

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
«ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ – УЧЕБНО-НАУЧНО-
ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ КОМПЛЕКС»**

Т.И. Белова, В.И. Гаврищук, Е.М. Агашков

**ПРОЦЕССЫ И АППАРАТЫ ЗАЩИТЫ ОКРУЖАЮЩЕЙ
СРЕДЫ. ИССЛЕДОВАНИЯ ПАРАМЕТРОВ УДАЛЕНИЯ И
ОЧИСТКИ ВОЗДУХА ОТ ПЫЛИ**

Рекомендовано ФГБОУ ВПО «Госуниверситет – УНПК»
для использования в учебном процессе в качестве лабораторного практикума
для высшего профессионального образования

Орел 2013

УДК 504.5:628.5117(075)
ББК 20.18Я7
Б43

Рецензенты

кандидат технических наук, доцент
кафедры «Теория и методика
профессионального технологического образования»
Федерального государственного бюджетного образовательного
учреждения высшего профессионального образования
«Брянский государственный университет
имени академика И.Г. Петровского»,
А.С. Чайкин

кандидат технических наук, доцент кафедры
«Охрана труда и окружающей среды»
Федерального государственного бюджетного образовательного
учреждения высшего профессионального образования
«Государственный университет – учебно-научно-
производственный комплекс»
А.В. Абрамов

Белова Т.И.

Б43 Процессы и аппараты защиты окружающей среды. Исследования параметров удаления и очистки воздуха от пыли: лабораторный практикум для высшего профессионального образования / Т.И. Белова, В.И. Гаврищук, Е.М. Агашков. – Орел: ФГБОУ ВПО «Госуниверситет - УНПК», 2013. – 69 с.

Лабораторный практикум является универсальным пособием, включающим теоретический, методический и практический материалы, полученные на основании существующих и собственных научных исследований.

Предназначен для студентов специальности 280202 «Инженерная защита окружающей среды», изучающим дисциплину «Процессы и аппараты защиты окружающей среды».

УДК 504.5:628.5117(075)
ББК 20.18Я7

СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	4
1. Методы определения запыленности воздуха	5
2. Методы дисперсного анализа пыли	9
2.1. Основные методы дисперсного анализа пыли	9
2.2. Метод микроскопирования пыли	10
3. Эффективность пылеудаления местной вытяжной вентиляции....	12
3.1. Системы вентиляции производственных помещений и их классификация.....	13
3.2. Оценка эффективности местных отсосов.....	20
3.3. Методика определения концентрации пыли в воздухе гравиметрическим методом.....	22
4. Системы контроля параметров удаляемого воздуха.....	25
5. Средства пылеочистки удаляемого воздуха.....	32
5.1. Классификация оборудования, применяемого для очистки воздуха.....	32
5.2. Сухие механические пылеуловители.....	33
5.3. Мокрые пылеуловители.....	35
6. Описание лабораторных работ.....	43
Лабораторная работа № 1. Определение дисперсного состава пыли в воздухе счетным методом	43
Лабораторная работа № 2. Определение дисперсного состава пыли в удаляемом воздухе системами вентиляции из производственного помещения	48
Лабораторная работа № 3. Определение эффективности работы местной вытяжной вентиляции промышленного предприятия.....	53
Лабораторная работа № 4. Оптические методы контроля содержания пыли в удаляемом воздухе из производственного помещения	56
Литература.....	61
Приложение А. Характеристики систем пылеочистки	63
Приложение Б. Определение группы дисперсности пыли	65
Приложение В. Классификация пылеуловителей.....	66
Приложение Г. Подразделение пылеуловителей по нижнему пределу размеров частиц пыли	67
Приложение Д. Форма отчета по лабораторной работе	68

ВВЕДЕНИЕ

Профессиональная деятельность специалиста по защите окружающей среды связана с источниками выделения загрязняющих веществ, энергетических и других факторов воздействия на окружающую среду, потоками загрязняющих веществ сточных вод газов, отходов различных видов, переработкой и захоронением отходов, энергосбережением и снижением энергетических воздействий на окружающую среду и др.

Инженер-эколог в своей профессиональной деятельности должен участвовать в разработке, эксплуатации и совершенствовании процессов и аппаратов защиты окружающей среды, а также знать их принципы работы, технические характеристики, конструктивные параметры.

Лабораторный практикум состоит из теоретической и практической частей. В первой части приведены основные методы определения концентрации и дисперсного состава пылей, существующие и перспективные системы удаления и пылеочистки воздуха промышленного предприятия. Во второй части – лабораторные работы, при проведении которых студенты на практике используют указанные выше методы.

1. МЕТОДЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЗАПЫЛЕННОСТИ УДАЛЯЕМОГО ВОЗДУХА

Все методы определения концентрации пыли делятся на методы с предварительным осаждением и методы без предварительного осаждения пылей [1].

К первой группе методов относятся:

1. *Весовой (гравиметрический) метод* измерения концентрации пыли заключается в выделении из пылегазового потока частиц пыли и определении их массы путем взвешивания.

2. *Радиоизотопный метод* измерения концентрации пыли основан на использовании свойства радиоактивного излучения поглощаться частицами пыли. Непосредственно измерить поглощение радиоактивного излучения пылью, взвешенной в воздухе или движущейся в пылегазовом потоке, практически невозможно из-за малой концентрации пыли. Поэтому запыленный воздух предварительно фильтруют и затем определяют массу осевшей пыли по ослаблению радиоактивного излучения при прохождении его через пылевой осадок.

3. *Фотометрический метод* измерения основан на предварительном осаждении частиц пыли на фильтре и определении оптической плотности пылевого осадка. Метод включает операции, аналогичные весовому методу, но вместо взвешивания пылевого осадка проводят его фотометрирование. Оптическую плотность пылевого осадка можно определять путем измерения поглощения или рассеяния им света.

4. *Люминесцентный метод*. Для определения концентрации пыли в атмосферном воздухе используют осаждение ее на фильтр, обработанный определенными флуоресцирующими растворами, и последующее измерение интенсивности излучения флуоресценции. Для исключения влияния изменения флуоресцентных свойств фильтра измеряют интенсивность флуоресценции фильтра до и после осаждения на нем пылевого осадка.

5. *Пьезоэлектрический метод*. Одним из перспективных методов измерения концентрации пыли является пьезоэлектрический метод. Возможны два варианта использования этого метода: измерение изменений частоты колебаний пьезокристалла при осаждении на его поверхности частиц пыли и счет электрических импульсов, возникающих при соударении частиц пыли с пьезокристаллом.

6. *Метод, основанный на улавливании пыли водой.* Метод основан на полном улавливании частиц пыли водой и на дальнейшем отделении ее от газа. По степени помутнения воды судят о концентрации пыли в пылегазовом потоке, пропускаемом через воду. Мутность образующейся водной суспензии определяют по интенсивности прошедшего через нее светового потока, которая сравнивается с интенсивностью светового потока, прошедшего через кювету с чистой водой. Разность интенсивностей света характеризует массовую концентрацию пыли в водной суспензии. Определив объем, газа, контактировавшего с водой, находят концентрацию пыли в контролируемом пылегазовом потоке. Поскольку образующаяся водная суспензия хорошо рассеивает свет, степень ее помутнения лучше определять по интенсивности рассеянного света. Для этого можно использовать нефелометр (например, ФЭК-М) или любой мутномер жидкости.

7. *Метод механических вибраций.* В основу метода механических вибраций положено измерение изменений частоты колеблющегося элемента при осаждении на нем пыли. Можно использовать колеблющийся фильтр, укрепленный в пружинном держателе. Специальное устройство возбуждает колебания фильтра в горизонтальной плоскости. С помощью насоса пылегазовый поток пропускают через фильтр и измеряют частоту колебаний последнего до и после прокачивания потока. Сравнительное устройство выдает сигнал, пропорциональный массе осевшей пыли. Для исключения погрешности из-за наличия влаги в контролируемом потоке, прибор снабжают подогревателем.

8. *Метод, основанный на измерении перепада давлений на фильтре.* Концентрацию пыли можно определить, пропуская пылегазовый поток с постоянной скоростью через фильтр и измеряя разность давлений на входе и выходе фильтра.

Ко второй группе методов относятся:

1. *Оптические методы*, позволяющие вести контроль запыленности в реальном времени, что дает возможность оперативного реагирования на изменение концентрации пыли как в больших так и в малых объемах. Они включают:

– *Абсорбционный метод*, основанный на явлении поглощения света при прохождении его через пылегазовую среду.

– *Метод интегрального светорассеяния*, который дает возможность определять массовую концентрацию частиц пыли по измерению суммарной интенсивности рассеянного света.

– *Метод счета частиц по интенсивности рассеянного света.* Для измерения малых концентраций пыли в атмосферном воздухе, воздухе помещений высокой чистоты (электровакуумное, полупроводниковое производство), а также для проверки, эффективности работы фильтрующих устройств широко используются счетчики частиц, основанные на измерении интенсивности рассеянного частицей света. При этом в момент измерения в освещаемом объеме счетчика находится только одна частица. Импульсы рассеянного света регистрируются амплитудным анализатором импульсов, а затем суммируются по классам. Таким образом, определяется не только счетная концентрация частиц пыли, но и их дисперсный состав.

– *Метод лазерного зондирования.* Для измерения концентрации атмосферной пыли в больших пространствах и пыли, выбрасываемой в атмосферу промышленными предприятиями, удаленными от места измерения на расстояния до 10 км, используют оптические дистанционные методы. Наиболее пригодны для этой цели оптические методы анализа в видимой и ближней инфракрасной области спектра с применением лазерных радаров-лидаров.

2. *Электрические методы* положены в основу создания пылемеров, измеряющих концентрации аэрозолей непосредственно в пылевоздушной среде. На достоверность результатов этих приборов, существенное влияние оказывают влажность, природа пыли и изменение ее дисперсного состава во времени, поэтому широкого распространения для анализа атмосферного воздуха они не получили. К ним относятся:

– *Контактно-электрический метод* основан на способности пылевых частиц электризоваться при соприкосновении с твердым материалом. Основными элементами пылемера, основанного на контактно-электрическом методе, являются электризатор, где происходит зарядка пылевых частиц, и токосъемный электрод, которому частицы передают свой заряд. При этом сила тока в цепи токосъемного электрода является мерой концентрации частиц пыли.

– *Емкостной метод* основан на измерении изменения емкости конденсатора при введении частиц пыли между его пластинами. Если конденсатор включить в цепь колебательного контура, частота собственных колебаний которого сравнивается с эталонной, то по разности частот можно судить о концентрации пыли.

– *Пьезоэлектрический метод* может быть использован для измерения счетной концентрации частиц пыли путем суммирования

электрических импульсов, возникающих при соударении частиц с пьезокристаллом.

3. *Акустический метод* определения концентрации пыли основан на измерении изменений параметров акустического поля при наличии частиц пыли в пространстве между источником и приемником звука.

2. МЕТОДЫ ДИСПЕРСНОГО АНАЛИЗА ПЫЛИ

2.1. Основные методы дисперсного анализа пыли

Одним из основных параметров пыли является дисперсный состав, при помощи которого можно рассчитать скорость движения воздуха в зоне вытяжных зондов, как для удаления пыли из воздуха рабочей зоны, так и для ее сбора, как продукта производства. Диапазон аэрозольных частиц находится в пределах $10^{-7} - 10^{-1}$ см [2]. Нижний предел обуславливается возможностью длительного самостоятельного существования, а верхний предел ограничен тем, что крупные частицы очень быстро осаждаются под действием силы тяжести.

Размеры пылинок имеют большое гигиеническое значение, так как чем мельче пыль, тем глубже она проникает в дыхательную систему. Если относительно крупные пылинки (5 – 10 мкм и более) при вдыхании в большей степени задерживаются в верхних дыхательных путях и постепенно удаляются оттуда со слизью (отхаркиваются), то мелкая пыль (менее 5 мкм), как правило, проходит в легкие и оседает на длительный срок, вызывая поражение легочной ткани [3].

Так же дисперсный анализ удаляемого запыленного воздуха системами местной вытяжной вентиляции позволяет судить об эффективности ее работы.

Для определения дисперсного состава пыли существует несколько методов: ситовый, седиментометрический, микроскопический и метод центробежной сепарации [4, 5].

Ситовый метод – разделение частиц на фракции путем последовательного просеивания навески пыли через лабораторные сита с отверстиями различных размеров.

Седиментометрический – разделение навески пыли на отдельные фракции путем ее осаждения в жидкой или газообразной среде.

Микроскопический метод – рассмотрение пылевых частиц с помощью оптического или электронного микроскопа, определение формы частиц, их размера и количества по фракциям.

Центробежная сепарация – разделение пыли на фракции с помощью центробежной силы в специальном аппарате.

На выбор метода для анализа влияет вид пыли, требуемая точность, наличие соответствующего оборудования и другие факторы.

2.2. Метод микроскопирования пыли

При использовании метода микроскопирования частицы пыли относятся к определенной фракции по наибольшему линейному размеру в соответствии со следующими диапазонами: 1-1,3-1,6-2,0-2,5-3,2-4,0-5,0-6,3-8,0-13-16-20-25-32-40-50-63-100-500-1000 мкм [3, 6]. Метод микроскопирования при визуальном анализе является трудоемким, поэтому для уменьшения затрат времени и напряжения внимания используются цифровой фотоаппарат и компьютерные программы [3, 4].

При определении дисперсного состава пыли воздуха рабочей зоны и воздуха, удаляемого системой вентиляции, необходимо производить отбор проб из соответствующих мест. Пробы осаждают либо на аналитических фильтрах, либо собирают с помощью систем осаждения. И тот, и другой метод сбора позволяют проводить дисперсный анализ методом микроскопирования. Более доступным является метод микроскопирования аналитических фильтров. На рис. 1 приведены микрофотографии анализируемых частиц пыли.

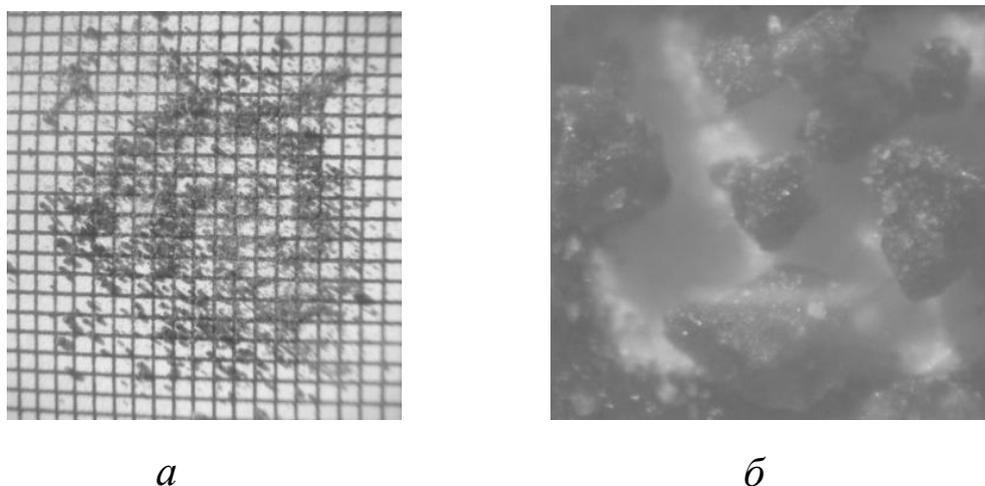


Рис. 1. Микрофотографии пыли: *а* – общий вид осажденной пыли на поверхности при увеличении 4,8×; *б* – при увеличении 56× одной из областей

Распределенная на аналитических фильтрах пыль считается по элементарным площадкам, как правило, 1 мм² [3]. Для дисперсного анализа на запыленную сторону фильтра накладывается стекло с разметкой 1×1 мм. Затем микроскопируется при увеличении 100× и фотографируются при помощи цифрового фотоаппарата. Фотографии

переносятся на ПЭВМ в графические программы, где устанавливается масштаб снимка (рис. 2). Частицы относятся к той или иной фракции по наибольшему линейному размеру.

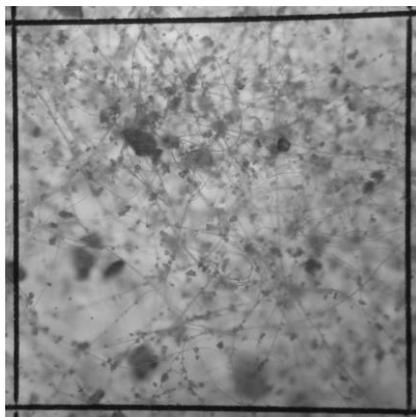


Рис. 2. Микрофотография аналитического фильтра с пробой пыли

Подсчитав частицы в каждой из сделанных фотографий, делаем вывод о дисперсном составе пыли (рис.3).

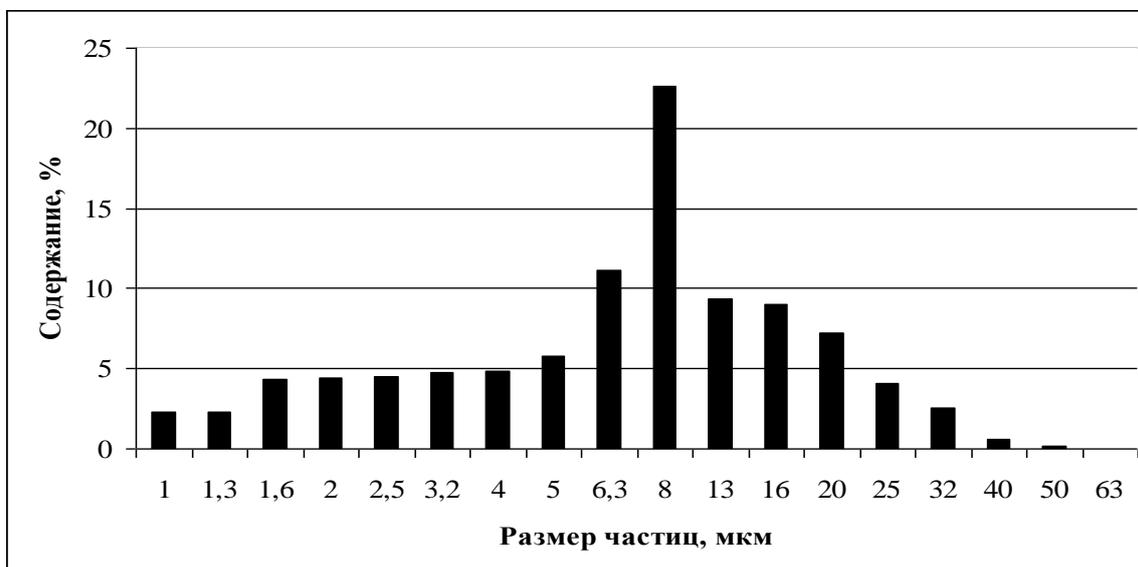


Рис. 3. Дисперсный состав пыли по количеству частиц в удаляемом воздухе

По результатам массового распределения частиц пыли определяют группу дисперсности пыли и выбирают средства очистки воздуха [7].

3. ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПЫЛЕУДАЛЕНИЯ МЕСТНОЙ ВЫТЯЖНОЙ ВЕНТИЛЯЦИИ

3.1. Системы вентиляции производственных помещений и их классификация

Наличие множества различных вредных факторов на производстве (тепловыделения и влаговыведения, выделение вредных газов, паров и пылей) требует установки вентиляционных систем.

Если классически (рис. 4) рассматривать системы вентиляции, то все они подразделяются по способу инициирования движения воздуха на естественные (организованные и неорганизованные) и искусственные [8]. Искусственные системы вентиляции по направлению потока воздуха бывают приточными, вытяжными, приточно-вытяжными, рециркуляционными; по зоне обслуживания – общеобменные и местные; по использованию воздуховодов – канальные и бесканальные.

Неорганизованная естественная вентиляция называется инфильтрацией, которая осуществляется за счет неплотностей оконных и дверных проемов, а также пор материалов конструктивных элементов зданий.

Создание естественной вентиляции происходит из-за воздействия ветрового давления и разности температур и весов воздуха (внутри $t_в \gamma_в$ и снаружи $t_н \gamma_н$) производственных помещений. На рис. 5 показана схема распределения давления воздуха и разность высот приточного и вытяжного проемов. При естественной вентиляции необходимо располагать оборудование перпендикулярно стенам для обеспечения свободного движения воздушных потоков.

Против проходов между оборудованием в стенах оборудуют приточные отверстия в виде открывающихся фрамуг, через которые свободно поступает свежий воздух в помещения. При этом свежий воздух вытесняет загрязненный воздух, находящийся в помещении.

Одним из способов обеспечения естественной вентиляции является проветривание помещений, открывая форточки и фрамуги в окнах и световых фонарях (рис. 6). Но воздухообмен в холодный период года допускается не более однократного в час, из-за необходимости не допустить снижения температуры воздуха внутри помещения ниже допустимой, туманообразования и конденсации водяных паров на поверхности стен, покрытий, остекления [9].



Рис. 4. Классификация существующих систем вентиляции

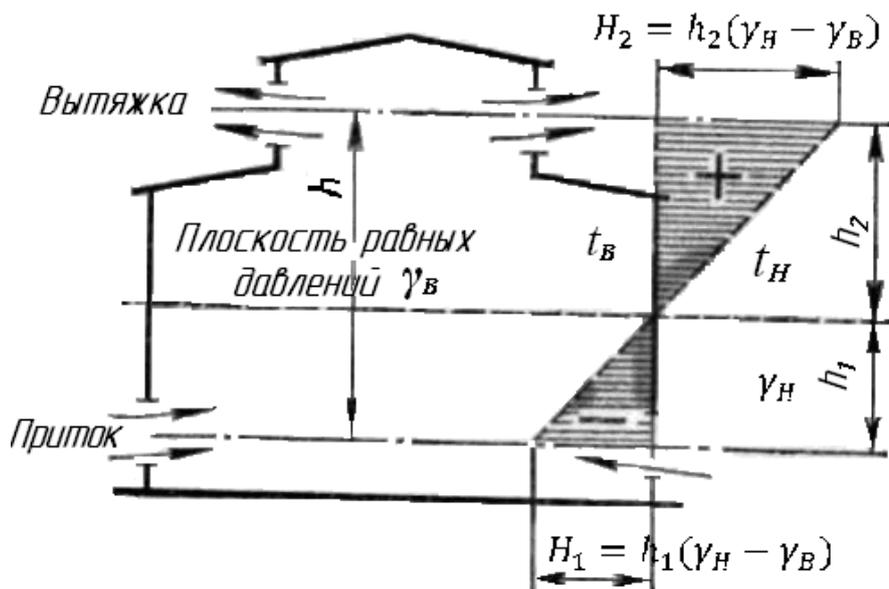


Рис. 5. Распределение давления воздуха в помещении при естественной вентиляции

На организованную естественную вентиляцию (аэрацию) возлагается роль общеобменной вентиляции производственных помещений для обеспечения расчетных параметров. Для достижения нормальной и эффективной работы естественной вентиляции необходимо здание расположить перпендикулярно направлению или под углом не менее 45° направлению господствующих ветров.

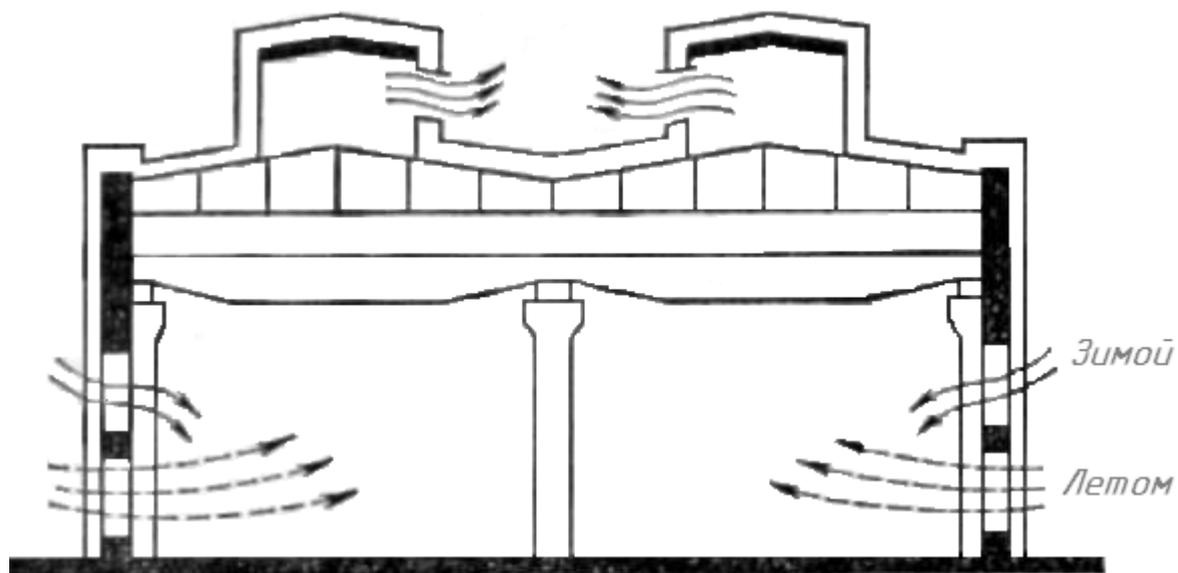


Рис.6. Схема поступления и удаления воздуха при аэрации

Окна в стенах и фонарях на крышах оборудуются механизмами, обеспечивающими их открывание с пола и регулируют в зависимости от направления и силы ветра воздухообмен в необходимых объемах. Надежное действие аэрации можно обеспечить только при частом открывании и закрывании окон (фрамуг), что требует повышенной надежности и хорошей конструкции механизмов открытия-закрытия, а также их механизации.

Приток воздуха в помещение предусматривается в теплый период года на высоте не более 1,8 м от пола, а в холодный период года – не ниже 4 м от пола. Для этого по высоте боковых проемов здания располагают два ряда фрамуг.

Для повышения эффективности воздухообмена в производственных помещениях устанавливаются вытяжные каналы, которые выводятся на крышу и оснащаются дефлекторами, работающие за счет теплового напора и действия силы ветра. Разработано большое количество дефлекторов различных типов, но широкое распространение получили дефлекторы ЦАГИ (рис. 7) [9].

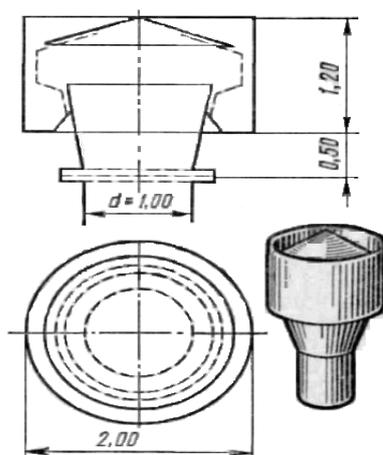


Рис. 7. Круглый дефлектор ЦАГИ

Установка дефлекторов выше коньков крыши производственных помещений обеспечивает улавливание ими ветрового напора любого направления. Данная конструкция дефлектора исключает обратную тягу (в помещение), а при непогоде – проникновение в здание дождя и снега.

Преимущества систем естественной вентиляции:

- простота конструкции;
- отсутствие необходимости установки дорогостоящего оборудования;

- отсутствие энергозатрат на работу вентиляции;
- огромный воздухообмен при малых затратах [8 – 11].

Недостатки систем естественной вентиляции:

- зависимость от условий внешней среды;
- небольшое создаваемое давление;
- отсутствие возможности подготовки подаваемого воздуха (подогрев, очистка, увлажнение) в производственное помещение [8 – 11].

Из-за наличия большого количества выделений тепла, влаги, и особенно вредных газов (паров) и пыли на предприятиях пищевой промышленности к системам естественной вентиляции необходимо добавлять системы искусственной вентиляции для нормализации параметров воздушной среды. Искусственные вентиляционные системы позволяют в разы увеличить качество воздухообмена производственных помещений и сделать их автономными (независимыми от условий окружающей среды). Однако применение отдельно как естественной, так и искусственной системы вентиляции нежелательно, так как первая не обеспечивает необходимого качества воздуха производственного помещения, а для работы второй необходим подток свежего воздуха [8 – 11].

Для создания необходимого давления используют искусственную вентиляцию, в которой применяется различное оборудование (вентиляторы, электродвигатели, воздухонагреватели, автоматика и др.). Это оборудование позволяет создать широкую сеть воздуховодов в здании и обеспечить необходимые условия труда. При этом главным недостатком искусственной системы вентиляции является потребность в сложном и дорогом оборудовании и большие энергозатраты на работу вентиляции.

По конструктивному исполнению системы искусственной вентиляции делятся на канальные и бесканальные (рис. 8) [8].

Бесканальные системы вентиляции характеризуются простотой конструкции, но малой зоной действия – интенсивный воздухообмен происходит только в ближней зоне, что не позволяет достичь необходимого качества воздуха производственного помещения. Также отсутствует возможность установки специального оборудования (фильтров, увлажнителей). Канальные системы позволяют равномерно распределить воздухообмен по всему помещению, а также обеспечить необходимое качество воздуха (за счет установки специального оборудования и герметизации загрязненного воздуха в вентиляционных каналах) в конкретных зонах производственного помещения [9 – 11].

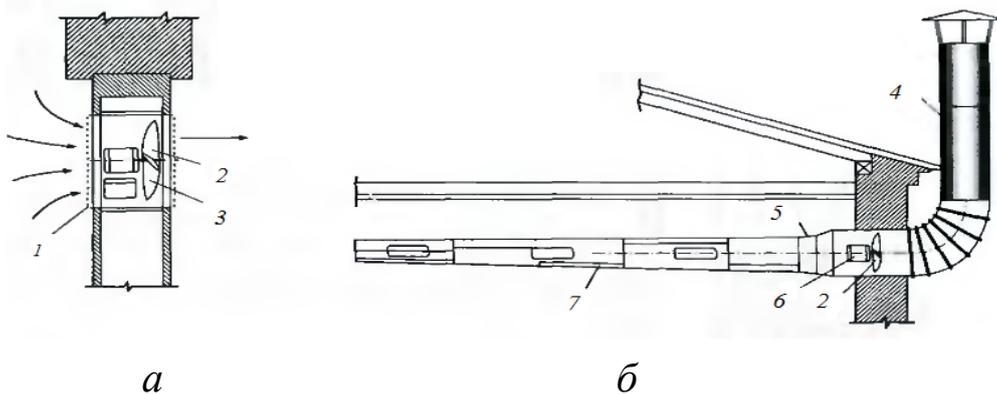


Рис. 8. Канальные и бесканальные системы вентиляции:
а – бесканальные системы, *б* – канальные системы; *1* – утепленный клапан, *2* – вентилятор, *3* – лопасти вентилятора, *4* – вытяжная шахта, *5* – шибер, *6* – электродвигатель, *7* – вытяжная сеть

По зоне обслуживания канальные и бесканальные системы вентиляции подразделяются на общеобменные и местные.

Общеобменные системы вентиляции подразделяются на вытяжные, приточные, приточно-вытяжные и рециркуляционные (рис. 9). Местные системы делятся на приточные и вытяжные.

Приточные системы применяют для подачи в помещения чистого воздуха, в результате чего происходит разбавление воздуха помещения, в нем снижается концентрация вредных веществ, стабилизируется температура и влажность воздуха. Но при работе в условиях повышенной концентрации вредных газов (паров) и пылей, не всегда возможно разбавление до значений ПДК, что часто приводит к распространению вредных веществ по всему объему помещения. Как правило, приточный воздух перед подачей в помещение необходимо подвергнуть очистке от пылей, подогреву, увлажнению, для чего необходимо устанавливать фильтры, калориферы и другое оборудование.

Вытяжная вентиляция необходима для удаления загрязненного и отработанного воздуха из помещения.

Приточно-вытяжная вентиляция применяется для создания сбалансированного воздухообмена, что позволяет значительно увеличить качество воздушной среды.

Рециркуляционные системы вентиляции применяются в холодное время года в целях энергосбережения, затрачиваемого на обработку воздуха. Частично удаляемый из помещения воздух после его

очистки направляется обратно в помещение. Поступающий атмосферный воздух должен составлять не менее 10 % от общего количества поступающего воздуха в помещение, в котором должно быть не более 30 % вредных веществ [9].

Применение рециркуляционных систем нежелательно в условия наличия в воздухе вредных веществ 1, 2 и 3-го классов опасности, неприятных запахов и болезнетворных микроорганизмов, и возможности значительного увеличения концентрации вредных веществ

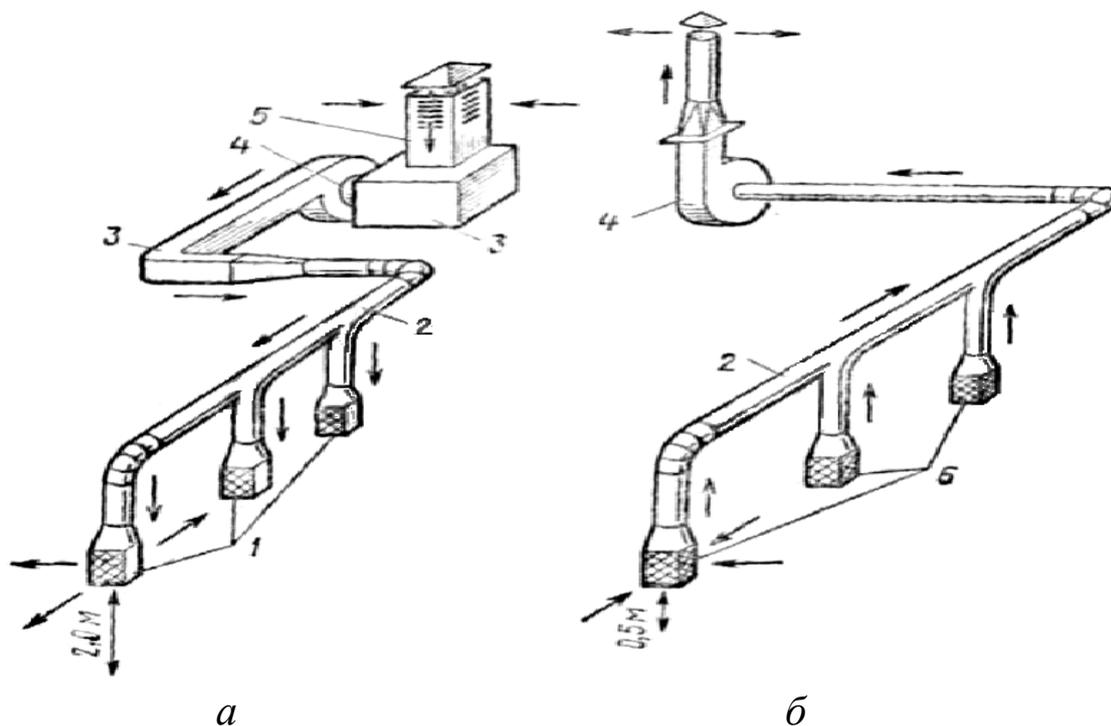


Рис. 9. Схемы приточной и вытяжной систем вентиляции:
а – приточная вентиляция, *б* – вытяжная вентиляция;
1 – воздухораспределители, *2* – воздуховоды, *3* – калорифер,
4 – вентилятор, *5* – воздухозаборная шахта, *6* – воздухоприемники

Местные приточные системы вентиляции должны подавать чистый подготовленный воздух к рабочим местам для разбавления вредных веществ в воздухе рабочей зоны, создания необходимых параметров микроклимата и снижения интенсивности теплового облучения работающих. Местные приточные системы могут быть в виде воздушных душей и воздушных оазисов. Разбавление вредных веществ ведет к их распространению по всему помещению.

Для недопущения распространения вредных выделений производства используются системы местной вытяжной вентиляции (рис. 10).

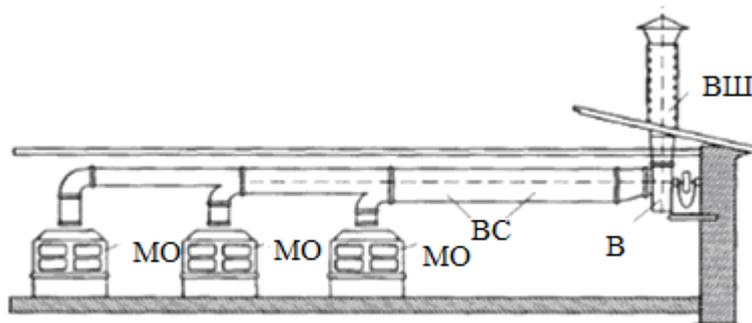


Рис. 10. Схема местной вытяжной вентиляции:
МО – местные отсосы, ВС – вытяжные каналы, В – вентилятор,
ВШ – вытяжная шахта

Конструктивное исполнение местной вытяжной вентиляции может быть открытого типа: бортовые отсосы, полуоткрытого типа: вытяжные шкафы, зонты (рис. 12) и закрытого типа, герметизирующие оборудование с вредными выделениями.

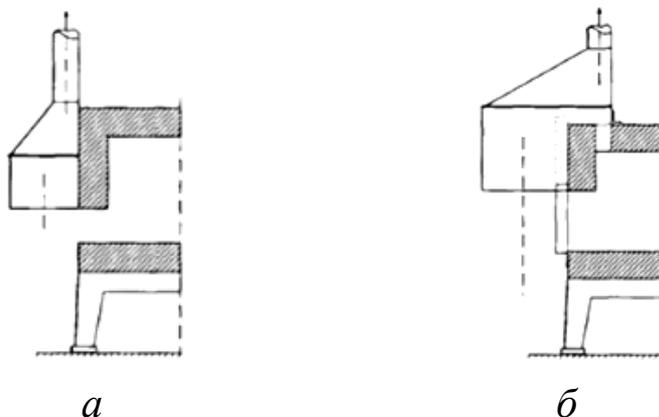


Рис. 11. Зонты-козырьки у нагревательных печей:
а – у щелевого отверстия при выпуске через него продуктов горения;
б – у отверстия снабженного дверкой при выпуске продуктов горения через газовые окна

Следует отметить, что отвод вредных выделений с помощью бортовых отсосов достигается только при значительном расходе воздуха.

К местной вытяжной вентиляции предъявляются следующие требования:

- источник выделения вредных веществ должен быть по возможности полностью закрыт вытяжными устройствами;
- конструкция вытяжных устройств должна обеспечить нормальную работоспособность работающих;
- вредные выделения должны улавливать по наиболее вероятному пути их движения (горячие пары – вверх, холодные пары и пыли – вниз) [9].

Местные вытяжные системы являются достаточно эффективными средствами обеспечения качества воздуха рабочей зоны за счет:

- локализации вредных выделений;
- снижения энергопотребления системами вентиляции из-за меньшего расхода воздуха;
- концентрирования вредных выделений в удаляемом воздухе обеспечить более качественную его очистку перед выбросом в атмосферу [8, 10].

При использовании существующих искусственных систем вентиляции имеет место низкая эффективность их использования из-за:

- из-за отсутствия регулирования работы системы вентиляции;
- из-за недостаточной очистки воздуха рабочей зоны при малой мощности электродвигателя вентилятора;
- из-за повышенных энергозатрат на работу системы вентиляции при малых концентрациях вредных веществ в воздушной среде;
- из-за необходимости при проектировании производить точные расчеты с учетом концентрации вредных веществ и параметров микроклимата, уровней шума и вибрации [10, 11].

Классические системы вентиляции, применяемые для улучшения условий труда на производстве, не обеспечивают необходимого снижения концентрации пыли в воздухе рабочей зоны.

3.2. Оценка эффективности местных отсосов

На рис. 12 представлена схема организации воздухообмена в помещении. Вредные вещества поступают из источника 2 в количестве G_{BP} , мг/ч, большая часть их (G_{MO}) удаляется местным отсосом производительностью L_{MO} , м³/ч, и концентрацией q_{MO} , мг/м³ [12].

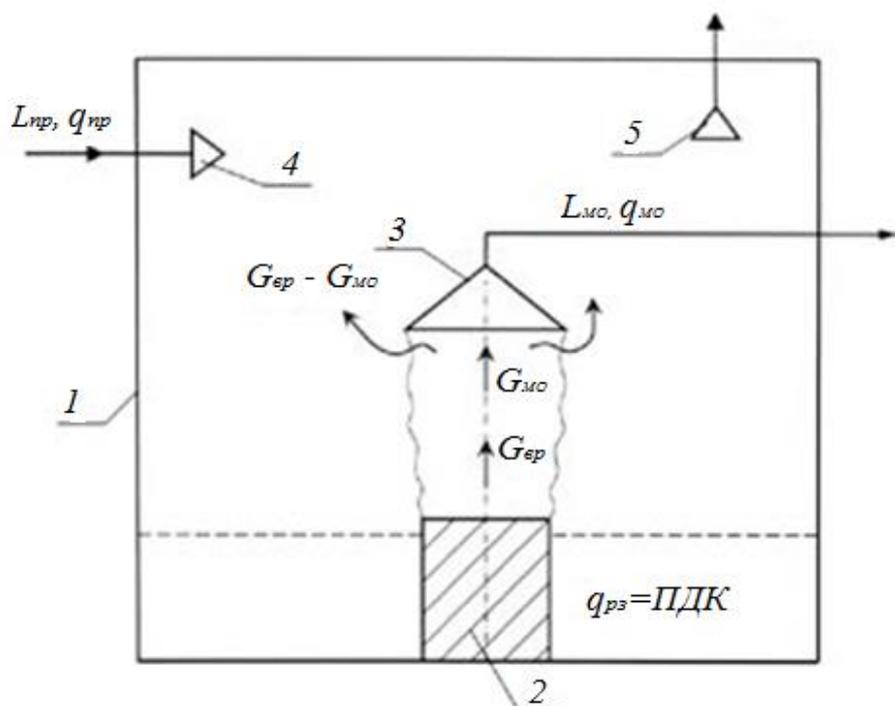


Рис. 12. Схема организации воздухообмена в помещении:
 1 – помещение; 2 – источник вредных выделений; 3 – отсос;
 4 – общеобменная приточная вентиляция; 5 – общеобменная
 вытяжная вентиляция

Вредные выделения, не уловленные отсосом, в количестве ($G_{BP} - G_{MO}$) поступают в воздух помещения 1, где разбавляются системой приточной общеобменной вентиляции 4 с расходом $L_{пр}$ и начальной концентрацией $q_{пр}$ до предельно допустимой концентрации вредных веществ в рабочей зоне $q_{рз} = ПДК$, мг/ м³, а затем удаляется из помещения 1 общеобменной вытяжной вентиляцией 5 в количестве $L_{ух}$ и концентрацией $q_{ух}$.

Представим себе, что отсос 3 (рис.12) работает неудовлетворительно, его коэффициент улавливания низок. При увеличении расхода воздуха L_{MO} , удаляемый отсосом, коэффициент $K_{УЛ}$ будет расти и, в конце концов, достигнет приемлемой величины. Однако концентрация вредных выделений q_{MO} в удаляемом отсосом воздухе станет понижаться с ростом L_{MO} , так как отсос работает плохо. В предельном случае величина q_{MO} может стать равной ПДК, т.е. местная вытяжная вентиляция будет работать как общеобменная, что неэкономично, поскольку стоимость 1 м³ воздуха, удаляемого местным отсосом, выше, чем аналогичное количество воздуха, удаляемого общеобменной вентиляцией. Отсюда следует вывод, что по величине только одного ко-

ээффициента – коэффициента улавливания $K_{УЛ}$ – нельзя сделать окончательный вывод об эффективности отсоса.

Работу местной вентиляции оценивают по величине коэффициента улавливания, равного отношению количества вредностей, удаляемых отсосом, к общему (валовому) количеству выделений:

$$K_{УЛ} = \frac{G_{МО}}{G_{ВР}}. \quad (1)$$

На первый взгляд кажется, что чем ближе величина $K_{УЛ}$ к единице и, следовательно, меньшее количество вредных веществ прорывается в воздух рабочей зоны, тем лучше работает отсос, но это так.

Установка местной вытяжной вентиляции целесообразно только в том случае, если ведет к сокращению воздухообмена, т.е. при котором достигается максимальное улавливание вредностей при минимальном воздухообмене, чему соответствуют высокие концентрации вредностей в удаляемом отсосом воздухе ($q_{МО}$). Поэтому вводится понятие коэффициента эффективности, представляющего собой отношение концентраций вредных веществ в удаляемом местным отсосом воздухе и в рабочей зоне, где концентрация принимается равной ПДК:

$$K_{эф} = \frac{q_{МО}}{ПДК}. \quad (2)$$

Чем больше $K_{эф}$, тем удачней конструкция отсоса.

3.3. Методика определения концентрации пыли в воздухе гравиметрическим методом

Для гигиенической характеристики чистоты воздуха помещений имеет значение определение количественной и качественной характеристик содержащейся в нем пыли. При этом необходимо учитывать количество пыли и ее дисперсный состав.

Содержание (концентрацию) пыли в воздухе определяют по ее массе (мг) в единице объема ($м^3$) – весовой метод и по числу пылинок в $1 см^3$ – счетный метод.

В производственных условиях находят применение разнообразные методы и средства контроля воздуха на содержание пыли.

Контроль за содержанием пыли может быть постоянным, осуществляемым с помощью автоматических приборов и систем, или периодическим — путем кратковременного разового измерения концентрации пыли. В последнее время наметилась тенденция к использованию индивидуальных пылеотборников (для оценки пылевой нагрузки) и экспресс-пылемеров (портативный прибор, измеряющий концентрацию пыли на рабочих местах за период, не превышающий 5 мин).

Наиболее доступным является весовой (гравиметрический) метод. Для этого анализируемый воздух засасывают с помощью различных аспираторов через специальные фильтры (АФА). Эти фильтры обладают высокой эффективностью пылеулавливания, малым сопротивлением току аспирируемого воздуха, низкой гигроскопичностью, устойчивостью к действию химических веществ. Кроме того, данные фильтры могут просветляться в органических веществах (парах ацетона), что позволяет определять дисперсность пыли.

Для анализа аспиратором засасывают определенный объем воздуха (около 100 л) через предварительно взвешенный и установленный в кассете фильтр (рис. 13). Затем его повторно взвешивают на аналитических весах. По разности массы фильтра до и после отбора пробы судят о количестве пыли.

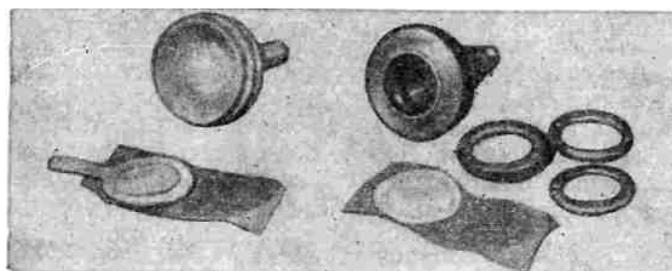


Рис. 13. Кассета для отбора проб пыли из ткани ФПП

Подготовка фильтров к отбору проб. Фильтры выдерживают в условиях комнатной температуры при 30 – 80 % относительной влажности воздуха в течение 40 – 60 мин. Затем необходимое количество их взвешивают на аналитических весах с точностью до 0,05 мг. Сведения о массе измеренного фильтра и его порядковый номер вносят в лабораторный журнал. Взвешенный фильтр помещают в

корпус кассеты, сверху накладывают кольца, прокладку и затягивают гайкой. Собранные кассеты укладывают в кальку и упаковывают в ящик.

Отбор проб. Воздух со скоростью 25 – 100 л/мин засасывают через фильтр АФА, укрепленный в патроне. Продолжительность отбора пробы зависит от степени запыленности воздуха.

4. СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ ПАРАМЕТРОВ УДАЛЯЕМОГО ВОЗДУХА

В современном мире наметилась тенденция к энергосбережению и повышению качества воздуха производственных помещений, что требует новых подходов к разработке систем вентиляции производственных помещений с учетом контроля параметров воздушной среды [8, 10, 11].

В данном направлении разработано достаточно много, но мало уделено внимания контролю параметров воздушной по содержанию пылей по причине различий ее свойств и полидисперсности.

На рис. 14 представлен способ вентиляции промышленного предприятия [10].

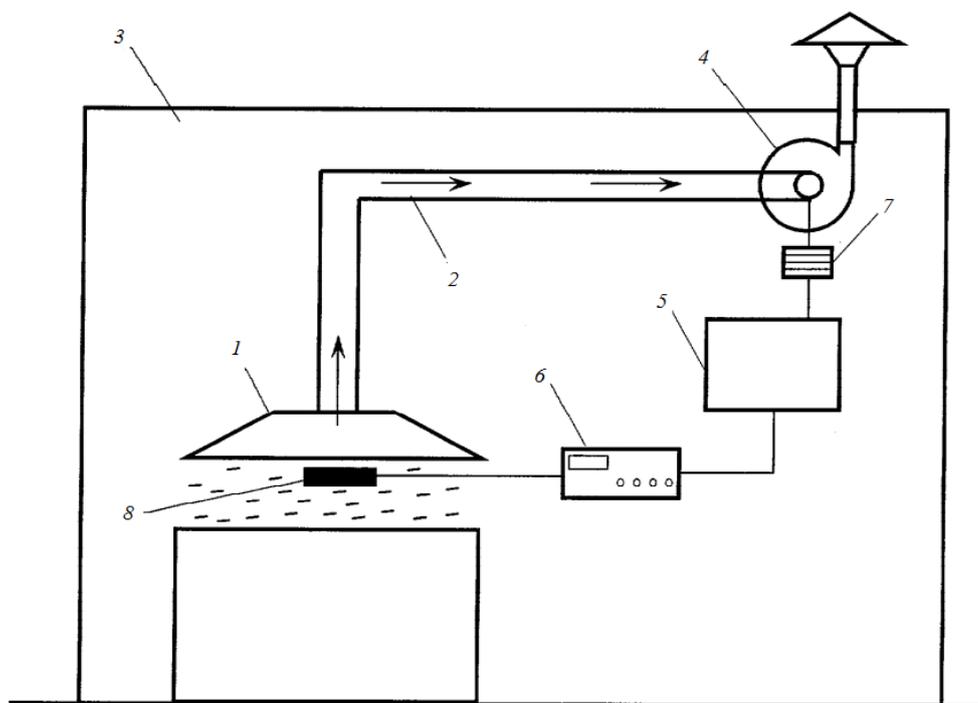


Рис. 14. Способ вентиляции промышленного предприятия:
1 – воздуховоды местных отсосов загрязненного воздуха,
2 – основной воздуховод вытяжной вентиляции,
3 – производственный цех, 4 – вытяжной вентилятор,
5 – регулятор расхода воздуха, 6 – газоанализатор концентрации вредных веществ в воздухе рабочей зоны, 7 – исполнительный механизм, 8 – газозаборный зонд

Способ вентиляции промышленного предприятия позволяет обеспечить регулирование концентрации вредных веществ в воздухе рабочей зоны изменением частоты вращения вентилятора (расходом воздуха), что ведет к снижению времени нахождения работающих в условиях повышенных концентраций вредных веществ и снижению энергопотребления системами вентиляции.

В рамках данного способа существует система вентиляции промышленного предприятия (рис. 15) [10].

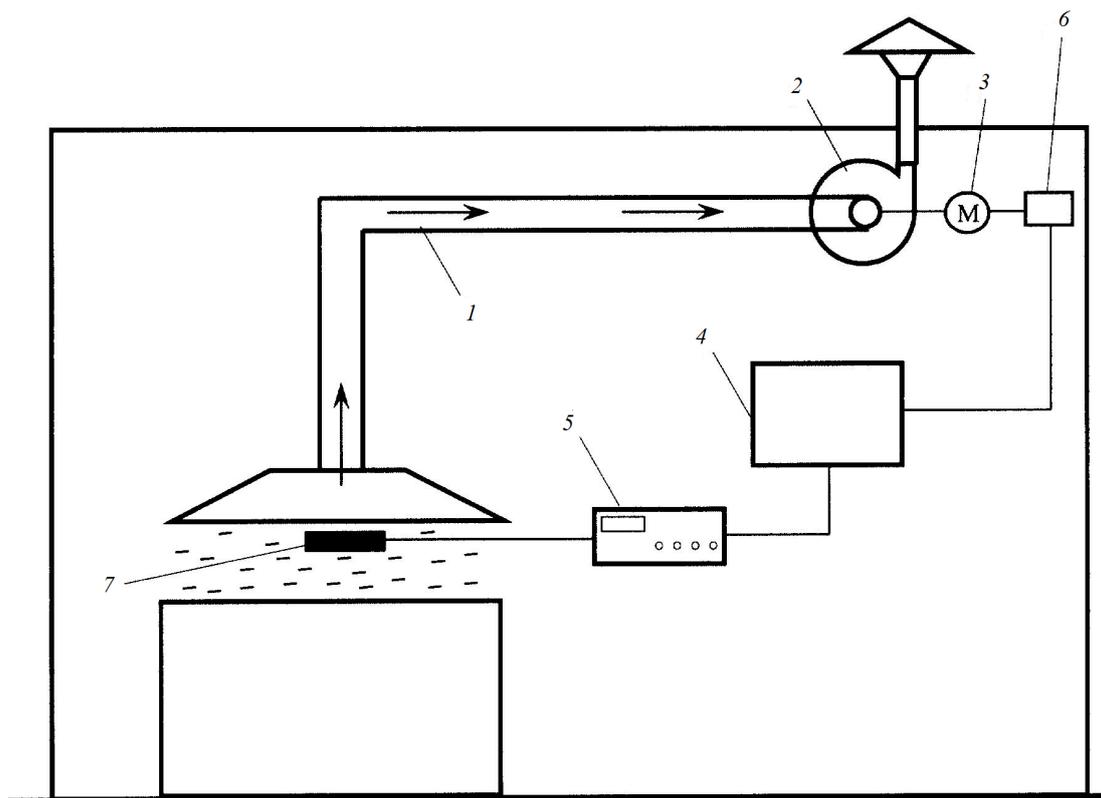


Рис. 15. Система вентиляции промышленного предприятия:
1 – вытяжной воздуховод загрязненного воздуха, 2 – вентилятор,
3 – электродвигатель, 4 – регулятор расхода воздуха, 5 – датчик
концентрации вредных веществ в воздухе рабочей зоны,
6 – преобразователь частоты вращения электродвигателя,
7 – газозаборный зонд

Система вентиляции работает следующим образом.

Загрязненный вредными веществами воздух рабочей зоны производственного цеха забирается с помощью местных отсосов в вытяжной воздуховод загрязненного воздуха 1, затем вентилятором 2 отводится в атмосферу. Количество удаляемого вытяжного воздуха

устанавливается исходя из необходимости достижения заданной концентрации вредных веществ (CO_x , NO_x , SO_x и др.) в рабочей зоне производственных помещений. Для этого регулятором расхода воздуха 4 по импульсу от датчика концентрации вредных веществ 5 в воздухе рабочей зоны количество удаляемого вытяжного воздуха регулируется путем изменения скорости вращения вытяжного вентилятора 2 с помощью преобразователя частоты вращения электродвигателя 6. Для забора пробы газовой смеси в рабочей зоне производственных помещений используется газозаборный зонд 7.

Данная система вентиляции промышленного предприятия имеет такие же преимущества, что и способ. Недостатками данной системы являются:

- увеличение длительности нахождения работающих во вредных условиях труда из-за отсутствия в системе блока автоматического регулирования расхода удаляемого воздуха, что может привести к повышению времени реакции системы на изменение параметров воздушной среды;

- увеличение напряженности трудового процесса при обслуживании системы вентиляции из-за наличия в системе нескольких различных устройств для регулирования расхода воздуха, что повышает трудоемкость обслуживания;

- необъективная оценка условий труда из-за отсутствия устройства обеспечения равномерного движения воздуха в зоне работы воздухозаборного зонда, что может снизить точность измерений концентрации вредных веществ.

Так же разработана система вентиляции промышленного предприятия, содержащая вытяжной воздуховод загрязненного воздуха, в который включен вентилятор с электродвигателем, датчик концентрации вредных веществ в воздухе рабочей зоны, дополнительно снабжена блоком автоматического регулирования расхода воздуха, состоящего из преобразователя сигнала датчика, микроконтроллера, регулятора напряжения, и побудителем движения воздуха, соединенным с датчиком концентрации вредных веществ.

Система вентиляции промышленного предприятия (рис.16) содержит вытяжной воздуховод 1 загрязненного воздуха, в который включен вентилятор 2 с электродвигателем 3. Электродвигатель 3 соединен с блоком автоматического регулирования расхода воздуха 4, состоящим из преобразователя сигнала датчика 5, микроконтроллера 6, регулятора напряжения 7. Блок автоматического регулирования

расхода воздуха 4 связан с датчиком концентрации вредных веществ 8, соединенным с побудителем движения воздуха 9.

Система вентиляции работает следующим образом. Загрязненный вредными веществами воздух рабочей зоны производственного помещения забирают с помощью местных отсосов в вытяжной воздуховод 1, затем вентилятором 2 отводят в атмосферу. Количество удаляемого вытяжного воздуха регулируется исходя, из необходимости достижения заданной концентрации вредных веществ в рабочей зоне производственных помещений. Для этого блоком автоматического регулирования расхода воздуха 4 по импульсу от датчика концентрации вредных веществ 8 регулируют количество забираемого воздуха путем изменения скорости вращения вентилятора 2 по сигналу от микроконтроллера 6 через регулятор напряжения 7 на электродвигатель 3. Побудитель движения воздуха 9, создавая равномерное движение воздуха, обеспечивает постоянную скорость движения воздуха в зоне работы датчика концентрации вредных веществ 8.

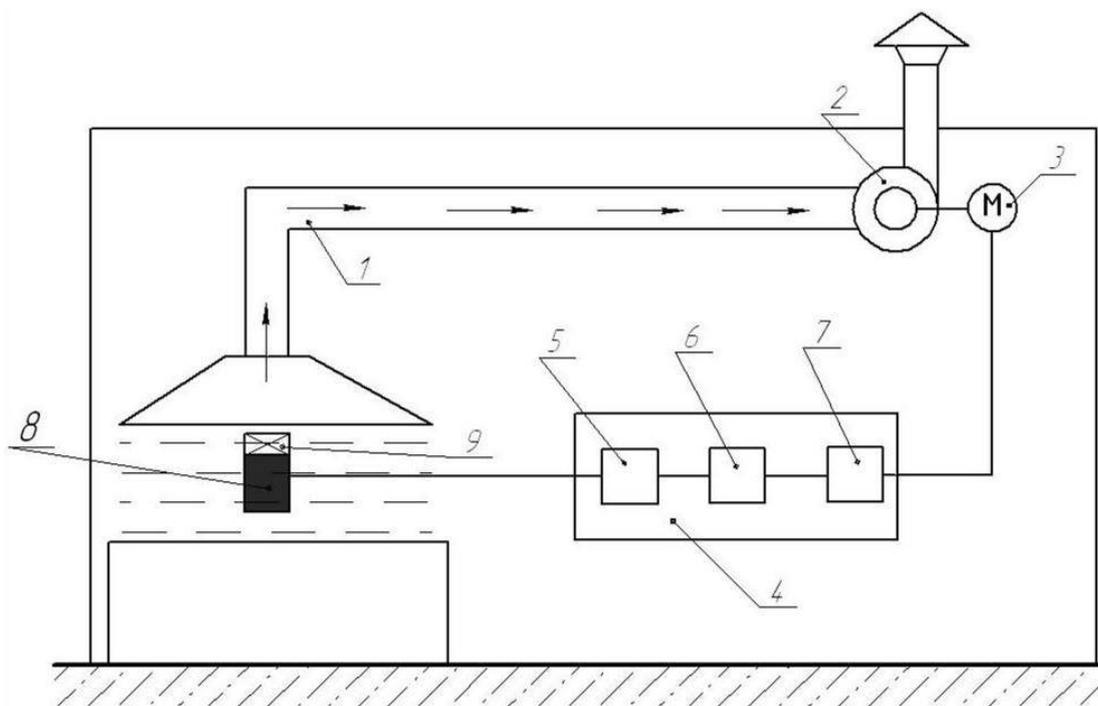


Рис. 16. Схема системы вентиляции промышленного предприятия:

- 1 – вытяжной воздуховод, 2 – вентилятор, 3 – электродвигатель,
- 4 – блок автоматического регулирования расхода воздуха,
- 5 – преобразователь сигнала датчика, 6 – микроконтроллер,
- 7 – регулятор напряжения, 8 – датчик концентрации вредных веществ, 9 – побудитель движения воздуха

Таким образом, предложенная система вентиляции промышленного предприятия позволяет сократить длительность нахождения работающих во вредных условиях труда и снизить напряженность трудового процесса при обслуживании системы вентиляции за счет дополнительной установки блока автоматического регулирования расхода воздуха, более объективно оценить условия труда за счет дополнительной установки побудителя движения воздуха, соединенного с датчиком концентрации вредных веществ.

Система вентиляции промышленного предприятия (рис. 17) содержит вытяжной воздуховод загрязненного воздуха 1, внешний вытяжной воздуховод загрязненного воздуха 2, в которые включен вентилятор 3 с электродвигателем 4. По периметру меньшего диаметра вытяжного воздуховод загрязненного воздуха 1 расположены заслонки 5, соединенные с электромагнитными исполнительными органами 6. По периметру большего диаметра внешнего вытяжного воздуховода загрязненного воздуха 2 расположены внешние датчики концентрации вредных веществ 7, которые также как и датчик концентрации вредных веществ 8 соединены с двухпозиционными регуляторами концентрации соответственно 9 и 10. Исполнительный элемент 11 управляет электромагнитными исполнительными органами 6 и электродвигателем 4.

Система вентиляции работает следующим образом.

Загрязненный вредными веществами воздух рабочей зоны (над источником их выделения) производственного помещения в случаях незначительной концентрации вредных веществ забирается с помощью местных отсосов в вытяжной воздуховод загрязненного воздуха 1 и отводится в атмосферу. Количество удаляемого вытяжного воздуха регулируется исходя из необходимости достижения заданной концентрации вредных веществ в воздухе рабочей зоны производственных помещений: при повышенной концентрации вредных веществ срабатывает датчик концентрации вредных веществ 8, подает сигнал на двухпозиционный регулятор концентрации 9, который при помощи исполнительного элемента 11 включает электродвигатель 4 на низкую скорость вращения. В случае значительного увеличения концентрации вредных веществ и выхода их за пределы рабочей зоны (проводятся дополнительные работы), срабатывают внешние датчики концентрации вредных веществ 7, расположенные по периметру большего диаметра внешнего вытяжного воздуховода загрязненного воздуха 2, их сигнал подается на двухпозиционный регулятор кон-

центрации 10, с него на исполнительный элемент 11, который включает электродвигатель 4 на повышенную скорость вращения и посредством электромагнитных исполнительных органов 6 одновременно перемещает заслонки 5 внутрь вытяжного воздуховода загрязненного воздуха 1, которые открывают каналы между ним и внешним вытяжным воздуховодом загрязненного воздуха 2 для увеличения пропускной способности по внешнему воздуховоду.

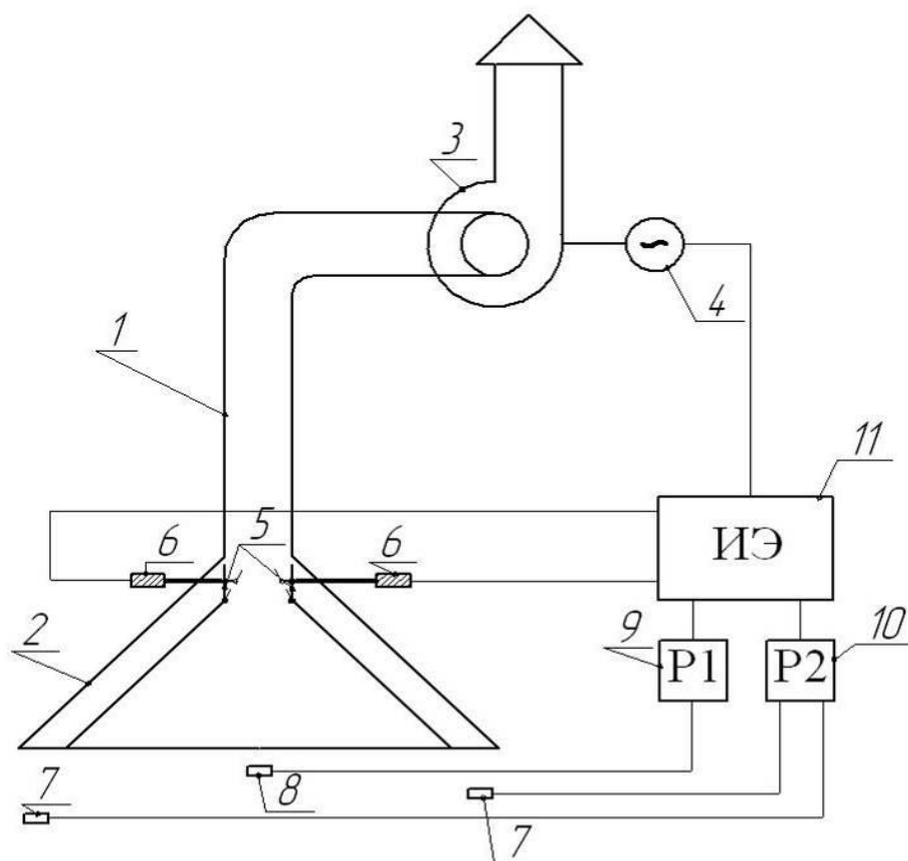


Рис. 17. Схема вентиляции промышленного предприятия:
 1 – вытяжной воздуховод загрязненного воздуха, 2 – внешний вытяжной воздуховод загрязненного воздуха, 3 – вентилятор,
 4 – электродвигатель, 5 – заслонки, 6 – электромагнитные исполнительные органы, 7 – внешние датчики концентрации вредных веществ, 8 – датчик концентрации вредных веществ,
 9 и 10 – двухпозиционные регуляторы концентрации,
 11 – исполнительный элемент

Таким образом, предложенная система вентиляции промышленного предприятия позволяет исключить распространение вредных веществ по всему объему помещения в случаях значительного повышения концентрации вредных веществ и упростить конструкцию си-

стемы вентиляции за счет установки внешнего вытяжного воздуховода загрязненного воздуха, по периметру большего диаметра которого расположены внешние датчики концентрации вредных веществ, которые также как и датчик концентрации вредных веществ соединены с двухпозиционными регуляторами концентрации, исполнительным элементом, электромагнитными исполнительными органами, электродвигателем, заслонками, расположенными по периметру меньшего диаметра вытяжного воздуховода загрязненного воздуха.

Устройства автоматизации систем пылеудаления показал, что их применение обеспечивает поддержание концентрации пыли в воздухе производственного помещения в необходимом пределе и улучшает работу систем пылеочистки из-за стабилизации концентрации пыли в удаляемом воздухе, но при этом увеличивает трудоемкость обслуживания систем.

5. СРЕДСТВА ПЫЛЕОЧИСТКИ УДАЛЯЕМОГО ВОЗДУХА

5.1. Классификация оборудования, применяемого для очистки воздуха

Оборудование, применяемое для очистки воздуха подразделяется на основное и вспомогательное. Основное оборудование – аппараты, в которых непосредственно происходит процесс очистки воздуха, а также некоторые аппараты их дополняющие [7]. Остальное оборудование называют вспомогательным – средства для удаления и транспортировки уловленного продукта, растворооборотные и раствороприготовительные устройства, средства контроля и автоматизации.

Основное воздухоочистное оборудование (пылеулавливающее), применяемое для улавливания взвешенных веществ может быть классифицировано по назначению; способу, методу и эффективности очистки; размеру эффективно улавливаемой пыли.

По назначению различают:

- *воздушные фильтры* – оборудование, используемое для очистки от взвешенных веществ в воздухе, подаваемом в помещение;
- *пылеуловители* – оборудование, используемое для очистки выбросов от взвешенных веществ.

Разделяют пылеуловители на две группы оборудования, где улавливание происходит мокрым и сухим способами.

Сухая механическая очистка – разделение газовых взвесей воздействием внешней механической силы на частицу, взвешенную в газе.

Мокрая газоочистка – промывка загрязненного газа жидкостью, поглощающей взвешенные в газе частицы.

Кроме этого фильтрация газа производится через пористые перегородки, задерживающие взвешенные в воздухе частицы; электрическая очистка газа происходит осаждением взвешенных частиц в электрическом поле.

Классификация пылеуловителей по дисперсности очищаемой пыли приведена в табл. 1.

Таблица 1

Классификация пылеуловителей пылеуловителей по дисперсности очищаемой пыли

Класс пылеуловителя	Размер эффективно улавливаемых частиц пыли, мкм	Группа пыли по дисперсности	Эффективность пылеуловителей, %
I	Более 0,3 – 0,5	V	< 80
		IV	99,9 – 80
II	Более 2	IV	92 – 45
		III	99,9 – 92
III	Более 4	III	29 – 80
		II	99,9 – 99
IV	Более 8	II	99,9 – 95
		I	> 99,9
V	Более 20	I	> 99

5.2. Сухие механические пылеуловители

К сухим механическим пылеуловителям относятся аппараты, использующие различные механизмы осаждения:

- гравитационный (пылеосадительные камеры);
- инерционный (инерционные пылеуловители);
- центробежный (одиночные, групповые и батарейные циклоны, вихревые и динамические пылеуловители).

Пылеосадительные камеры являются простейшими пылеулавливающими устройствами, применяемыми для предварительной очистки газов. Принцип работы их основан на использовании действующей на частицы пыли силы тяжести.

Действие инерционных пылеуловителей основано на резком изменении направления движения газопылевого потока. частицы по инерции движутся в первоначальном направлении и попадают в сборный бункер, а очищенный от крупных частиц пылегазовый поток выходит из пылеуловителя.

Система улавливания частиц путем придания запыленному потоку закрученного или вращательного движения, ограниченного цилиндрическими стенками, в которой частицы осаждаются отбрасыва-

нием их на стенки, называется циклоном. Циклоны применяются в основном для улавливания из воздуха аэрозольных частиц пыли II, III и IV групп дисперсности. В настоящее время их рекомендуется использовать для предварительной очистки и устанавливать перед устройствами – тканевыми или электрофильтрами.

По принципу организации движения различают возвратно-поточные и прямопоточные конструкции.

Прямopotочные конструкции имеют меньшее сопротивление, но применяется реже в виду худших характеристик улавливания.

В России и СНГ для циклонов принят стандартизированный ряд внутренних диаметров D : 200, 300, 400, 500, 600, 700, 800, 900, 1000, 1200, 1400, 1600, 1800, 2000, 2400 и 3000 мм. Для всех одиночных циклонов бункеры выполняются цилиндрическими с коническим днищем. Диаметр бункера принимают $1,5D$ для цилиндрических и $1,1-1,2D$ для конических циклонов. Высота цилиндрической части бункера принимается $0,8D$, угол конусности стенок днища – 60° .

Циклоны больших размеров имеют худшие показатели по очистке, поэтому часто для достижения необходимой пропускной способности komponуют группы циклонов меньшего диаметра прямоугольной или круговой формы. Более восьми циклонов формировать вместе нежелательно.

При необходимости обеспечения большой пропускной способности используют батарейные циклоны (мультициклоны), которые состоят из циклонных элементов, объединенных в одном корпусе и имеющих общий бункер. В отечественных циклонных элементах подвод загрязненных газов производится коаксиально через завихрители типа «винт» и «розетка».

К конструкции возвратно-поточного циклона относится циклон типа ЦН-11 (рис. 18). Отличием циклонов серии ЦН является удлиненная цилиндрическая часть и наклон входного патрубка под углом 11° , 15° или 24° . Зная группу пыли по ее дисперсности, выбирается класс пылеуловителя, необходимый для достижения требуемой эффективности пылеулавливания (Прил. В).

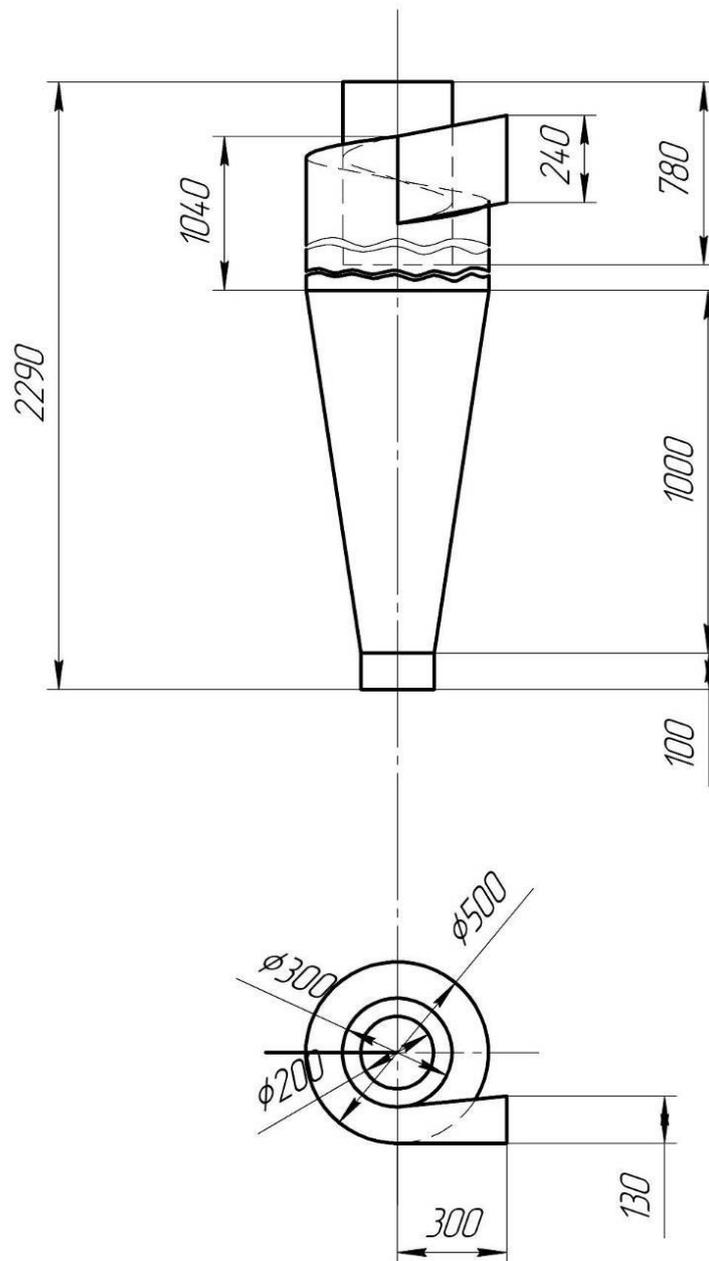


Рис. 21. Циклон типа ЦН-11

6.3. Мокрые пылеуловители

Среди мокрых пылеуловителей наибольшее распространение получили следующие типы [4]:

- циклоны с водяной пленкой ЦВП;
- циклоны-промыватели СИОТ;
- скоростной пылеуловитель с трубой Вентури (СПУ Вентури);
- мокрый пылеуловитель РИСИ.

В циклонах с водяной пленкой ЦВП (рис. 19) по сравнению с циклонами сухой очистки эффект действия выше за счет того, что пыль, отбрасываемая центробежной силой к стенкам циклона, сорбируется водяной пленкой и превращается в шлам. Этот эффект позволяет предотвратить вторичный унос пыли, отброшенной на стенки, и вследствие увлажнения пыли и воздуха опасность взрыва и возгорания пыли практически устраняется [4].

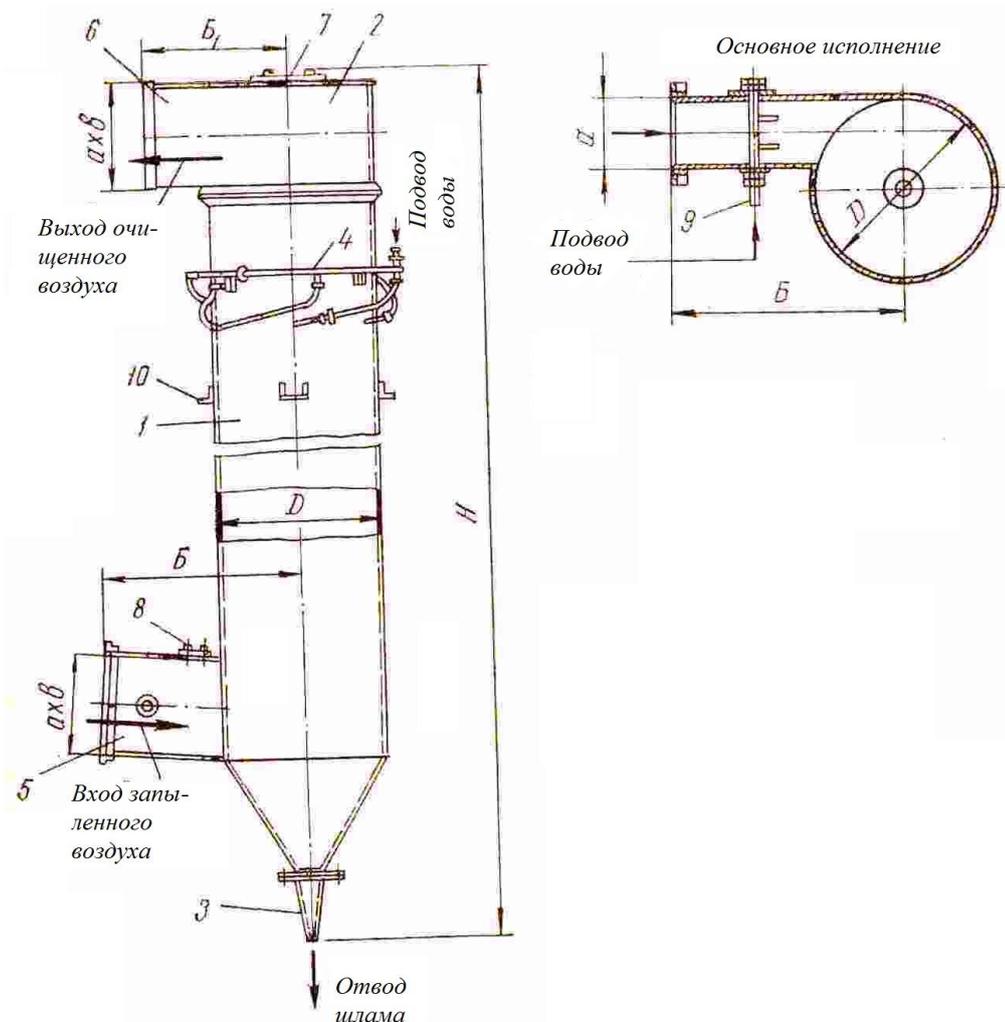


Рис. 19. Циклон с водяной пленкой ЦВП:

- 1 – корпус, 2 – улитка, 3 – конусный патрубок (гидрозатвор),
 4 – коллектор, 5 – входной патрубок, 6 – выходной патрубок,
 7 – люк, 8 – лючок, 9 – смывное приспособление, 10 – опора

Циклоны ЦВП используются для очистки вентиляционных выбросов от любых видов нецементирующейся пыли, в том числе пыли известняка, а также пыли, содержащей волокнистые включения.

Циклоны с водяной пленкой можно использовать в качестве каплеуловителя в установках с трубами-коагуляторами Вентури.

Степень очистки воздуха в циклоне ЦВП – до 99 %, фракционная эффективность улавливания частиц (размером 5 – 10 мкм) – до 90 – 95 %.

Предусматриваются следующие исполнения циклона ЦВП в зависимости от скорости входа воздуха в циклон: основное и с повышенной скоростью.

В циклоне с повышенной скоростью в отличие от циклона основного исполнения в воздухоподводящем патрубке вварена перегородка, в результате чего ширина входного отверстия уменьшается в два раза. Циклоны с повышенной скоростью обеспечивают большую эффективность очистки, но имеют более высокое гидравлическое сопротивление.

На рис. 20 показан циклон-промыватель СИОТ, который можно применять на сахарных заводах для улавливания сахарной, известковой пыли, а также в качестве второй ступени в установке трубы Вентури [4].

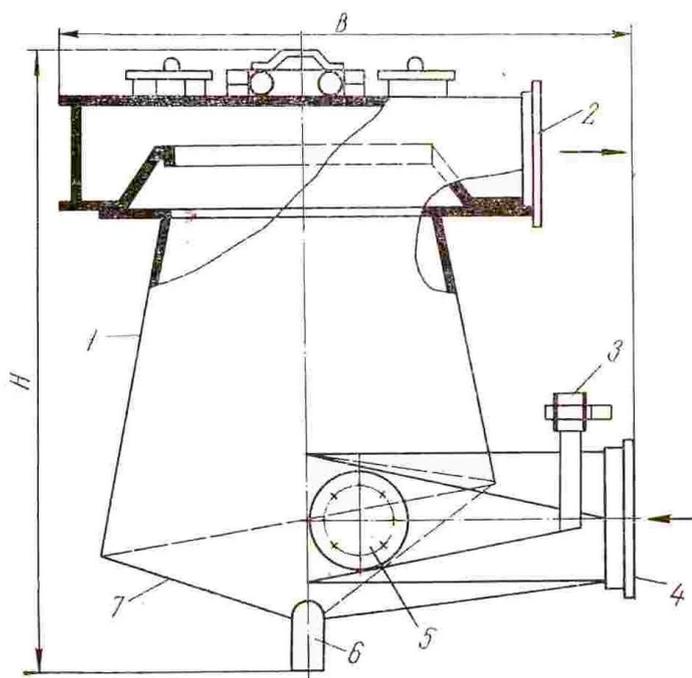


Рис. 20. Циклон-промыватель СИОТ:

- 1 – корпус, 2 – патрубок для выхода воздуха,
- 3 - водоподводящая трубка, 4 – патрубок для входа воздуха,
- 5 – смотровые люки, 6 – спускной клапан, 7 – коническая часть циклона

В циклоне-промывателе СИОТ в процессе пылеулавливания на пылевые частицы действует центробежная сила и промывание воздуха водой. Хороший контакт очищаемого воздуха с водой создается благодаря турбулизации и распылению воды в нижней части аппарата под действием воздушного потока.

Циклоны-промыватели СИОТ при прочих равных условиях имеют габаритные размеры в 2,5 – 3 раза меньшие, чем габаритные размеры скруббера, эффективность тех и других аппаратов примерно одинаковая [4].

В некоторых отраслях промышленности применяется мокрый пылеуловитель, основным элементом которого является труба Вентури. В первой ступени данного устройства (труба Вентури) происходит контакт воздушного потока, содержащего во взвешенном состоянии пылевые частицы, с тонкораспыленной водой. В последующих ступенях, а их может быть и несколько, возможно использование различных видов пылеулавливающего оборудования, в частности скрубберов, циклонов и др.

На этих ступенях осуществляется улавливание предварительно скоагулированных на первой ступени пылевых частиц.

На рис. 21 представлены схемы СПУ Вентури. Первой ступенью является труба Вентури, второй – скруббер, циклон с водяной пленкой или циклон-промыватель СИОТ.

Поток запыленного воздуха со значительной скоростью поступает в трубу Вентури. Скорость в горловине трубы обычно равна 60 – 120 м/с, в некоторых установках – до 20 – 30 м/с. Подача воды осуществляется с помощью распылителей, расположенных по окружности конфузора или по оси конфузора перед горловиной.

В результате высокой скорости в горловине трубы Вентури создается интенсивная турбулизация, которая обеспечивает хорошее перемещение пылевоздушного потока с тонкораспыленной водой, смачивание пылевых частиц и их коагуляцию. Воздушный поток, содержащий скоагулированные в трубе Вентури пылевые частицы, поступает затем во вторую ступень, где осуществляется улавливание пыли.

Высокая скорость запыленного воздуха в горловине трубы Вентури вызывает большую потерю давления до 6000 Па в некоторых установках.

Расход воды, распыляемой в СПУ, колеблется в широких пределах и составляет от 1 до 80 л на 100 м³ очищаемого воздуха, на коли-

чество которого влияют вид очищаемой пыли, ее концентрация в очищаемом воздухе и конструкция пылеуловителя [4].

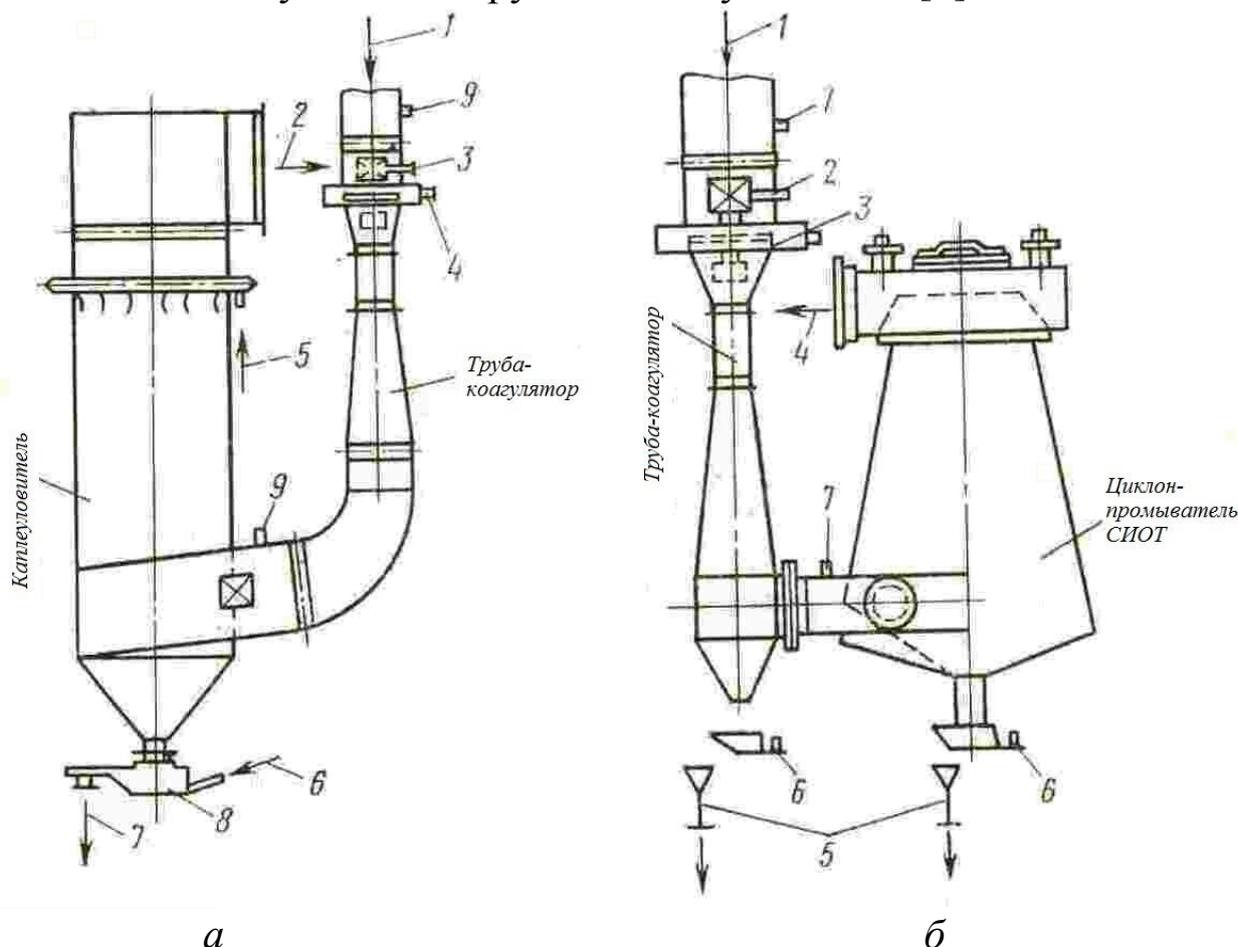


Рис. 21. Схема компоновки трубы Вентури с циклоном типа ЦВП или циклоном-промывателем СИОТ:

а – схема компоновки трубы Вентури с циклоном типа ЦВП: 1 – вход запыленного воздуха, 2 – выход очищенного воздуха, 3 – подвод воды к соплам, 4 – подвод воды на пленочную подачу, 5 – подвод воды для орошения стенок, 6 – подвод воды к соплам гидрозатвора, 7 – отвод шлама, 8 – гидрозатвор, 9 – лючок для замеров;

б – схема компоновки трубы Вентури с промывателем СИОТ: 1 – вход запыленного воздуха, 2 – подвод воды к соплам, 3 – подвод воды на пленочную подачу, 4 – выход очищенного воздуха, 5 – отвод шлама, 6 – гидрозатвор, 7 – лючок для замеров

Главными преимуществами СПУ Вентури являются простота устройства и малые габаритные размеры установки. Основной элемент СПУ изготавливают из чугуна или листовой стали [4].

На рис. 22 показана труба-коагулятор Вентури.

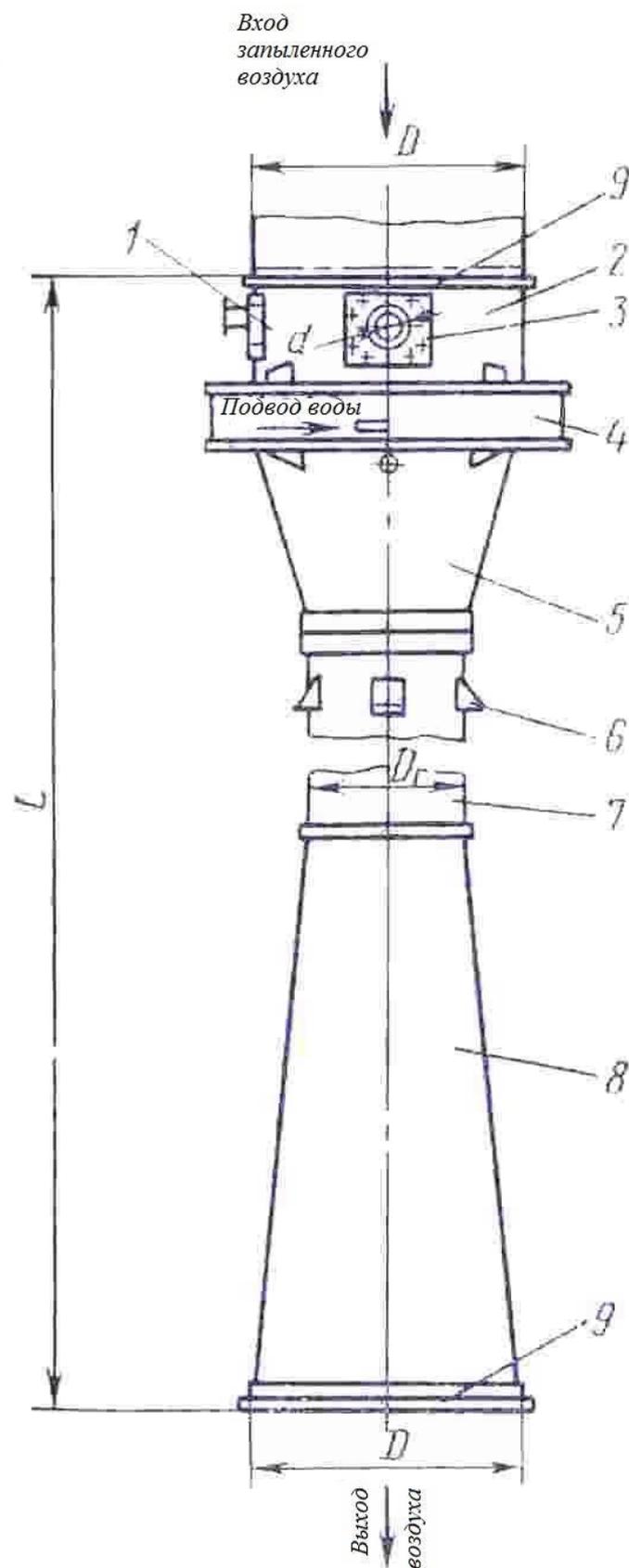


Рис. 22. Труба Вентури:

1 – лаз геометрический, 2 – цилиндр, 3 – смывное приспособление,
 4 – камера, 5 – конфузор, 6 – опора, 7 – горловина, 8 – диффузор,
 9 – фланец

Эффективность улавливания СПУ Вентури частиц размером 5 мкм составляет 99,6 % [22].

В Ростовском инженерно-строительном институте разработан мокрый пылеуловитель, предназначенный для очистки воздуха от высокодисперсных пылей. Он также может быть использован на второй ступени после циклона или другого пылеуловителя, обеспечивающего грубую или среднюю очистку (рис. 23) [4].

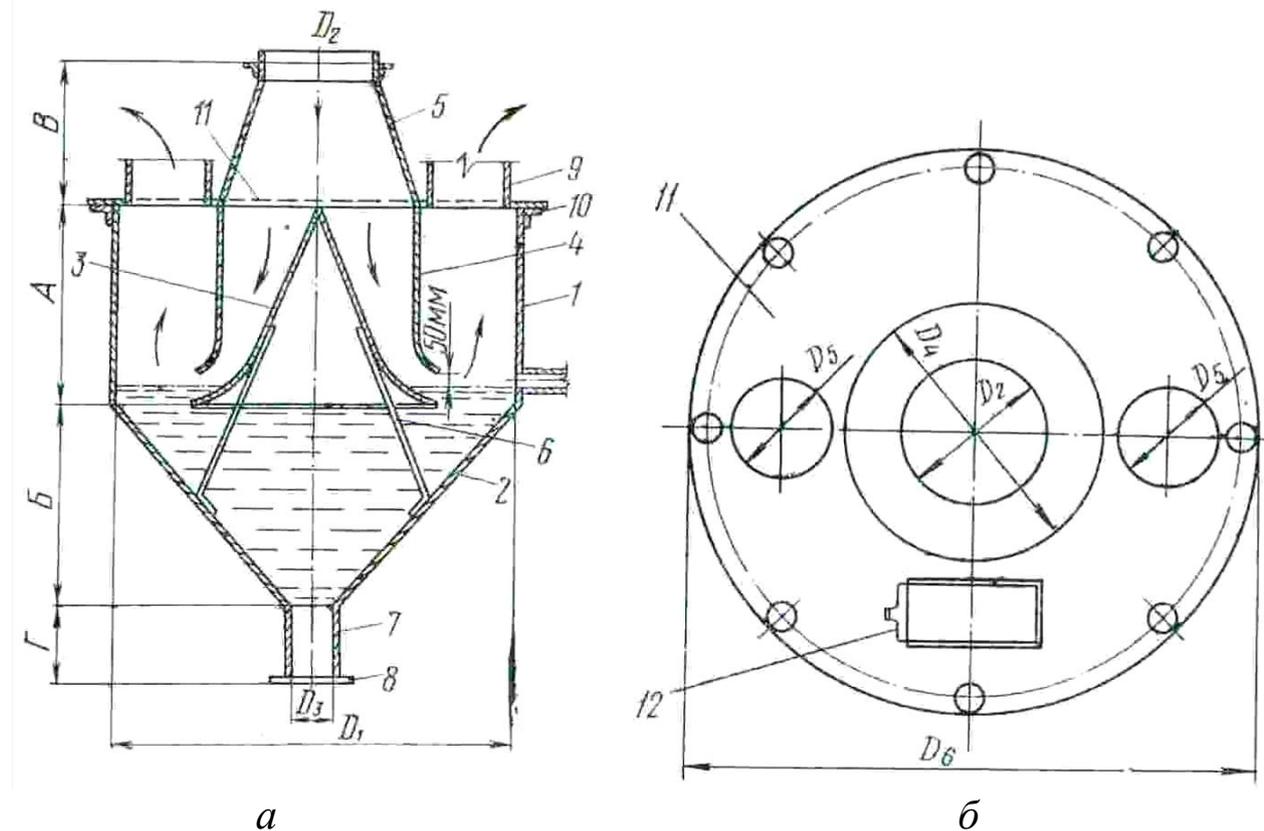


Рис. 23. Мокрый пылеуловитель РИСИ:

а – разрез пылеуловителя, б – вид сверху;

- 1 – цилиндрическая камера, 2 – бункер конической формы,
- 3 – конус-рассекатель, 4 – отражатель, 5 – диффузор, 6 – лапка,
- 7 – патрубок для отвода шлама, 8 – фланец, 9 – патрубок для отвода очищенного воздуха, 10 – уголок, 11 – крышка, 12 – шибер

Пылеуловитель РИСИ применяется в подготовительных отделениях масло-жировых предприятий, перерабатывающих семена хлопчатника.

При применении мокрого пылеуловителя в качестве второй ступени очистки его устанавливают за вентилятором.

Степень очистки воздуха в мокром пылеуловителе составляет 99,9 %.

Гидравлическое сопротивление равно около 400 Па.

В РИСИ разработано несколько номеров мокрого пылеуловителя описанной конструкции, рассчитанных на различную производительность — от 600 до 10 000 м³/ч.

Преимуществами аппарата являются [4]:

- незначительный расход воды (вода в аппарате расходуется лишь на испарение с поверхности и унос влаги с воздухом);
- шлам удаляют один раз в четыре месяца.

ОПИСАНИЕ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ

Лабораторная работа № 1

«Определение содержания пыли в воздухе счетным методом»

1.1. Цель работы: изучить методику определения содержания пыли в воздухе счетным методом.

1.2. Приборы и оборудование: фотоэлектрический счетчик аэрозольных частиц АЗ-5, источник пылевыделения.

1.3. Меры безопасности

К выполнению лабораторной работы допускаются лица, прошедшие первичный инструктаж и ознакомленные с правилами техники безопасности при работе на экспериментальной установке.

Лабораторная работа выполняется подгруппой в составе не менее двух человек.

Перед проведением экспериментальных работ исправность установки и ее функционирование проверяются лаборантом.

Включение установки и проведение первого измерения проводится с разрешения преподавателя и в его присутствии.

После завершения работ установка выключается и приводится в исходное состояние.

1.4. Описание используемого оборудования

В настоящее время для определения дисперсности пыли используют фотоэлектрический счетчик аэрозольных частиц (АЗ-5). С его помощью можно определить количество пылинок в объеме воздуха и степень дисперсности пыли (рис. 24).

Работа прибора основана на принципе рассеяния света отдельными аэрозольными частицами. Благодаря количественной связи между размером частиц и интенсивностью рассеянного света проводится анализ частиц по размерам. Прибор состоит из следующих основных узлов: аспирационного устройства, оптического датчика и электрического блока. Он позволяет определить концентрацию аэрозольных частиц (от 1 до 300 000) в 1 л воздуха и дисперсный состав аэрозольных частиц размером от 0,4 до 10 мкм.

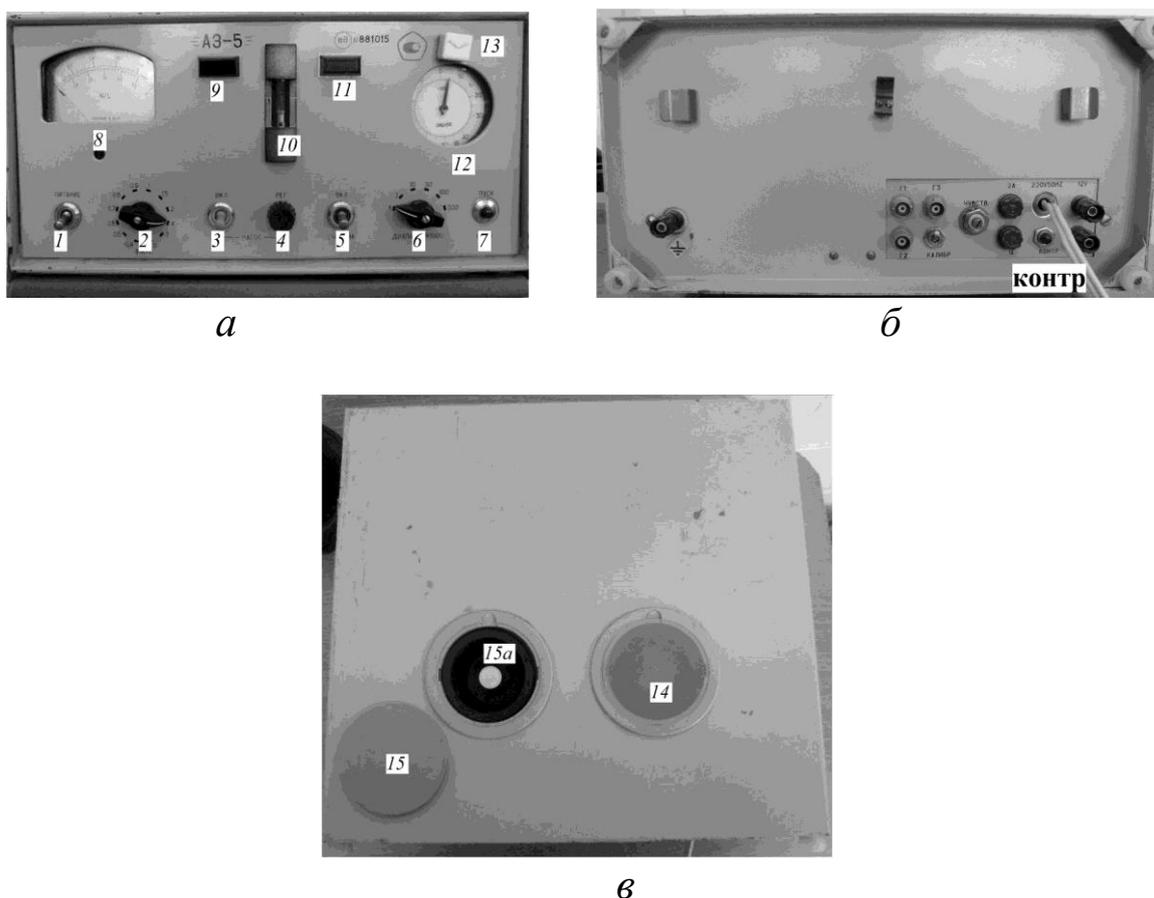


Рис. 24. Общий вид счетчика аэрозольных частиц АЗ-5:
а – лицевая панель; *б* – задняя панель; *в* – вид сверху

1.5. Порядок выполнения работы

Действия выполняются в следующей последовательности:

1. Ознакомиться с основными терминами и определениями.
2. Изучить методику определения класса чистоты помещения заданным требованиям.
3. Изучить устройство и принцип работы прибора АЗ-5.
4. Определить дисперсный состав аэрозоли в помещениях и заполнить табл. 3.

Перед включением прибора АЗ-5 тумблеры 1, 3, 5 фиксируют в нижнем положении. Тумблер 6 устанавливают в положении 300. Включение прибора осуществляют тумблер 1, при этом загорается индикаторная лампочка 9. В течение 1 мин проводят прогревание прибора. Для проверки источника питания необходимо нажать кнопку «контр», расположенную на задней панели прибора, при этом стрелка прибора 8 устанавливается в пределах окрашенного сектора. Для отбора пробы необходимо снять крышки 14, 15 и защитный кол-

пачок 15а со штуцера «вход аэрозоля». Затем тумблер 2 устанавливают на желаемой величине диаметра регистрируемых частиц (целесообразно начинать с 0,5 мкм). С помощью тумблера 3 подключают насос. Регулятором 4 устанавливают поплавок реометра 10 на уровень риски. Тумблером 6 переводят стрелку прибора 8 на середину шкалы или несколько правее. Далее снимают показания со шкалы прибора 8, умножают их на число положения тумблера 6 и на 1000. Полученный результат дает суммарное число частиц диаметром от 0,5 мкм и больше. Затем тумблер 2 переключают на 0,6 мкм и производят аналогичный подсчет. Разница между первым и вторым замером указывает количество пылинок дисперсностью, равной 0,5 мкм. Таким же образом проводят последующие измерения.

Примеры счета частиц приведены ниже.

Пример 1. При измерении общего числа частиц пыли размером от 0,7 мкм и более установлено: показания шкалы 8 – 0,8; число диапазона измерения 6 – 300. Общее число частиц равно:

$$0,8 \cdot 300 \cdot 1000 = 240\ 000.$$

При дальнейшем измерении общего числа частиц размером от 0,8 мкм и более показания шкалы 8 – 0,6; число диапазона измерения 6 – 300. Общее число частиц равно:

$$0,6 \cdot 300 \cdot 1000 = 180\ 000.$$

Количество частиц пыли дисперсностью 0,7 мкм определяется по разнице первого и второго измерения:

$$240\ 000 - 180\ 000 = 60\ 000.$$

Пример 2. При измерении общего числа частиц размером от 0,4 мкм и более было установлено: показания шкалы 8 – 0,5; число диапазона измерения 6 – 300. Общее число частиц равно:

$$0,5 \cdot 300 \cdot 1000 = 150\ 000.$$

При дальнейшем измерении частиц пыли размером от 0,5 мкм и более показания шкалы 8 – 0,4; число диапазона измерения 6 – 100. Общее число частиц равно:

$$0,4 \cdot 100 \cdot 1000 = 40\ 000.$$

Количество частиц размером 0,4 – 0,5 мкм определяется по разнице первого и второго измерения:

$$150\ 000 - 40\ 000 = 110\ 000.$$

1.5. Порядок выполнения работы

Действия выполняются в следующей последовательности

1. Ознакомиться с теоретическими сведениями.
2. Изучить устройство и принцип работы прибора АЗ-5.
3. Дать характеристику мест, где проводится измерение содержания частиц пыли:
 - информацию об окружающей обстановке, при необходимости и координаты точки отбора проб;
 - данные о назначении зоны.
4. Определить содержание пыли в воздухе зоны без источника пылевыведения.
5. Включить источник пылевыведения на 10 минут.
6. Определить содержание пыли в воздухе зоны с источником пылевыведения.
7. Определить дисперсный состав аэрозоли в воздухе зон и заполнить табл. 2.
8. По результатам испытаний выбрать необходимые средства (Приложение А) очистки воздуха зоны с источником пылевыведения для снижения концентрации в выбрасываемом воздухе до уровня зоны без источника выделения пыли.
9. Оформить отчет по лабораторной работе в соответствии с прил. Д.

Контрольные вопросы.

1. Как классифицируются частицы пыли, содержащиеся в воздухе?
3. Оптические методы контроля концентрации частиц в воздухе.
4. Как устроен и на чем основан принцип работы фотоэлектрического счетчика аэрозольных частиц АЗ-5?
5. Какие системы обеспечивают необходимую очистку воздуха?

Таблица 2

Результаты эксперимента

Размер частиц равный и бо- лее, мкм	Диапа- зон	Диапазон переключе- ния	Показа- ния шкалы	Концентрация по показаниям шка- лы, частиц/л	Концентра- ция частиц, частиц/л	Концентра- ция, ча- стиц/м ³	Доля ча- стиц, %
Зона 1							
0,4							
0,5							
1,0							
5,0							
Зона 2							
0,4							
0,5							
1,0							
5,0							
<p><i>Примечание.</i> В столбец «Диапазон» ставится значение тумблера б, в столбец «Диапазон переключения» заносим максимальное значение шкалы, в столбец «Показания шкалы» – показание шкалы, в столбец «Концентрация частиц, частиц/л» – значение, подсчитанное согласно примеру</p>							

Лабораторная работа № 2

«Определение дисперсного состава пыли в удаляемом воздухе системами вентиляции из производственного помещения»

2.1. Цель работы: определить дисперсный состав пыли в удаляемом воздухе из производственного помещения и произвести выбор циклона.

2.2. Приборы и оборудование: лабораторная пылевая камера, аналитические фильтры АФА-10-ВП, аналитические весы, метеометр, микроскоп, ПЭВМ, цифровая фотоаппаратура.

2.3. Меры безопасности

Смотри п.1.3 к лабораторной работе № 1.

2.4. Описание используемого оборудования

Лабораторная пылевая камера (рис. 25) состоит из пылевой камеры 1, в крышке которой имеются отверстия для стабилизации давления воздуха, вибрационный столик (вибростолик) 2 для имитации местного пылевыделения и вытяжное устройство 3 с основным воздуховодом 4, выходящим из крышки камеры и связанным посредством аллонжа 5 с аспиратором 6. К основному воздуховоду 4 герметично подсоединен метеометр 7. ПЭВМ 8 необходим для обработки результатов эксперимента. На аналитических весах 9 производят взвешивание аналитических фильтров. Микроскопирование пыли осуществляется с помощью микроскопа 9 с цифровым фотоаппаратом.

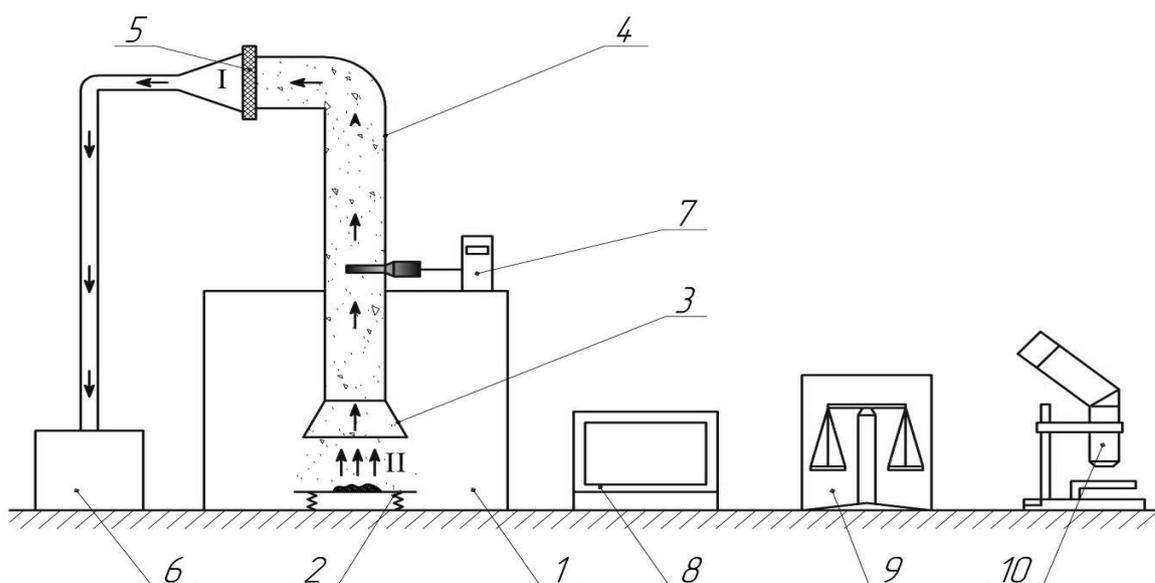


Рис. 25. Схема лабораторной пылевой камеры.

I – чистый воздух, II – запыленный воздух; 1 – пылевая камера, 2 – вибрационный столик, 3 – вытяжное устройство, 4 – основной воздухопровод, 5 – аллонж, 6 – аспиратор, 7 – метеометр, 8 – ПЭВМ, 9 – весы, 10 – микроскоп

2.5. Порядок выполнения работы:

Действия выполняются в следующей последовательности:

1. Изучить основные методы дисперсного анализа пыли.

2. Определить концентрацию пыли в удаляемом воздухе:

– подготовить фильтры АФА-10-ВП к использованию: достать из упаковки, взвесить на аналитических весах, вложить в кольца;

– снять показания метеометра, зарегистрировать значения температуры воздуха и атмосферного давления;

– вставить аналитический фильтр в аллонж, включить аспиратор и через 30 с включить вибрационный столик для генерации пыли в пылевой камере;

– через 5 мин после работы аспиратора отключить его, вынуть фильтр и снова взвесить его на аналитических весах. Рассчитать концентрацию пыли C и результаты занести в табл. 3:

$$C = 1000 \cdot (m_1 - m_0) \frac{T_1 \cdot P_0 \cdot 60}{L \cdot T_0 \cdot P_1 \cdot t}, \text{ мг/м}^3, \quad (3)$$

где m_0 – масса чистого фильтра, г;

m_1 – масса фильтра после забора воздуха, г;

T_1 – температура воздуха, °К;

P_0 – атмосферное давление при нормальных условиях, $P_0=101,3$ кПа;

L – расход воздуха по аспиратору, л/мин;

T_0 – температура воздуха при нормальных условиях, $T_0=273$ °К;

P_1 – атмосферное давление, кПа;

t – время забора воздуха, мин.

3. Определить дисперсный состав пыли, заполнить табл. 3.

– положить фильтр на предметный столик микроскопа, сверху накрыть стеклом с измерительной сеткой и произвести микроскопирование;

– сделать микрофотографию образца одной ячейки (1×1 мм), и произвести подсчет частиц по фракциям на ПЭВМ с помощью графического редактора;

– установить количество частиц на исследуемой микрофотографии. Подсчет частиц ведется только после установления масштаба микрофотографии. Масштаб устанавливается в графическом редакторе исходя из размера ячейки. Затем по наибольшему размеру частицы ее относят к той или иной фракции и их количество записывают в табл. 5.

Процентное содержание частиц пыли i -й фракции по количеству находят по следующей формуле:

$$\eta_i = n_i / \sum n_i, \quad (4)$$

где η_i – процентное содержание частиц пыли i -ой фракции по количеству, %;

n_i – количество частиц пыли i -й фракции;

$\sum n_i$ – общее количество частиц.

– установить распределение частиц по массе и занести значения в табл. 4, для чего принимаем форму частиц в виде шара, диаметр которого равен наибольшему размеру частицы. Расчет процентного содержания частиц пыли по массе проводят по формуле:

$$\Delta_i = \frac{(d_{i+1} + d_i)^3 \cdot n_i}{\sum (d_{i+1} + d_i)^3 \cdot n_i} \cdot 100\%, \quad (5)$$

Таблица 3

Определение концентрации пыли в воздухе

Масса чистого фильтра m_0 , г	Масса фильтра после забора пробы воздуха m_1 , г	Расход воздуха L , л/мин	Время забора воздуха t , мин	Температура воздуха T_1 , °К	Атм. давление P_1 , кПа	Концентрация пыли C , мг/м ³

Таблица 4

Дисперсный состав пыли

	Размер частиц, мкм								Всего
	2	5	10	20	30	40	50	100	
Кол-во частиц, шт									
Доля частиц, %									
Доля частиц по массе, %									

где Δ_i – процентное содержание частиц пыли по массе i -ой фракции, %;

d_{i+1} – размер частиц следующей за i -й фракцией, мкм;

d_i – размер частиц i -й фракцией, мкм;

n_i – количество частиц i -ой фракции, посчитанное по микрофотографии.

6. Определить группу дисперсности пыли в соответствии с ГОСТ 12.2.043-80. Для этого на номограмму (прил. Б) наносят линию распределения массы пыли по размеру частиц, при этом D , %, для каждой группы считается как сумма предыдущих групп. Расположение линии распределения определяет принадлежность пыли к соответствующей группе дисперсности. Если линия распределения пересекает на номограмме границы зон, характеризующих группы дисперсности пыли, то пыль следует относить к более высокой группе.

7. Подобрать средства очистки (циклон) удаляемого воздуха от пыли по необходимой степени очистки и размеру частиц пыли (Прил. В и Г).

В отчет необходимо включить:

- схему лабораторной установки, а также краткое ее описание;
- заполненные по результатам экспериментальных исследований и расчетов табл. 3 и 4;

- графическую зависимость (гистограмму) распределения частиц от их размера;

- результаты определения группы дисперсности согласно прилож. Б;

- выбранные средства очистки воздуха согласно прил. В и Г;

- выводы по результатам выполненной работы.

8. Оформить отчет по лабораторной работе в соответствии с прил. Д.

2.6. Контрольные вопросы

1. Как влияет размер частиц пыли на организм работающих?

2. Какими методами оценивают дисперсный анализ пыли?

3. В чем сущность микроскопического метода анализа пыли?

4. Опишите устройство лабораторной установки по определению пылевого состава воздуха.

7. Каким образом используют результаты дисперсного анализа пыли при выборе воздухоочистительного оборудования?

8. Как классифицируются средства очистки воздуха от пыли?

Лабораторная работа № 3

«Определение эффективности работы местной вытяжной вентиляции промышленного предприятия»

3.1. Цель работы. Оценить эффективность местной вытяжной вентиляции в зависимости от вида пыли и расхода воздуха.

3.2. Приборы и оборудование. Экспериментальная установка, аналитические фильтры, метеометр, аналитические весы.

3.3. Меры безопасности.

Смотри п.1.3 в лабораторной работе № 1

3.4. Описание используемого оборудования.

Смотри п. 2.4 в лабораторной работе №1.

3.5. Порядок выполнения работы

Действия выполняются в следующей последовательности:

1. Ознакомиться с теоретическими положениями.
2. Изучить способы определения концентрации пыли в воздухе.
3. Ознакомиться с устройством экспериментальной установки.
4. Определить концентрацию пыли в удаляемом воздухе:
 - а) подготовить по три навески массой $M=5$ г исследуемых образцов (мука, крахмал или пищевые концентраты красной свеклы) согласно варианту задания;
 - б) подготовить аналитические фильтры (взвесить аналитические фильтры m_0 , положить в удерживающие кольца и герметичные пакеты);
 - в) установить расход воздуха по аспиратору с помощью ротаметров (40, 35 или 30 л/мин);
 - г) внести одну навеску одного из образцов в пылевую камеру на вибростол, закрыть камеру, вставить фильтр в аллонж;
 - д) произвести забор пробы воздуха:
 - записать атмосферное давление, температуру воздуха;
 - включить аспиратор при расходе воздуха, указанном в задании, на 5 мин;

Таблица 5

Результаты проведения эксперимента

№ п/п	Масса чистого фильтра, мг	Масса фильтра после забора пробы воздуха, мг	Разница показаний, мг	Расход воздуха, л/мин	Температура, °С	Атмосферное давление, кПа	Концентрация, мг/м ³
Первый образец							
1				40			
2				35			
3				30			
Второй образец							
4				40			
5				35			
6				30			

Таблица 6

Результаты расчетов

№	Концентрация, мг/м ³	ПДК, мг/ м ³	Эффективность $K_{ЭФ}$, (формула 2)
Первый образец			
1			
2			
3			
Второй образец			
4			
5			
6			

– через 1 мин после включения aspirатора включить вибростол на 3 мин;

е) После забора пробы воздуха вынуть фильтр из аллонжа и взвесить;

ж) Прочистить камеру пылесосом, убрать видимые следы осевшей пыли исследуемого материала.

Повторить шесть раз.

При анализе фильтров, в лаборатории их выдерживают в исходных условиях температуры и влажности. Взвешивание до анализа и после осуществляют на одних весах. Концентрацию пыли определяют по формуле (3)

5. Определить эффективность пылеудаления используя формулу (2).

6. Внести результаты замеров и расчетов в таблицы 7, 8.

7. Построить графические зависимости эффективности пылеудаления от расхода воздуха.

8. Сделать выводы о влиянии расхода воздуха на эффективность пылеудаления местной вытяжной системой вентиляции.

9. Смотри п.1.3 в лабораторной работе № 1.

3.6. Контрольные вопросы

1. Как классифицируются вентиляционные системы?

2. По каким параметрам оценивается работа местной вытяжной вентиляции?

3. Расскажите об устройстве лабораторной установки.

4. Какими методами производят контроль содержания пыли в воздухе?

5. Какие особенности гравиметрического метода контроля содержания пыли в воздухе?

6. Какие системы вентиляции обеспечивают наиболее эффективное пылеудаление?

Лабораторная работа № 4

«Оптические методы контроля содержания пыли в удаляемом воздухе из производственного помещения»

4.1. Цель работы. Определение содержания пыли в удаляемом воздухе из производственного помещения с помощью оптических методов контроля.

4.2. Приборы и оборудование. Лабораторная пылевая камера с оптическими датчиками контроля, технические весы, хронометр.

4.3. Меры безопасности.

Смотри п.1.3 в лабораторной работе № 1

4.4. Описание лабораторной установки.

Лабораторная установка (рис. 26) для определения запыленности воздуха оптическими методами состоит из пылевой камеры 1,

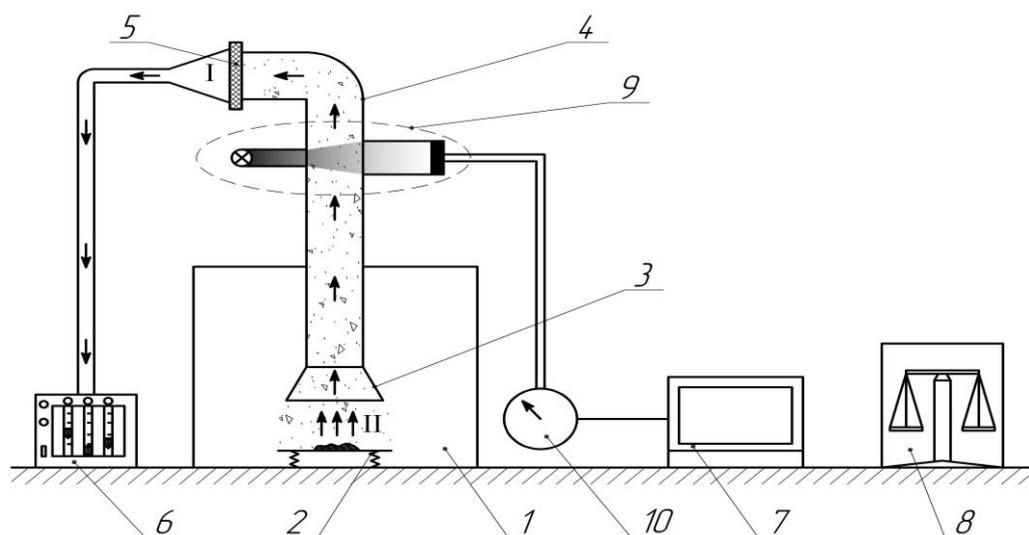


Рис. 26. Схема лабораторной установки:

I – чистый воздух, II – запыленный воздух; 1 – пылевая камера, 2 – вибрационный столик, 3 – вытяжное устройство, 4 – основной воздуховод, 5 – аллонж с аналитическим фильтром, 6 – аспиратор, 7 – ПЭВМ, 8 – аналитические весы, 9 – оптический датчик концентрации пыли, 10 – вторичный преобразователь

размещенного в ней вибрационного столика 2, вытяжного устройства 3, воздуховода 4 для отсоса запыленного воздуха из камеры, аллонжа с аналитическим фильтром 5, аспиратора 6, ПЭВМ 7, аналитических весов 8, оптического датчика концентрации пыли 9 и вторичного преобразователя 10.

На рис. 27 представлен узел оптического датчика, в основу которого положен абсорбционный метод. Датчик включает в себя излучатель 9а и приемник 9б.

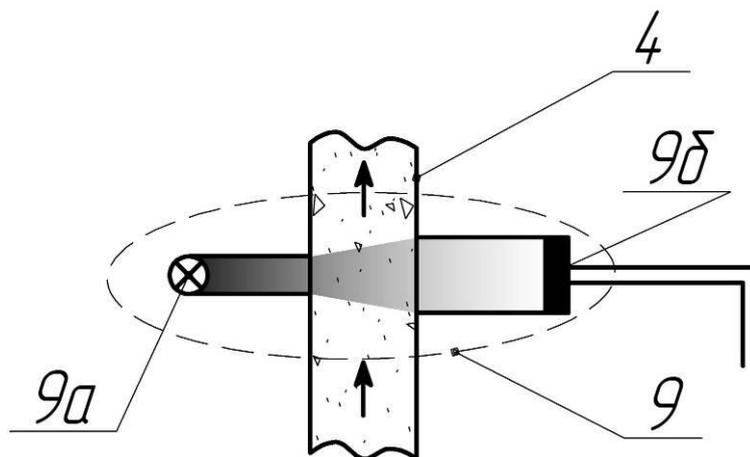


Рис. 27. Оптическая схема работы оптического датчика
9а – излучатель, 9б – приемник оптического датчика
концентрации пыли

4.5. Порядок выполнения работы

Действия выполняются в следующей последовательности:

1. Изучить методы контроля и измерения содержания пыли в воздухе.

2. Подготовить исследуемые навески (крахмал, свекла или другой сыпучий материал): взвесить, внести в камеру на вибростол, закрыть герметично пылевую камеру.

3. Подготовить аналитические фильтры.

4. Установить светодиоды определенного цвета с длиной волны λ (красный – 683 нм, зеленый – 533 нм, желтый – 578 нм, синий – 463 нм).

5. Подключить оптический датчик к ПЭВМ, запустить программу приема и обработки сигнала.

6. Вставить аналитический фильтр в аллонж.

7. Снять показания (U_{01}) оптического датчика для установления его характеристик при нулевой концентрации пыли ($C_{y0}=0$ мг/м³).

8. Снять показаний оптического датчика U_{31} в условиях запыленности воздуха (концентрация пыли в удаляемом воздухе C_{y01}) в основном воздуховоде:

- включить aspirator;
- через 35 сек после включения aspiratora – включить вибростол;
- через 3 мин 35 сек после включения aspiratora – отключить вибростол;
- через 5 мин после включения – отключить aspirator.

В течение работы aspiratora регистрировать температуру воздуха T_{11} и атмосферное давление P_{11} с целью приведения результатов к нормальным условиям.

9. После отключения aspiratora в течение 1 мин записать показания оптического датчика U_{02} , регистрируя показания чистого воздуха (нулевая концентрация) для учета запыления поверхности оптического датчика.

10. В течение 1 мин заменить подготовленный аналитический фильтр.

11. Снять показания U_{03} оптического датчика для установления его характеристик при нулевой концентрации пыли ($C_{y0}=0$ мг/м³).

12. Снятие показаний оптического датчика (U_{32}) в условиях запыленности воздуха (концентрация пыли в удаляемом воздухе C_{y02}) в основном воздуховоде:

- включить aspirator;
- через 35 сек после включения aspiratora – включить вибростол;
- через 3 мин 35 сек после включения aspiratora – отключить вибростол;
- через 5 мин после включения – отключить aspirator.

В течение работы aspiratora регистрировать температуру воздуха T_{12} и атмосферное давление P_{12} .

13. После отключения aspiratora в течение 1 мин записать показания оптического датчика U_{04} , регистрируя показания чистого воз-

духа (нулевая концентрация) для учета запыления поверхности оптического датчика.

14. В течение 1 мин заменить подготовленный аналитический фильтр.

15. Снять показания U_{0_5} оптического датчика для установления его характеристик при нулевой концентрации пыли ($C_{y0}=0$ мг/м³).

16. Снять показания оптического датчика U_{3_3} в условиях запыленности воздуха (концентрация пыли в удаляемом воздухе C_{y03}) в основном воздуховоде:

– включить aspirator;

– через 35 сек после включения aspiratora – включить вибростол;

– через 3 мин 35 сек после включения aspiratora – отключить вибростол;

– через 5 мин после включения – отключить aspirator.

В течение работы aspiratora регистрировать температуру воздуха T_{1_3} и атмосферное давление P_{1_3} .

17. После отключения aspiratora в течение 1 мин записать показания оптического датчика U_{0_6} , регистрируя показания чистого воздуха (нулевая концентрация) для учета возможного запыления поверхности оптического датчика.

18. Провести анализ запыленного фильтра и рассчитать концентрацию пыли в удаляемом воздухе системой вентиляции по формуле (4).

19. Оценку оптической плотности D запыленного воздуха для соответствующих концентраций, определить по следующим формулам:

$$D_1 = \lg \frac{U_{0_1} + U_{0_2} + U_{0_3}}{3 \cdot U_{3_1}}, \quad (6)$$

$$D_2 = \lg \frac{U_{0_2} + U_{0_3} + U_{0_4} + U_{0_5}}{4 \cdot U_{3_2}}, \quad (7)$$

$$D_3 = \lg \frac{U_{0_4} + U_{0_5} + U_{0_6}}{3 \cdot U_{3_3}}, \quad (8)$$

где D_1, D_2, D_3 – оптические плотности запыленного воздуха при концентрациях C_{y01}, C_{y02} и C_{y03} , соответственно.

(Вести хронометраж действий, после каждой серии из трех заборов проб воздуха чистить камеру.)

20. Повторить порядок действий (пункты 2 – 7) для второй навески.

21. Построить графические зависимости оптической плотности от концентрации.

22. Сделать вывод о влиянии концентрации пыли на оптическую плотность.

Таблица 7

Результаты экспериментальных значений

№	Средняя интенсивность светового потока при нулевой концентрации $\sum U_{0i}$	Средняя интенсивность светового потока в условиях работы с пылью U_{3i}	Оптическая плотность D_i	Концентрация пыли по весовому методу, мг/м ³
Навеска № 1				
1				
2				
3				
Навеска № 2				
4				
5				
6				

4.6. Контрольные вопросы

1. Какие существуют методы определения концентрации пыли?
2. Какие преимущества оптических методов контроля концентрации пыли перед методами с предварительным осаждением пыли?
3. Опишите устройство лабораторной установки для определения концентрации пыли.
4. Как осуществляется градуировка оптического датчика?

ЛИТЕРАТУРА

1. Клименко, А.П. Методы и приборы для измерения концентрации пыли [Текст] / А.П. Клименко. – М.: Химия, 1978. – 208 с.
2. Фукс, Н.А. Механика аэрозолей [Текст] / Н.А. Фукс. – М.: АН СССР, 1955. – 352 с.
3. Методика определения дисперсного состава сыпучего материала и аэрозоли в научных исследованиях и учебном процессе / Е.М. Агашков, Т.И. Белова, В.И. Гаврищук и др. // Научно-педагогические проблемы транспортных учебных заведений. – М.: МИИТ, 2011. – Выпуск 3. – С. 11 – 16.
4. Штокман, Е.А. Очистка воздуха от пыли на предприятиях пищевой промышленности [Текст] / Е.А. Штокман. – М.: Пищевая промышленность, 1989. – 304 с.
5. Коузов, П.А. Основы анализа дисперсного состава промышленных пылей и измельченных материалов [Текст] / А.П. Коузов. – М.: Химия, 1971. – 279 с.
6. Инструкция по проведению анализа дисперсного состав пыли седиментационным методом в жидкой среде [Текст]. – Л.: ВНИИОТ, 1965. – 52 с.
7. Ветошкин А.Г. Процессы и аппараты защиты окружающей среды: учебное пособие для вузов [Текст] / А.Г. Ветошкин. – М.: Высш. шк., 2008. – 640 с.
8. Системы вентиляции и кондиционирования. Теория и практика [Текст] / В.А. Ананьев, Л.Н. Балужева, А.Д. Гальперин и др. – 3-е изд. – М.: Евроклимат, 2001. – 416 с.
9. Полтев, М.К. Охрана труда в машиностроении: учебник [Текст] / М.К. Полтев. – М.: Высш. шк., 1980. – 294 с.
10. Классификация систем автоматического удаления вредных веществ из воздуха производственного помещения / Е.М. Агашков, Т.И. Белова, В.Е. Бурак и др. // Вестник МАНЭБ. – СПб, 2010. – Т.15, № 4. – С. 116 – 118.
11. Исследование систем автоматизированного удаления вредных веществ из воздуха производственных помещений в учебном процессе [Текст] / Е.М. Агашков, Т.И. Белова, В.И. Гаврищук, Д.А. Кравченко // Научно-педагогические проблемы транспортных учебных заведений: материалы международной научно-практической конференции. – М.: МИИТ, 2010. – Выпуск 2. – С.11 – 14.

12. Позин, Г.М. Основные типы местных отсосов и особенности их работы [Текст] / Г.М. Позин //Инженерные системы АВОК Северо-запад. – 2007. – №3, С. 26 – 35.

ПРИЛОЖЕНИЕ А
(справочное)
Характеристики систем пылеочистки

Таблица А1

Характеристики систем пылеочистки

Показатели	Пылеуловители					Фильтры	
	Гравитационные	Центробежные		Мокрые		Тканевые	Электрические
		низконапорные	средненапорные	низконапорные	высоконапорные		
1	2	3	4	5	6	7	8
Гидравлическое сопротивление, Па	До 100	100 – 300	750 – 1250	750 – 1500	5000 – 12500	750 – 1500	100 – 400
Зависимость эффективности пылеулавливания:							
от размера частиц	$f(d_T^2, C_K)$					При $d_T < 0,3$ мм $f(C_K / d_T)$; при $d_T > 0,3$ мм $f(d_T^2 / C_K)$	$f(d_T^2, C_K)$
от температуры	Практически не влияет	$f(C_K / \mu_r)$		Практически не влияет		При $d_T < 0,3$ мм $f(C_K T_r / \mu_r)$; при $d_T > 0,3$ мм $f(C_K / \mu_r)$	$f(C_K / \mu_r)$
от концентрации	Не влияет	Определяется диаметром аппарата и свойствами пыли		Определяется системой водоснабжения и возможными затратами энергии		Определяется типом фильтра (обычно не более 20 г/м ³)	Предельная $C_K = \frac{n_{II} e \rho_r d_T}{12 \varepsilon_0 E}$
от влажности	Не влияет			Способствует росту эффективности		Не влияет	Способствует росту эффективности

1	2	3	4	5	6	7	8
Ориентировочный минимальный размер частиц, улавливаемых с высокой эффективностью, мкм							
	50 – 40	40 – 30	25 – 8	5 – 2	1 – 0,1	0,1	1,0 – 0,25
максимально допустимая температура газа, °С	Определяется материалом, из которого изготовлен аппарат				Определяется материалом фильтрующей перегородки (<220 – 250)		Определяется составом газа и свойствами пыли
Нижняя предельная температура газа, °С	Выше точки росы			Любая		Выше точки росы	
Стойкость к коррозии	Достаточно стойки			При наличии в газах кислот требуется антикоррозионная защита		Стойки при температуре, превышающей точку росы	
Взрыво- и огнеопасность	Незначительная			Минимальная		Большая	
Ориентировочная стоимость очистки по отношению к низконапорным циклонам	-	1 – 1,5	2 – 3	2,5		3 – 7,5	5 – 15
Обозначения: d_T - диаметр частицы; C_K - концентрация пыли; ε_0 - диэлектрическая постоянная; e - величина заряда; E - напряженность электрического поля; T_Γ , μ_Γ , ρ_Γ - температура, динамическая вязкость и плотность воздуха							

ПРИЛОЖЕНИЕ Б

(справочное)

Определение группы дисперсности пыли

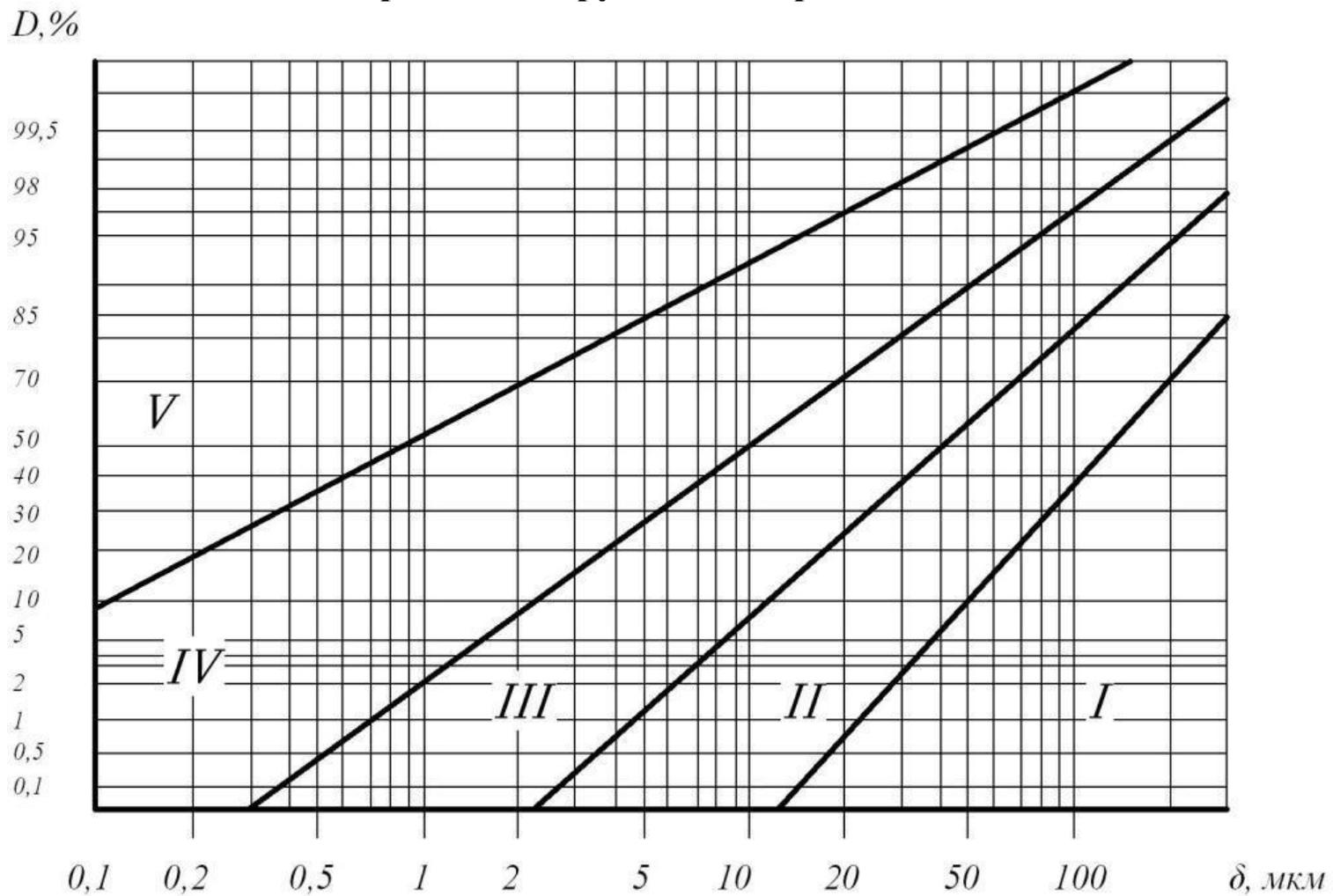


Рис. Б.1. Номограмма для определения группы дисперсности пыли

ПРИЛОЖЕНИЕ В
(справочное)
Классификация пылеуловителей

Пылеуловители по степени очистки от пыли различной дисперсности подразделяются на пять классов:

1 – пылеуловители, обеспечивающие улавливание частиц пыли V группы дисперсности в пределах 80 – 99 % и частиц пыли IV группы дисперсности – более 99 %;

2 – пылеуловители, обеспечивающие улавливание частиц пыли IV группы дисперсности в пределах 80 – 99 % и частиц пыли III группы дисперсности – более 99 %;

3 – пылеуловители, обеспечивающие улавливание частиц пыли III группы дисперсности в пределах 80 – 99 % и частиц пыли II группы дисперсности – более 99 %;

4 – пылеуловители, обеспечивающие улавливание частиц пыли II группы дисперсности в пределах 80 – 99 % и частиц пыли I группы дисперсности – более 99 %;

5 – пылеуловители, обеспечивающие улавливание частиц пыли I группы дисперсности в пределах 80 – 99 %.

Таблица В1

Классификация пылеуловителей

Тип пылеуловителя	Класс эффективности	Область применения по группе пыли				
		I	II	III	IV	V
Циклоны большой пропускной способности						
одионочные ЦН – 15, ЦН – 24	5	+	+	–	–	–
групповые ЦН – 15	5	+	+	–	–	–
Циклоны высокой эффективности						
одионочные СКНЦ – 34	4	–	+	+	–	–
многопленочные ЦВП	4	–	+	+	–	–
Скоростные промыватели						
СИОТ	3	–	+	+	–	–
Струйные, мокрые ПВМК	3	–	–	+	+	–
ПВМС, ПВМБ, ПВМКМА	2	–	–	+	+	–
Капельные, типа Вентури	2	–	–	+	+	–

ПРИЛОЖЕНИЕ Г

(справочное)

Подразделение пылеуловителей по нижнему пределу размеров частиц пыли

Все способы пылеулавливания можно разделить на сухие и мокрые. Оборудование для сухого улавливания включает пылесадительные устройства, пылеуловители центробежного действия, фильтры, электрофильтры. К оборудованию для мокрого улавливания пыли относят скрубберы различных типов, барботажные аппараты, скоростные пылеуловители и др. все пылеуловители делят на пять классов в зависимости от крупности пыли, для очистки от которой они предназначены (по нижнему пределу ее крупности):

Таблица Г1

Подразделение пылеуловителей по нижнему пределу размеров частиц пыли

Класс пылеуловителей	I	II	III	IV	V
Размер улавливаемых частиц, мкм	0,3	2	4	8	20

ПРИЛОЖЕНИЕ Д
(обязательное)
Форма отчета по лабораторной работе

Отчет выполняется согласно ГОСТ 7.32-91 на стандартном листе формате А4 в последовательности:

ФГБОУ ВПО «Госуниверситет - УНПК»

Кафедра «Охрана труда и окружающей среды»

Отчет по лабораторной работе № _____

Название работы _____

Ф.И.О. _____

Группа _____

Дата _____

Цель работы _____

Краткий ответ на указанный в описании вопрос.

Выполнение рисунка или схемы (при необходимости).

Оформление таблиц с выполнением в них теоретических и экспериментальных данных.

Выполнение расчетов, построение графических зависимостей.

Подпись студента _____

Подпись преподавателя _____

Учебное издание

Белова Татьяна Ивановна
Гаврищук Владимир Иванович
Агашков Евгений Михайлович

**ПРОЦЕССЫ И АППАРАТЫ ЗАЩИТЫ ОКРУЖАЮЩЕЙ
СРЕДЫ. ИССЛЕДОВАНИЯ ПАРАМЕТРОВ УДАЛЕНИЯ И
ОЧИСТКИ ВОЗДУХА ОТ ПЫЛИ**

Лабораторный практикум

Редактор В.Л. Сверчкова
Технический редактор

Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего профессионального образования
«Государственный университет - учебно-научно-
производственный комплекс»

Подписано к печати Формат 60×90 1/16.
Усл. печ. л. . Тираж экз.
Заказ №

Отпечатано с готового оригинал-макета
на полиграфической базе ФГБОУ ВПО «Госуниверситет - УНПК»,
302030 г. Орел, ул. Московская, 65