ; 3 -  $50^\circ$ ; 4 -  $60^\circ$ ; 5 -  $80^\circ$

$C_{02}$  мг/м<sup>3</sup>

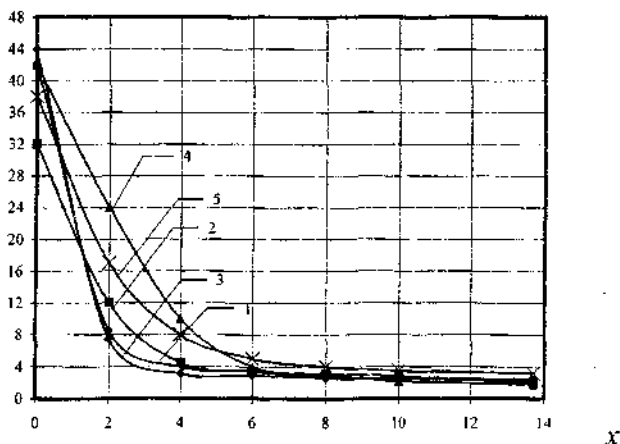


Рис. 9. Запыленность атмосферного воздуха на высоте 3 м на различных расстояниях от открытого склада хранения песка при скорости ветра  $V < 2$  м/с и при направлениях ветра относительно продольной оси источника под углом: 1 -  $20^\circ$ ; 2 -  $40^\circ$ ; 3 -  $50^\circ$ ; 4 -  $60^\circ$ ; 5 -  $80^\circ$

На многих предприятиях, например стройиндустрии, выбросы воздуха с остаточной значимостью производятся на высоте 2 - 6 м от поверхности земли. Это способствует увеличению, и часто существенному, концентрации пыли и превышению нормативов ПДК. В результате состояние воздушной среды рабочих зон на территории предприятия и на прилегающих территориях оказывается неудовлетворительным. Следовательно, вопросы снижения мощности пылевых выбросов после инженерно-экологических систем актуальны и в ряде случаев должны решаться комплексно с другими вопросами обеспыливания.

Для повышения эффективности снижения мощности выбросов от инженерно-экологических систем пылеочистки были разработаны схемы компоновки установок обеспыливания и модифицированный ряд аппаратов с использованием принципа встречных закрученных потоков (пылеуловители, пылеконцентраторы, пылеуловители-коллекторы, сепараторы, отвеиватели) (рис. 10), на которые получено около 30 авторских свидетельств и патентов на изобретение, а также патентов и свидетельств на полезные модели.

Одним из таких аппаратов является аппарат ВИП. Характерное отличие такого пылеуловителя от циклонного аппарата состоит в том, что кроме традиционного тангенциального ввода запыленного воздуха осуществляется ввод вторичного потока по оси аппарата в нижней его части. Особенностью ВИП, в отличие от аналогичных аппаратов типа ВЗП, является то, что закручиватель вторичного потока вынесен за пределы корпуса, изменены размеры и расположение некоторых элементов аппарата, что позволило повысить надежность работы аппарата и его эффективность. Разновидностями аппарата ВИП являются: аппарат с отсосом воздуха из бункерной зоны, пылеуловитель с предварительным разделением потоков и организацией отсоса из бункерной зоны; вертикальный коллектор-пылеуловитель с несколькими верхними вводами; горизонтальный коллектор-пылеуловитель.

При изучении процесса пылеочистки в вихревом аппарате со встречными закрученными потоками был использован тот факт, что массоперенос в нем происходит из нескольких входных зон. В общем случае в аппарате можно условно выделить следующие группы зон: зоны  $A_j$  - зоны выхода потоков из верхних входных патрубков; зона В - зона входа нижнего потока в корпус аппарата; зона перетока части нижнего потока непосредственно в бункер - зона П. Для каждой из зон из уравнения вероятности массопереноса в цилиндрической системе координат аналитические зависимости, характеризующие вероятность улавливания частицы ( $P_A, P_B$ ). С учетом его основных конструктивных



параметров, режима его работы и свойств поступающего дисперсного потока эти зависимости будут иметь вид (например, для зоны В):

$$P_B = \left[ 1 - \frac{\exp(-\lambda(1 - W_{rB}/V_{rB})R_{BT}) - \exp(-\lambda(1 - W_{rB}/V_{rB})R_H)}{(1 - W_{rB}/V_{rB})(R_H - R_{BT})} \right] \operatorname{erf} \left[ \frac{(R_H - 0,5R_B)^2}{2\mu^2 h(\tau_B - \tau_0)} \right]^{0,5} \quad (11)$$

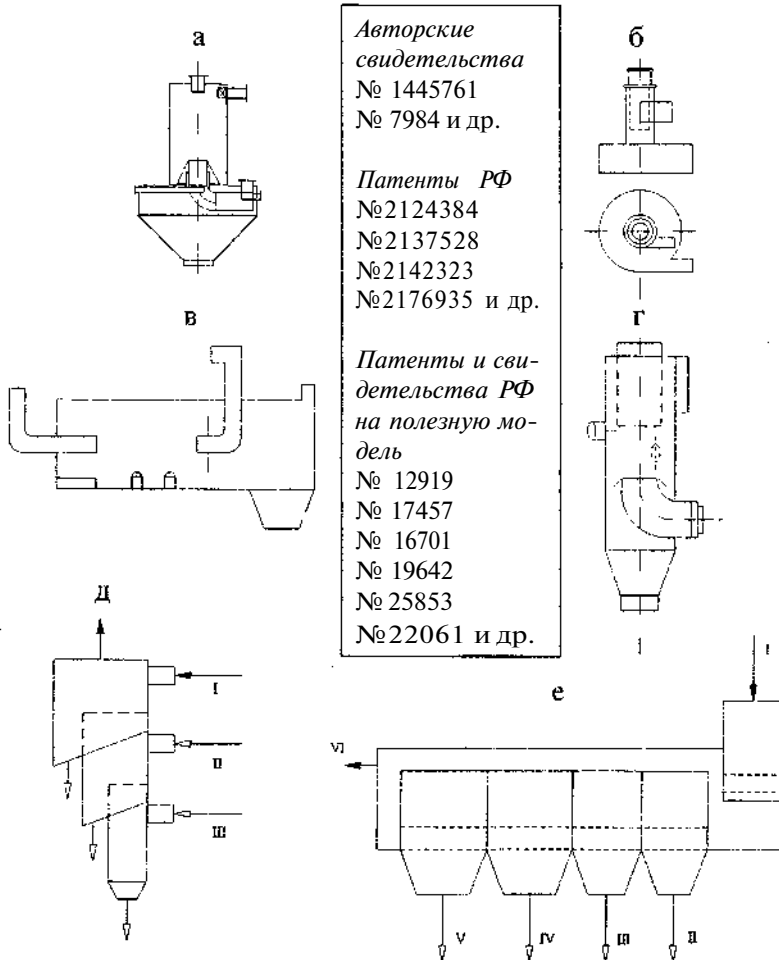


Рис. 10. Схемы разработанных конструкций аппаратов:

а - пылеуловитель ВИП; б - пылеконцентратор; в - горизонтальный коллектор-пылеуловитель; г - вертикальный коллектор-пылеуловитель КП-ВЗП; д - вертикальный аппарат отвеивания ВАОТ-3; е - горизонтальный центробежный разделитель ГЦР-200-4

Фракционная эффективность аппарата в целом может быть определена на основе вероятности сложного процесса обеспыливания по формуле:

$$P = \left( \sum_{i=1}^N P_{Ai} m_{Ai} + P_B m_B + P_{II} m_{II} \right) / \left( \sum_{i=1}^N m_{Ai} + m_B + m_{II} \right). \quad (12)$$

С целью оптимизации режимов работы вихревых аппаратов со встречными закрученными потоками при наличии ступенчатых отклонений расхода воздуха на входе в систему пылеочистки и отсоса из бункерной зоны аппарата проведены лабораторные и опытно-промышленные исследования. Полученные результаты показали, что при уменьшении параметра  $K_H$  при  $K_H < 0,15$  и возрастании его при  $K_H > 0,35$  уменьшается эффективность пылеочистки (рис. 11 а) и возрастают потери давления (рис. 11 б), что приводит к неприемлемому режиму работы как отдельных аппаратов, так и всей системы в целом. Осуществление отсоса воздуха из бункерной зоны аппарата в объеме  $K_{отс} = 0,15 - 0,25$  повышает эффективность пылеочистки и приводит к снижению аэродинамического сопротивления аппарата (рис. 11 б). Увеличение величины скорости воздушного потока в среднем сечении пылеуловителя при повышении улавливающей способности аппарата (рис. 11 а) сопровождается существенным возрастанием аэродинамических потерь (рис. 11 б). Экспериментальные исследования показали, что при уменьшении отношения концентрации пыли в нижнем и верхнем потоках эффективность пылеочистки аппарата ВИЛ увеличивается. Увеличение отношения запыленности в потоках, подаваемых на нижний и верхний вводы пылеуловителя, начиная с 0,3 не оказывает влияния на эффективность пылеочистки.

Установлено, что при значениях величины соотношения расходов воздуха, подаваемого через нижний ввод аппарата, и общего, поступающего на очистку в аппарат, в пределах  $0,25 < K_H < 0,4$  частицы в сепарационной камере движутся консолидированной лентой (шнуром), (рис. 12 а). При других значениях величины соотношения расходов происходит размывание шнура (рис. 12 б).

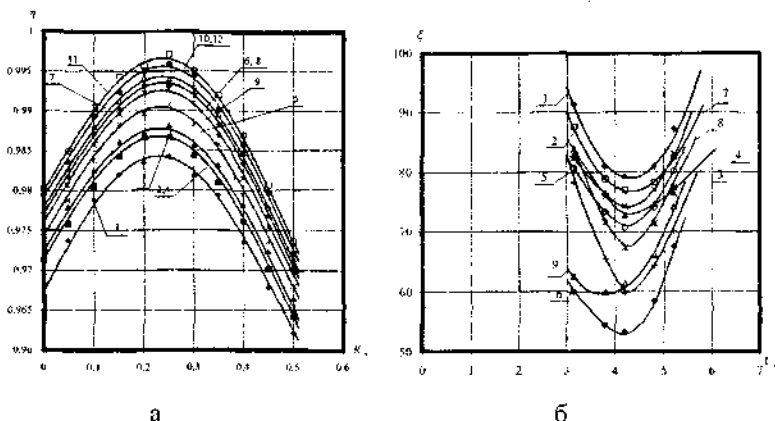


Рис. 11. Экспериментальные зависимости, характеризующие режимы работы аппарата ВИП с отсосом из бункерной зоны:

а - эффективности пылеочистки от отношения расхода, подаваемого в аппарат через нижний ввод, к общему: 1, 2, 3, 4 - при  $\bar{V}_y = 3,3$  и  $K_{отс} = 0,1, K_{отс} = 0,2, K_{отс} = 0,25, K_{отс} = 0,3$  соответственно; 5, 6, 7, 8 - при  $\bar{V}_y = 4,3$  и  $K_{отс} = 0,1, K_{отс} = 0,2, K_{отс} = 0,25, K_{отс} = 0,3$  соответственно; 9, 10, 11, 12 - при  $\bar{V}_y = 5,3$  и  $K_{отс} = 0,1, K_{отс} = 0,2, K_{отс} = 0,25, K_{отс} = 0,3$  соответственно; б - коэффициента  $\xi$  от условной скорости  $\bar{V}_i$ : 1, 2, 3 - при  $K_H = 0$  и  $K_{отс} = 0,1, K_{отс} = 0,2, K_{отс} = 0,3$  соответственно; 4, 5, 6 - при  $K_H = 0,2$  и  $K_{отс} = 0,1, K_{отс} = 0,2, K_{отс} = 0,3$  соответственно; 7, 8, 9 - при  $K_H = 0,3$  и  $K_{отс} = 0,1, K_{отс} = 0,2, K_{отс} = 0,3$  соответственно

Использование разделителей-концентраторов не только позволяет повысить эффективность улавливания, но и обеспечивает более устойчивую работу системы пылеочистки благодаря более широкому диапазону изменения  $K_H$ . При исследовании параметров закрученного течения в разделителях-концентраторах и в аппаратах отведения особенности локальной структуры потока и его интегральные свойства характеризовались формпараметром крутки.

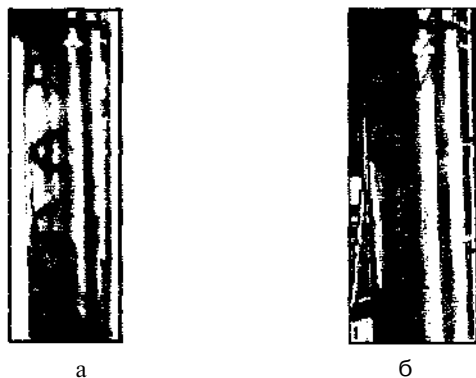


Рис. 12. Фотографии движения частиц коксовой пыли в сепарационной камере вихревого аппарата со встречными закрученными потоками ВИП-1 80:

а - консолидированный шнур; б -- размытый шнур

Пылеочистные устройства, в том числе и со встречными закрученными потоками, представляют собой, как правило, аппараты с четко определенной фракционной эффективностью  $\eta_{\phi}$ . Однако, как отмечалось выше, вследствие изменений в технологических процессах в аппарат на очистку может поступать пыль с изменяющимся дисперсным составом, и общая эффективность его в зависимости от случайных скачкообразных изменений технологических параметров процесса будет меняться случайным образом. Тогда общую эффективность  $\eta_o$  можно выразить формулой:

$$\eta_o = \int_0^{\infty} \eta_{\phi}(d_q) dD(d_q) = \int_{d_{\min}}^{d_{\max}} \eta_{\phi}(d_q) dD(d_q). \quad (13)$$

Поскольку  $D(d_q)$  - случайная функция, то  $\eta_o$  также является случайной величиной. Очевидно, что общая эффективность процесса пылеочистки зависит не только от проектных характеристик аппарата, но и от вероятностного распределения значений в сечениях функции прохода  $D(d_q)$  для пыли в поступающем на очистку газе. В качестве примера на рис. 13 представлены экспериментальные значения математических ожиданий фракционной эффективности различных пылеочистных устройств (циклона, ВИП, ВИП с отсосом из бункерной зоны и рукавного фильтра) с полученной экспериментально фракционной эффективностью улавливания коксовой пыли.

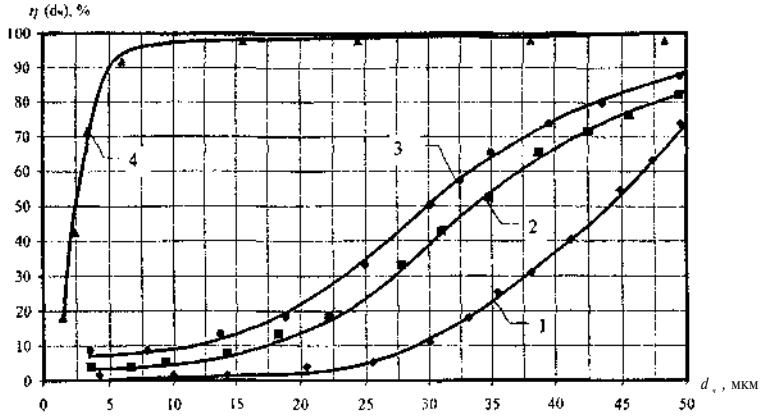


Рис. 13. Экспериментальные значения математических ожиданий фракционной эффективности улавливания коксовой пыли для пылеочистных аппаратов:

1 - циклон СЦН-40; 2 - ВИП; 3 - ВИП с отсосом из бункерной зоны при  $K_{отс} = 0,1$ ; 4 - рукавный фильтр

Функции плотности распределения общей эффективности пылеочистки коксовой пыли для этих четырех аппаратов, рассчитанные по формуле (13) на основании случайной функции  $D(d_q)$  и фракционной эффективности  $\eta_f$  (рис. 13), представлены на рис. 14.

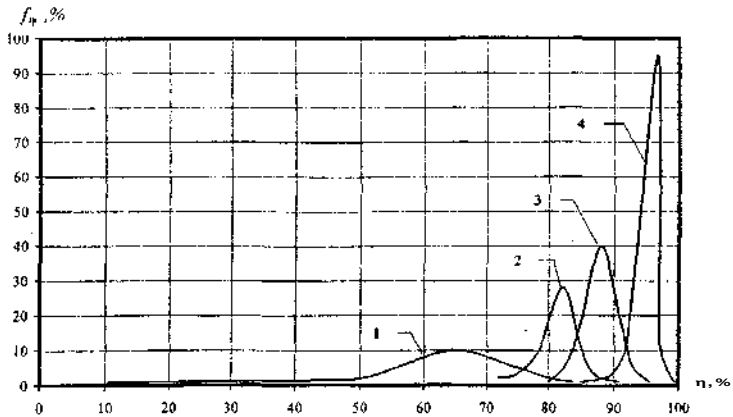


Рис.14. Функции плотности распределения общей эффективности очистки от коксовой пыли для аппаратов:

1 - циклон СЦН-40; 2 - ВИП; 3 - ВИП с отсосом из бункерной зоны при  $K_{отс} = 0,1$ ; 4 - рукавный фильтр

Анализ зависимостей, приведенных на рис. 14, показывает, что, например, для аппарата ВИП с отсосом из бункерной зоны с вероятностью 50% эффективность пылеочистки будет находиться в пределах от 86 до 90%, с вероятностью 20 % она будет находиться в пределах от 83 до 93%, и с еще меньшей вероятностью (10%) она будет находиться в пределах менее 83 или более 93%. Таким образом, очевидно, что эффективность процесса пылеочистки зависит не только от проектных характеристик аппарата, но и от случайной функции прохода  $D(d_p)$  для пыли в поступающем на очистку газе. Аналогично можно построить функции плотности распределения общей концентрации коксовой пыли на выходе из различных пылеочистных аппаратов (рис. 15).

Из данных, представленных на рис. 15, видно, что для рукавного фильтра концентрация пыли на выходе составит от 2,6 до 18,2 мг/м<sup>3</sup>, для ВИП с отсосом из бункерной зоны - от 20 до 45 мг/м<sup>3</sup>, для ВИП - от 30 до 70 мг/м<sup>3</sup>, для циклона - от 40 до 130 мг/м<sup>3</sup>. На основании полученных зависимостей можно определить, с какой вероятностью возможно получение минимальной концентрации пыли на выходе. По аналогичной схеме можно построить зависимости функций плотности распределения для случайной функции прохода для частиц с размерами не более 2,5 или 10 мкм.

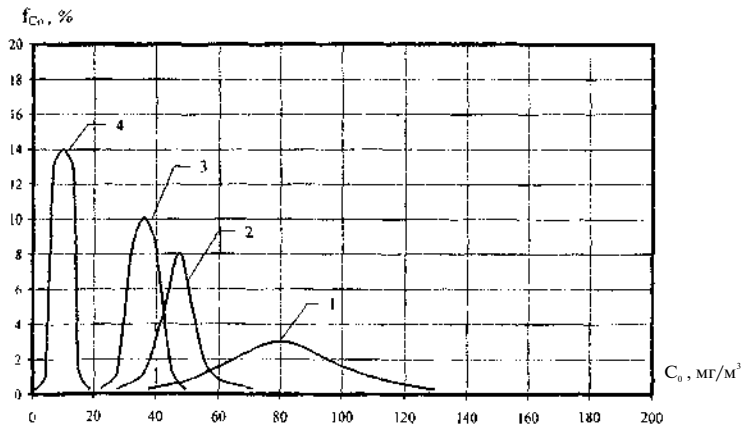


Рис. 15. Функции плотности распределения общей концентрации пыли на выходе из пылеочистных аппаратов:  
1 - циклон СЦН-40; 2 - ВИП; 3 - ВИП с отсосом из бункерной зоны при  $K_{отс} = 0,1$ ; 4 - рукавный фильтр

Такой подход позволит не только в среднем оценить ожидаемую эффективность и ожидаемое пылевыведение в окружающую среду, но и оценить вероятность превышения рассматриваемым параметром установленных норм предельно допустимых выбросов. В настоящее время нормируется предельно-допустимый выброс пыли в атмосферу, хотя более целесообразно было бы говорить о нормировании мощности выбросов частиц пыли с определенным размером и оценивать вероятности превышения концентрации этих частиц нормируемых значений.

Как отмечалось выше, одним из способов повышения эффективности инерционных аппаратов может служить организация отсоса из бункерной зоны аппарата, что позволяет: предотвратить пылевыведение при выгрузке уловленного продукта; уменьшить абсолютное значение давления в аппарате, что, в свою очередь, приведет к снижению выбивания пыли; исключить установку шлюзового питателя, что также обеспечивает снижение количества пыли, выбиваемой из аппарата пылеочистки; повысить надежность работы систем аспирации в результате снижения вероятности забивания аппарата. При этом может осуществляться возврат уловленного продукта в технологическое оборудование, инженерно-экологическую систему или инженерно-экологическое оборудование. Особенно целесообразна схема компоновки с возвратом уловленного продукта на вход в систему при реконструкции существующих установок пылеочистки при объеме отсасываемого воздуха до 10 - 15% от общего расхода, поступающего на очистку, с учетом производительности и напора установленного вентилятора. При проектировании новых объектов предпочтительнее компоновать систему пылеочистки с подачей воздуха, отсасываемого из бункерной зоны аппарата второй ступени, на нижний ввод аппарата пылеочистки первой ступени. Такая схема позволяет снизить подсосы воздуха в установке и может быть реализована при применении вихревых аппаратов со встречными закрученными потоками.

На рис. 16 представлена схема реконструированной системы пылеочистки, обслуживающей сушильный барабан кирпичного цеха Себряковского завода асбестоцементных изделий. Для повышения эффективности пылеочистки, составлявшей до реконструкции системы 54,4%, осуществлен отсос воздуха из бункера батареи циклонов СЦН-40. Отсасываемый поток в объеме 15% от общего объема пылегазовой смеси, поступающей на очистку, направляется в аппарат ВИП-400 и затем - в коллектор очищенного газа. В результате проведенной реконструкции эффективность системы пылеочистки возросла до 87,5%,

что обеспечило снижение пылевых выбросов в атмосферу с 2,15 г/с до 0,49 г/с, и, соответственно, валового выброса - с 66,96 т/год до 14,476 т/год.

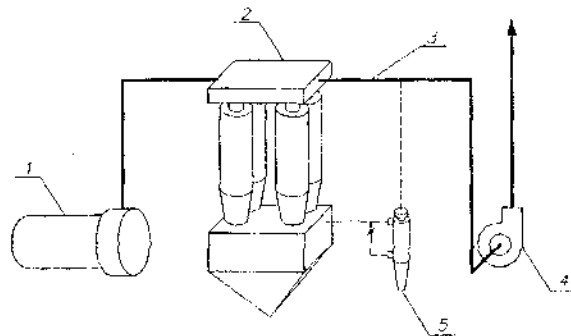


Рис. 16. Схема системы пылеочистки, обслуживающей сушильный барабан кирпичного цеха Себряковского завода асбестоцементных изделий:

1 - сушильный барабан; 2 - установка батарейных циклонов СЦН-40; 3 - коллектор очищенных газов; 4 - дымосос ДН-11-2А; 5 - аппарат ВИП-400

Опыт эксплуатации инерционных пылеочистных аппаратов с отсосом из бункерной зоны позволил предложить ряд новых схем компоновки систем пылеочистки дымовых газов, отходящих от сушильных барабанов асфальтобетонных заводов. Существенной отличительной особенностью предлагаемых систем является осуществление размыкания контура дымосос-пылеуловитель-рециркуляционный циклон и возврат уловленного продукта в технологическое оборудование. Один из вариантов схемы компоновки установки пылеочистки показан на рис. 17.

Такая схема и ее модификации внедрены и апробированы на ряде предприятий отрасли в Волгоградской области. В результате общая эффективность пылеочистки увеличилась в среднем на 8 - 13%.

Одним из важнейших достоинств компоновки систем пылеочистки из блоков аппаратов со встречными закрученными потоками и разделителей-концентраторов является то, что диапазон изменения отношения расхода, подаваемого через нижний вход аппарата, и общего, подаваемого на очистку, при котором достигаются максимальная эффективность очистки и



минимальное аэродинамическое сопротивление, расширяется и составляет 0,2 — 0,3. Таким образом, использование разделителей-концентраторов не только позволяет повысить степень очистки, но и благодаря более широкому интервалу изменения соотношения расходов обеспечивает более устойчивую работу системы в целом.

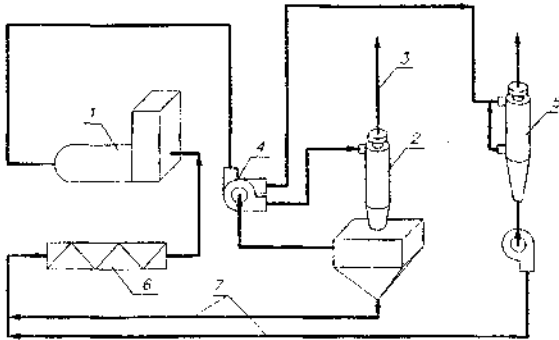


Рис. 17. Схема компоновки системы пылеочистки дымовых газов от сушильных барабанов асфальтобетонных заводов с разомкнутым контуром дымосос-пылеуловитель - рециркуляционный циклон:

1 - сушильный барабан; 2 - рециркуляционный циклон внутреннего контура; 3 - выход очищенных газов; 4 - дымосос-пылеуловитель ДН-10; 5 - ВИП-400; 6 - шнек; 7- трубопровод возврата уловленного продукта в сушильный барабан

Полученные результаты были практически реализованы в производстве карбида кальция (цех №40) Волгоградского ОАО "Химпром" при проведении реконструкции системы аспирации дымовых и леточных газов электрической печи (рис. 18). Основной частью системы очистки являются блоки аппаратов на встречных закрученных потоках и концентраторов. Запыленные газы сначала подаются на пылеконцентратор, установленный на входе в аппарат. После разделения в концентраторе на два потока высококонцентрированный первичный лоток направляется по воздуховоду на второй пылеконцентратор, а вторичный поток - в верхнюю часть аппарата. Для улучшения условий оседания частиц из бункерной части аппаратов организован отсос. Отводимый от бункерной части пылегазовый поток по рециркуляционной линии вновь поступает в систему. В

результате внедрения опытно-промышленной установки пылеочистки максимальная запыленность газов, выбрасываемых в атмосферу, снизилась с  $3950 \text{ мг/м}^3$  до  $840 \text{ мг/м}^3$ , а валовые выбросы пыли от источников карбидного производства сократились с 4800 т/год до 1300 т/год.

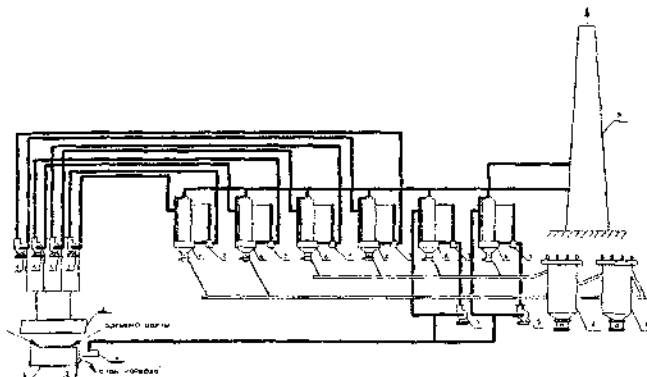


Рис. 18. Схема установки очистки дымовых и леточных газов:

- 1 - трехфазная карбидная печь; 2 - летка; 3,4- зонт; 5 - дымосос ДН-21,5; 6 - пылеуловитель на встречных закрученных потоках; 7 — пылеконцентратор; 8 - бункер приема уловленной пыли; 9 - дымовая труба

Проведены опытно-промышленные испытания аппаратов разделения и отвеивания, предназначенных для снижения негативного воздействия пылевидных отходов на окружающую среду, в том числе и на запыленность воздуха. Результаты, полученные для горизонтального центробежного разделителя (ГЦР) и вертикального аппарата отвеивания (ВАОТ), показали незначительное влияние на эффективность разделения концентрации материала на входе в аппарат в пределах от  $50$  до  $150 \text{ г/м}^3$  и значительную зависимость эффективности от величины формлараметра крутки в диапазоне от  $0,5$  до  $2,5$ . При различных значениях варьируемых факторов эффективность горизонтального центробежного разделителя с двумя бункерами составляла от  $22$  до  $55 \%$  и вертикального - от  $17$  до  $77\%$ .

В целом внедрено более 250 разработанных аппаратов со встречными закрученными потоками различных модификаций. Результаты внедрения разработанных инженерно-экологических систем и оборудования для защиты здоровья работающих и окружающей среды от пылевых выбросов представлены в табл. 1.

Таблица 1 - Результаты внедрения систем пылеочистки

Наименование оборудования	Наименование производства	Наименование пыли	Кол-во аппаратов	Место внедрения	М/ПДВ	
					до внедрения	после внедрения
1	2	3	4	5	8	9
Вихревые инерционные аппараты на встречных закрученных потоках	Силикатного кирпича	Пыль неорганическая содержанием $\text{SiO}_2$ менее 20%	9	г. Михайловка, Волгоградская область Краснодарский край	1,05-1,12	0,95-1,0
	Асфальтобетонных смесей	Пыль неорганическая с содержанием $\text{SiO}_2$ более 20%	8	Волгоградская и Астраханская области	1,0-1,2	0,9-1,05
	Корундового порошка	Пыль корунда	2	г. Рудный	1,0-2,7	1,0-1,3
	Железобетонных изделий	Цементная пыль	4	г. Волгоград, г. Волжский	1,0-1,1	0,9-0,91
	Столярных изделий	Древесная пыль	8	г. Волгоград, Волгоградская область Черновицкая область	1,5-2,1	0,85-0,9
	Гипса	Гипсовая пыль	9	г. Волгоград, Краснодарский край	1,0-1,2	0,97-1,0
	Строительных изоляционных материалов	Пыль минеральной ваты	5	г. Волгоград, г. Ярославль	1,05-1,1	0,95-1,0
	Резины для шин и РТИ	Пыль техуглерода	26	гг. Волжский, Барнаул, Балаково, Воронеж, Ярославль, Горловка	1,0-1,1	0,99-1,0
	Технического углерода	Пыль техуглерода	12	гг. Волгоград, Ярославль, Сызрань	1,0-1,1	0,99-1,0
	Комбикормов	Комбикормовая пыль	35	Волгоградская область	1,0-1,05	0,95-0,98
	Алюминия	Графитовая пыль, коксовая пыль	7	г.г. Самара, Волгоград	1,3-2,1	0,95-1,05

1	2	3	4	5	6	7
Вихревые инерционные пылеуловители на встречных закрученных потоках	Карбида кальция	Пыль кокса и карбида кальция	7	г. Волгоград	1,02-1,4	0,97-0,99
	Муки	Пыль мучная	54	гг. Волгоград, Волгоградская область, Астраханская область, Республика Калмыкия	1,0-1,05	0,95-0,96
	Элеваторы и склады	Зерновая пыль	11	Волгоградская область, Астраханская область, Республика Калмыкия	1,0-1,2	0,95-0,98
	Переработка свинцовосодержащих отходов	Пыль свинца	4	г. Волгоград	1,0-1,05	0,99-1,0
	Другие химические производства	Пыль цинка, пыль метионина, пыль сульфата натрия, фенолона и др.	20	гг. Волгоград, Волжский	1,1-1,4	0,95-1,05
Коллекторы-пылеуловители на встречных закрученных потоках	Предприятия по хранению и переработке зерна	Пыль зерновая, мучная, комбикормовая	11	Волгоградская Астраханская области, Республика Калмыкия	1,0-1,05	0,9-0,97
Разделители-концентраторы	Производство карбида кальция	Пыль кокса и карбида кальция	6	г. Волгоград	1,2-1,4	0,97-0,99
	Комбикормовое производство	Комбикормовая пыль	7	Волгоградская область	1,0-1,05	0,95-0,98
Аппараты разделения и отведения	Предприятия, производящие и потребляющие техуглерод	Пыль техуглерода	6	гг. Волгоград, Горловка	1,0	0,92
	Производство щебня	Глинистые частицы, отсева щебня	2	Волгоградская область	1,8-2,5	0,8-1,0
	Производство алюминия	Глиноземные сметки, глинозем	2	г. Волгоград	2,0	0,9

Проведенные теоретические и экспериментальные исследования позволили предложить комплексный подход к оценке пылевой обстановки на промышленных предприятиях, который включает в себя: анализ дисперсного состава и концентрации пыли в воздухе рабочих зон как внутри производственных помещений, так и на промышленной площадке; оценку технологического оборудования как источника пылевыделения, определение мощности пылевыделения и интенсивности пылеоседания внутри производственных помещений, получение исходных данных для оценки взрывопожароопасности, риска возникновения аварий и оценки степени достаточности средств обеспыливания; оценку эффективности, как фракционной, так и суммарной, пылеочистки в устройствах при стохастическом характере концентрации и дисперсного состава пыли в воздухе, поступающем на очистку; оценку влияния пылевых выбросов (в том числе и от неорганизованных источников) на качество атмосферного воздуха при расположении рабочей зоны на территории. Одним из важнейших показателей пылевой обстановки предлагается считать величину риска превышения нормативов (возможных) для общей концентрации и концентрации мелких фракций пыли.

Для разработки мероприятий по снижению запыленности на рабочих местах большое значение имеют исследования влияния дисперсного состава и концентрации пыли в воздухе рабочих зон на функциональное состояние и заболеваемость работников (например, функции внешнего дыхания). Проведенные совместно со специалистами Волгоградского государственного медицинского университета обследования и медицинские осмотры работников целого ряда профессий позволили охарактеризовать структуру заболеваемости и сделать вывод о преобладании патологии системы дыхания и воспалительных заболеваний органов дыхания, что связано с действием неблагоприятных производственных факторов, например, пыли в воздухе рабочей зоны. Для каждого обследования были получены следующие показатели функции внешнего дыхания: ЖЕЛ (жизненная емкость легких), ФЖЕЛ (форсированная жизненная емкость легких), ОФВ1 (объем форсированного выдоха за первую секунду). Построены и проанализированы распределения показателей функций внешнего дыхания и осуществлен корреляционный регрессионный анализ зависимостей функций системы внешнего дыхания от концентрации пыли. Проведен анализ зависимости риска возникновения заболеваний не только от риска превышения нормативов общей запыленности на рабочих местах, но и от дисперсности пыли в воздухе рабочей зоны.

На основании обследований, проведенных по методике комплексной оценки пылевой обстановки, разработаны и реализованы рекомендации по улучшению условий труда на рабочих местах, повышению эффективности и надежности систем обеспыливания и герметичности оборудования для ряда следующих производств: железобетонных изделий (г. Волгоград, г. Астрахань), асбестоцементных изделий (г. Тамбов, г. Михайловка), асфальтобетонных заводов (Волгоградская область - 12 предприятий), заводов технического углерода (г. Волгоград, г. Иваново, г. Ярославль, г. Сызрань, г. Ставрополь и др.), производств шин и РТИ (г. Волжский, г. Барнаул, г. Нижнекамск и др.), на предприятиях по хранению и переработке зерна (Волгоградская область - 27 предприятий, Республика Калмыкия) и др. - 78 предприятий.

Суммарный экономический эффект от внедрения систем и рекомендаций составил более 3 млн. руб./ год в ценах 2002 г.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В работе дано решение актуальной задачи по совершенствованию комплексной оценки пылевой обстановки и разработке мер по снижению запыленности воздушной среды промышленных предприятий с целью улучшения санитарно-гигиенических условий труда и снижения негативного воздействия пылевых выбросов на окружающую среду.

На основании проведенных теоретических и экспериментальных исследований можно сделать следующие **выводы**:

1. Анализ дисперсного состава пыли в рабочей зоне ряда предприятий строительной промышленности показал, что разброс значений ряда параметров ( $d_{50}$  и др.) существенно превышает ошибку измерений. Это объясняется тем, что выбивание пыли из оборудования в реальных технологических процессах происходит, как правило, не детерминировано, а случайным образом, т.е. стохастически. Для оценки состояния пылевой обстановки в рабочих зонах целесообразно рассматривать величину массы пыли, выбиваемой из оборудования, общую концентрацию пыли в фиксированных точках как случайные величины, а характеристики дисперсного состава - как случайные функции.
2. Сформулирован общий подход для описания функций дисперсного состава и функции концентрации пыли в воздухе рабочих, санитарно-защитных зон, в инженерно-экологических системах предприятий как случайных функций. Во многих случаях может быть применим аппарат теории

случайных "марковских" процессов, где вместо параметра времени используется эквивалентный диаметр частиц  $d_{\text{э}}$ .

3. Усовершенствована методика дисперсного анализа пыли на основе микроскопического метода с применением ПК и авторской программы цифровой обработки изображений частиц.
4. На основе вероятностно-стохастического подхода разработана математическая модель процесса массопереноса дисперсного материала из технологического оборудования в рабочую зону. Получены аналитические зависимости, связывающие мощность пылевыведения из технологического оборудования с интенсивностью пыленакопления, условиями оседания дисперсного материала, расстоянием от технологического оборудования и другими факторами. Разработана методика экспериментального определения мощности пылевыведения от технологического оборудования с зонированием поверхности пылеоседания для оценки герметичности оборудования, взрывопожаробезопасности производств, достаточности и устойчивости работы средств обеспыливания, получены исходные данные для расчета риска возникновения аварий.
5. На основе вероятностно-стохастического подхода разработаны математические модели процесса массопереноса дисперсного материала от приземных источников неорганизованных выбросов. Проведен анализ процессов распространения пыли в атмосферном воздухе санитарно-защитных зон предприятий. Теоретически и экспериментально установлены зависимости, позволяющие оценить плотность оседания пыли, сдуваемой с поверхности склада открытого хранения инертных материалов, на различных расстояниях от источника с учетом направления, скорости ветра и других факторов. Установлен риск превышения значениями концентраций частиц мелких фракций в воздухе рабочих зон возможного норматива для изолированного помещения, на открытых площадках, а также в выбросах источников загрязнения атмосферы и на границе санитарно-защитной зоны предприятий.
6. Экспериментально показано, что общая эффективность пылеочистки инерционных аппаратов в реальных производственных условиях является случайной величиной.
7. На основе вероятностно-стохастического подхода разработана математическая модель процесса пылеочистки в инерционных аппаратах со встречными закрученными потоками. Получены аналитические зависимости, описывающие фракционную эффективность в зависимости от их конструктивных

параметров, режима работы, свойств улавливаемого дисперсного материала, соотношения объемов и свойств первичного и вторичного потоков и других факторов. Разработаны конструкции аппаратов пылеочистки, коллекторов-пылеуловителей, разделителей и концентраторов пылевидных материалов, отвеивателей, различных устройств для создания закрученных потоков и пр., новизна которых, подтверждена авторскими свидетельствами и патентами на изобретения и свидетельствами на полезные модели.

8. Разработана методика комплексного обследования предприятий как источника загрязнения воздушной среды пылевыми выбросами. На основании обследования, проведенного по данной методике, разработаны рекомендации для улучшения условий труда на рабочих местах, по повышению эффективности и надежности систем обеспыливания ряда производств: асбестоцементных изделий (г. Тамбов, г. Михайловка), железобетонных изделий (г. Волгоград, г. Астрахань), асфальтобетонных заводов (Волгоградская область - 12 предприятий), заводов технического углерода (г. Волгоград, г. Иваново, г. Ярославль, г. Сызрань, г. Ставрополь и др.), подготовительные цеха производств шин и РТИ (г. Волжский, г. Барнаул, г. Нижнекамск и др.), предприятий по хранению и переработке зерна (Волгоградская область - 27 предприятий, Республика Калмыкия) и др.
9. Внедрены более 250 единиц пылеочистного оборудования (вихревые инерционные аппараты со встречными закрученными потоками, коллекторы-пылеуловители, разделители-концентраторы, аппараты по разделению пылевидных отходов с различной компоновкой в системах аспирации, пневмоуборки, пылеочистки) на предприятиях стройиндустрии (г. Волгоград, г. Михайловка, г. Элиста, г. Ярославль, г. Рудный, Черновицкая область и др.), алюминиевой промышленности (г. Волгоград, г. Самара и др.), предприятиях по хранению и переработке зерна (г. Волгоград, г. Суровикино, г. Михайловка, г. Калач-на-Дону, г. Элиста, г. Астрахань, Городищенский район и др.), на производстве карбида кальция (г. Волгоград), на комбикормовых производствах (Иловлинский район, Михайловский район и др.), на предприятиях, производящих и потребляющих технический углерод (г. Волжский, г. Воронеж, г. Барнаул, г. Балаково, г. Ярославль, г. Горловка и др.), и на ряде других производств.
10. Эколого-экономический эффект от внедрения систем и рекомендаций составил более 3 млн. руб./год в ценах 2002г.



## УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ

$d_q, d_{min}, d_{max}, d_{50}$  - размеры частиц, соответственно эквивалентный, минимальный, максимальный, медианный;  $D(d_q)$  - интегральная функция распределения массы частиц пыли по диаметрам, %;  $C^{\phi}(d_q)$  - массовая концентрация частиц размером не более  $d_q$ , мг/м<sup>3</sup>;  $K_x(d_{q0}, d_q)$  - корреляционная функция,  $C_0$  - общая концентрация пыли, мг/м<sup>3</sup>;  $C_{норм}$  - возможный норматив для концентрации мелких фракций частиц, мг/м<sup>3</sup>;  $C_{2,5}^{\phi}, C_5^{\phi}, C_{10}^{\phi}$  - массовая концентрация частиц размером не более 2,5 мкм, 5 мкм, 10 мкм соответственно;  $D(d_q, \omega)$  - случайная функция прохода;  $j$  - номер источника;  $t$  - время, с;  $\tau$  - время, за которое частица, выбившаяся из технологического оборудования, попала в рабочую зону, с;  $\tau_2$  - время, в течение которого частица находится в зоне, с;  $\delta$  - текущий размер, по которому происходит интегрирование, м;  $K_{\phi}$  - коэффициент формы;  $a_j$  - коэффициент, зависящий от расположения источника, размера рабочей зоны, подвижности воздуха;  $u, q$  - коэффициенты, значения которых зависят от размера частиц;  $H_i$  - расстояние, проходимое частицей по вертикали до плоскости оседания, м;  $H-h$  - расстояние от источника пылевыделения до нижней поверхности помещения, м;  $\tilde{\mu}$  - степень увлечения частицы пульсирующей газовой средой;  $b_z$  - коэффициент диффузии газового потока, м<sup>2</sup>/с;  $\tau_n$  - время процесса переноса массы частиц на плоскость оседания, с;  $a_0, a_k$  - коэффициенты, характеризующие расположение источника пылевыделения, плоскости пылеоседания и направление движения воздушного потока;  $a$  - коэффициент, зависящий от скорости воздушного потока, 1/м;  $W_{IV}$  - скорость движения частицы в горизонтальной плоскости, м/с;  $G_{оп}^*$  - интенсивность пыленакопления, кг/(м<sup>2</sup>ч);  $C_{max}$  - максимальная интенсивность пыленакопления, кг/(м<sup>2</sup>ч);  $l_k, l_s$  - расстояние от точек точечного и точек поверхностного источника пыления, м;  $\phi$  - угол раскрытия рассматриваемого сектора производственного помещения;  $R_H, R_T, R_{\gamma}, R_{BT}, R_B$  - отнесенные к диаметру сепарационной камеры конструктивные параметры пылеуловителя;  $L$  - постоянная интегрирования, 1/м;  $W_{rB}$  - скорость частиц пыли на входе в зону В пылеуловителя, м/с;  $V_{rB}$  - скорость газового потока на входе в зону В пылеуловителя, м/с;  $\eta_{\phi}$  - фракционная эффективность, %;  $H_h$  - высота расположения источника над уровнем земли;  $A_1$  - зона выхода потоков из верхних входных патрубков в пылеуловитель;  $B$  - зона входа нижнего потока в пылеуловитель;  $\Pi$  - зона перетока части «нижнего» потока непосредственно в

бункер;  $K_{отс}$  - соотношение расходов воздуха, отсасываемого из бункерной зоны пылеуловителя, и поступающего в аппарат;  $K_n$  - доля расхода воздуха, подаваемого через нижний ввод в аппарат от общего, подаваемого на очистку в пылеуловитель;  $P$  - вероятность события;  $P_{Aj}, P_B, P_\Pi$  - вероятность улавливания частиц, поступивших в аппарат со встречными закрученными потоками соответственно в зоны  $A_j, B, \Pi$ ;  $m_{Aj}, m_B, m_\Pi$  - массовый расход частиц, поступающих в аппарат ВЗП соответственно в зоны  $A_j, B, \Pi$ ;  $M_T \left( t - \tau_1 - \frac{\tau_2}{2} \right)$  - мощность пылевыведения из технологического оборудования в момент времени  $\left( t - \tau_1 - \frac{\tau_2}{2} \right)$ , кг/с;  $D_T \left( \delta, t - \tau_1 - \frac{\tau_2}{2} \right)$  - функция прохода для пыли, выбивающейся из технологического оборудования в момент времени  $t - \tau_1 - \frac{\tau_2}{2}$ ;  $\eta_0$  - общая эффективность пылеочистки, %;  $\xi$  - коэффициент местного сопротивления пылеуловителя, отнесенный к условной скорости в среднем сечении аппарата;  $\bar{V}_y$  - относительная условная скорость в среднем сечении аппарата;  $V_A$  - объем рабочей зоны, м;  $H_n$  - эффективная высота источника выброса;  $\phi(S)$  - функция плотности распределения вероятности срыва частиц пыли с поверхности неорганизованного источника;  $W_x, W_z$  - проекции скорости частиц пыли соответственно на ось  $x$  и  $z$ , м/с;  $f_D, f_{c0}, f_n$  - функции плотности распределения соответственно для значений прохода массы частиц, общей концентрации пыли и эффективности пылеочистки;  $F_b, V_b$  - площадь и фоновая скорость воздушного потока;  $C_\Pi$  - концентрация пыли на выходе из источников выброса, мг/м<sup>3</sup>;  $M$  - мощность пылевыведения от неорганизованных источников, кг/ч;  $h_{zs}, h_{zs}^*$  - параметры, характеризующие особенности взаимного расположения источников.

#### ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ ДИССЕРТАЦИИ ОПУБЛИКОВАНЫ В СЛЕДУЮЩИХ РАБОТАХ:

1. Азаров В.Н. Пылеуловители со встречными закрученными потоками: Опыт внедрения. - Волгоград, Волгогр. гос. техн. ун-т, 2003. - 136 с.: ил.
2. Азаров В.Н. О концентрации и дисперсном составе пыли в воздухе рабочих и обслуживаемых зон предприятий стройиндустрии // Междунар. конф. "Качество внутреннего воздуха и окружающей среды". - Волгоград, 2003. - С. 3-7.

3. Оценка взрывопожароопасности предприятий по хранению и переработке зерна / В.Н. Азаров, А.Г. Колесников // Пожарная безопасность. - 2003. - №1. - С. 51-53.
4. Оценка пылевыведения от технологического оборудования /В.Н. Азаров //Безопасность труда в промышленности. - 2003. - №7. - С. 45-46.
5. Системы пылеулавливания с инерционными аппаратами в производстве строительных материалов / В.Н. Азаров, Н.М. Сергина //Строительные материалы. - 2003.-№ 8 .-С. 14-15.
6. Богуславский Е. И., Азаров В.Н. Оценка концентрации и дисперсного состава пыли в воздухе рабочих и обслуживаемых зон //Материалы Всерос. науч.-практ. конф. "Техносферная безопасность, надежность, качество, энергосбережение". -Ростов-на-Дону, 2003. - С. 23-30.
7. Распространение пыли при производстве асфальтобетонных смесей / В.Н. Азаров, Е.И. Богуславский, В.Н. Учаев //Строительные материалы. - 2002. -№8. -С. 18.
8. Системы аспирации дымовых и леточных газов производства карбида кальция /В.Н. Азаров //Строительные материалы. - 2002. - №11. - С. 20-21.
9. Азаров В.Н. Методика определения интенсивности пылевыведений от технологического оборудования. - Деп. в ВИНТИ 15.07.2002. - № 1332-В2002. - 8с.
10. Азаров В.Н. О фракционном составе пыли в рабочей зоне и инженерно-экологических системах //Междунар. науч.-техн. конф. "Технология, строительство и эксплуатация инженерных систем". - СПб, 2002. - С. 10-13.
11. Азаров В.Н., Сергина Н.М. Методика микроскопического анализа дисперсного состава пыли с применением ПК. - Деп. в ВИНТИ 15.07.2002. - № 1333-В2002. -9с.
12. Экологический аудит промышленных предприятий. Уч. пособ. / В.Н. Азаров, О.В. Юркьян. - Волгоград, Волг. гос. техн. ун-т, 2002. - 59 с.
13. Анализ состава атмосферных выбросов плавки свинцовосодержащих отходов /В.Н. Азаров, О.В. Юркьян, А.В. Глухов и др. // Литейное производство. -2001. - №9. - С. 30-31.
14. Азаров В.Н., Богуславский Е.И., Сергина Н.М., Учаев В.Н. Особенности образования и распространения в воздухе пыли асфальтобетонных заводов //Всерос. науч.- практ. конф. "Аэрозоли в промышленности и в атмосфере". - Пенза, 2001. - С. 67-69.

15. Богуславский Е.И., Азаров В.Н., Жемчужный А.М. Анализ результатов фракционного состава пыли в воздушной среде производственных помещений предприятий строительной индустрии //Матер, науч.-практ. сем. "Безопасность, экология, энергосбережение". - Ростов-на-Дону, 2001. - С.14-17.
16. Азаров В.П. Применение знакового метода статистического анализа для оценки фракционного состава пыли //Материалы науч.-практ. конф. "Проблемы охраны производственной и окружающей среды". - Волгоград, 2001.-С. 1-4.
17. Депонирование как метод складирования отходов строительных материалов /В.Н. Азаров, О.В. Юркьян, Б.Т. Донченко Б.Т. и др.// Строительные материалы. - 2000. - № 7. - С. 29-30.
18. Латышевская Н.И., Азаров В.Н., Грушко А.В. Анализ зависимости отклонений основных параметров функции внешнего дыхания от санитарно-гигиенических условий на рабочих местах предприятий //Междунар. науч. - практ. конф. "Экология и жизнь". - Пенза, 1999. - 4.1. - С.89-91.
19. Азаров В.И., Волынцева Л.Н., Сергина Н.М., Юркьян О.В. и др. Пылеуловители со встречными закрученными потоками / Под ред. В.Н. Азарова. - Волгоград, ООО "Ассоциация Волгоградлкотехзерно", 1999. - (Обзор изобретений). - 48 с.: ил.
20. Богуславский Е.И., Азаров В.Н. Интенсивность выделения и накопления пыли в производственном помещении // Безопасность жизнедеятельности. Охрана труда и окружающая среда. - Ростов-на-Дону, РИЦ Ростовской-на-Дону гос. академии сельхозмашиностроения, 1997. С. 48. - 49.
21. Азаров В.Н. Латышевская Н.И., Грушко А.В. Об оценке риска появления неудовлетворительной санитарно-гигиенической ситуации на мукомольных предприятиях //Междунар. науч.-техн. конф. "Проблемы охраны производственной и окружающей среды". - Волгоград, 1997. С. 18 - 19.
22. Азаров В.Н. Системы пылеулавливания и пневмотранспорта с использованием закрученных потоков //Концепция создания экологически чистых регионов. - Волгоград, 1991. - С. 20 - 24.
23. Кононенко В.Д., Азаров В.Н. Вентиляция и аспирация оборудования предприятий, производящих и потребляющих технический углерод / М.: ЦНИИТЗИНефтехим, 1989. - Вып.4. - (Нефтеперерабатывающая и нефтехимическая промышленность). Сер. "Охрана окружающей среды"; обзорная информация). - 48с.

24. Азаров В.Н. О распространении аэрозоля в атмосфере цехов с технологическими площадками //Всесоюз. совещ. по проблеме охраны воздушного бассейна от выбросов предприятий химической промышленности и промышленности строительных материалов. - Ереван, 1986. - С. 14.
25. Азаров В.Н. О расчете параметров воздушной среды на технологических площадках цехов нефтехимических производств // Науч. тр. /Рижский политех, ин-т. - Рига, 1980. - Вып. 12 . Вентиляция и кондиционирование воздуха. -С. 36-41
26. А.с. 1611451 СССР, МКИ<sup>5</sup> В 04 С 3/02, 3/06 Вихревой пылеуловитель/ И.Н. Ильин, В.Д. Кононенко, В.Н. Азаров и др. - №.1281306; Заявлено 13.12.88. Оpubл. 07.12.90. Бюл. №45.
27. А.с. 1445761 СССР, МКИ<sup>4</sup> В 01 D 4 Сепаратор для очистки сажи от твердых примесей/ В.Д. Кононенко, В.Н. Азаров и др. - №. 4275120; Заявлено 13.04.87. Оpubл. 23.12.88. Бюл. №47.
28. Пат. 2146935 Россия, МКИ В 04 С 3/06 Вихревой пылеуловитель для систем пневмотранспорта и аспирации/ В.Н. Азаров, С.А. Кошкарев и др. - № 99122912/12; Заявлено 01.11.1999. Оpubл. 27.09.2001. Бюл. № 27.
29. Пат. 2137528 Россия, МКИ В 01D 45/12, В 04 С 5/26. Двухступенчатый пылеуловитель/В.Н. Азаров, Е.И. Богуславский, Н.М. Сергина. - № 98116113/25 (017667); Заявлено 20.08.98. Оpubл. 20.09.99. Бюл. № 26.
30. Пат. № 2142323 Россия МКИ, 6 В 01 D 45/12, В 04 С 3/06. Вихревой коллектор - пылеуловитель /В.Н. Мартянов, В.Н. Азаров, Е.И. Богуславский; Заявлено 07.10.1998. Оpubл. 10.12.99. Бюл. №34.
31. Пат. 21244384 Россия, МКИ В 01 D 45/12, В 04 С 3/06. Вихревой пылеуловитель /В.Н. Азаров, Б.Т. Донченко, С.А. Кошкарев, В.Н. Мартянов. - № 96119220/25 (025656); Заявлено 26.06.96. Оpubл. 10.01.99. Бюл. №1.
32. Свидетельство на полезную модель 25426 Россия, МКИ 7 В 04 С 3/00, В 01 D 45/02. Установка отвеивания /В.Н. Азаров, А.Б. Голованчиков, Н.С. Кузнецова и др.; Заявлено 20.02.2002. Оpubл. 27.10,2002 Бюл. №30.
33. Свидетельство на полезную модель 21033 Россия, МКИ 7 В 04 С 7/00, 9/00. Установка для разделения пылевидных отходов /В.Н. Азаров, А.Б. Голованчиков, Н.С. Кузнецова и др; Заявлено 4.06.2001. Оpubл. 20.12.2001. Бюл. № 35.
34. Свидетельство на полезную модель 16701 Россия, МКИ 7 В 04 С 3/06. Горизонтальный вихревой коллектор-пылеуловитель/В.Н. Азаров, В.Н. Мартянов и др.; Заявлено 15.06.2000. Оpubл. 10.02.2001. Бюл. № 4.

35. Свидетельство на полезную модель 19642 Россия, МКИ 7 В 01 D 45/04, В 07 В 9/00, В 03 В9/04. Двухступенчатый пылеуловитель/ В.Н. Азаров, Б.О. Черевиченко; Заявлено 14.03.2001. Опубл. 20.09.2001. Бюл. №26.
36. Свидетельство на полезную модель 12919 Россия, МКИ 7 В 01 D 45/12, 46/02. Пылеотделитель /В.Н. Азаров, Е.В. Богач, Б.Т. Донченко. и др.; Заявлено 10. 08.1999. Опубл. 10.03.2000. Бюл. №7.
37. Свидетельство на полезную модель 10596 Россия, МКИ 6 В 01 D 45/12 В 04 СЗ/00. Разделитель -концентратор /В.Н. Азаров, Б.Т. Донченко и др.; Заявлено 10.01.1999. Опубл. 16.08.1999. Бюл. № 8.

ВАЛЕРИЙ НИКОЛАЕВИЧ АЗАРОВ

КОМПЛЕКСНАЯ ОЦЕНКА ПЫЛЕВОЙ ОБСТАНОВКИ  
И РАЗРАБОТКА МЕР ПО СНИЖЕНИЮ  
ЗАПЫЛЕННОСТИ ВОЗДУШНОЙ СРЕДЫ  
ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

Автореферат диссертации  
на соискание ученой степени доктора технических наук

---

Лицензия ИД № 04790 от 18 мая 2001г.

Подписано в печать 29.12.2003 формат 60х84<sup>1</sup>/<sub>16</sub>.

Бумага офсетная. Гарнитура Тайме.

Печать офсетная. Усл. печ. л. 2,0. Уч. изд. л. 2,0.

Тираж 150 экз. Заказ № 8

Отпечатано в типографии «Политехник»  
Волгоградского государственного технического университета.  
400131 Волгоград, ул. Советская, 35.