

**МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**  
**ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ**  
**УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ**  
**«БРЯНСКАЯ ГОСУДАРСТВЕННАЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННАЯ АКАДЕМИЯ»**

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

## **ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ И МЕТОДИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ВОЗДУШНОЙ СРЕДЫ**

Учебное пособие  
предназначено для аспирантов по направлению подготовки  
20.06.01 Техносферная безопасность, профиль Охрана труда (в АПК)

Брянская область, 2018

УДК 628.5.052 (076.5)

ББК 51.21

Б 43

Белова, Т.И. Теоретические и методические аспекты определения параметров воздушной среды: лабораторный практикум для высшего профессионального образования / Т.И. Белова, Е.М. Агашков, В.И. Гаврищук. – Брянск: Издательство Брянского ГАУ, 2018. – 116 с.

Учебное пособие включает теоретический и методический материал для определения параметров воздушной среды, состоит из двух частей, в первой части приведены основные методы определения концентрации вредных веществ в воздухе и дисперсного состава пылей, аспекты поддержания чистоты воздуха производственных помещений в определенных пределах, оценка эффективности систем пылеудаления, существующие и перспективные системы удаления вредных веществ и пылеочистки воздуха промышленного предприятия, исследования химического состава воздуха производственного помещения. Вторая часть включает работы, при проведении которых обучающие проводят экспериментальные исследования, методы которых могут быть использованы в процессе научных исследований.

Учебное пособие предназначено для аспирантов по направлению подготовки 20.06.01 Техносферная безопасность, профиль Охрана труда (в АПК) и специалистов, занимающихся проблемами обеспечения безопасности во всех сферах деятельности.

Рецензент

Доктор технических наук, профессор кафедры  
«Безопасность жизнедеятельности и инженерная экология»  
Федерального государственного бюджетного образовательного  
учреждения высшего образования  
«Брянский государственный аграрный университет»  
*А.В.Титенок.*

Рекомендовано к изданию методической комиссией инженерно - технологического института протокол № 8 от 21 марта 2018 г.

© Коллектив авторов, 2018

© ФГБОУ ВО Брянский ГАУ, 2018

## СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	5
Часть 1 Теоретические и методические подходы к определению параметров загрязнения воздушной среды.....	6
1. Определение концентрации пыли в воздушной среде.....	6
2. Определение дисперсного анализа пыли .....	10
2.1. Основы определения дисперсного состава пыли .....	10
2.2. Метод микроскопирования пыли .....	11
3. Определение чистоты воздуха производственных помещений.....	14
3.1 Основные термины и определения.....	14
3.2. Использование чистых помещений.....	16
3.3. Определение класса чистоты помещения.....	17
3.4. Проверка чистоты воздуха заданным требованиям.....	20
4. Оценка эффективности систем пылеудаления.....	22
4.1. Классификация систем вентиляции производственных помещений	22
4.2. Оценка эффективности местных отсосов.....	31
4.3. Определение концентрации пыли в воздухе весовым методом .....	33
5. Средства пылеочистки удаляемого воздуха.....	35
5.1. Классификация оборудования, применяемого для очистки воздуха....	35
5.2. Сухие механические пылеуловители.....	36
5.3. Мокрые пылеуловители.....	38
6. Системы контроля параметров воздушной среды.....	46
7. Исследование химического состава воздуха производственного помещения.....	57
7.1. Отбор проб воздуха для химического анализа.....	57
7.2. Анализ проб воздуха.....	59
7.3. Фотоколориметрический метод определения загрязненности воздуха	61
7.4. Определение концентраций вредных веществ в воздухе производ- ственных помещений.....	64

7.4.1. Экспресс методы определения концентрации вредных веществ в воздухе производственных помещений.....	64
7.4.2. Автоматические методы определения концентрации вредных веществ в воздушной среде.....	65
Часть 2 Экспериментальные исследования и их результаты.....	66
Лабораторная работа № 1. Определение содержания пыли в воздухе счетным методом .....	66
Лабораторная работа № 2. Определение класса чистоты производственного помещения .....	72
Лабораторная работа № 3. Определение дисперсного состава пыли в удаляемом воздухе системами вентиляции из производственного помещения .....	76
Лабораторная работа № 4. Определение дисперсного состава пыли в воздухе рабочей зоны методом микроскопирования .....	82
Лабораторная работа № 5 Определение эффективности работы местной вытяжной вентиляции промышленного предприятия.....	88
Лабораторная работа № 6 Оптические методы контроля содержания пыли в удаляемом воздухе из производственного помещения.....	91
Лабораторная работа № 7 Исследование эффективности удаления газов.....	96
Лабораторная работа №8 Исследование воздуха производственного помещения.....	102
Литература.....	101
Приложение.....	110

## ВВЕДЕНИЕ

Загрязнение окружающей среды и ее защита – одна из основных проблем человечества на протяжении многих веков, но сейчас от ее решения зависит существования человека, как основного потребителя природных ресурсов. Обеспечение безопасности жизнедеятельности тесно связано с источниками выделения газов и пылей на производственную сферу деятельности человека и на окружающую среду, в связи с этим исследования теоретического и экспериментального характера в этом направлении актуальны и требуют проведения дальнейших исследований.

Ученый в направлении техносферная безопасность в своей профессиональной деятельности должен знать теоретические и методические основы определения параметров окружающей среды, уметь их применять, а также - вырабатывать оригинальные методики по выбору систем и средств защиты производственной и окружающей среды.

Первая часть предназначена для выполнения самостоятельных работ с целью подготовки к проведению экспериментальных исследований, во второй части приведены лабораторные работы с использованием соответствующего оборудования.

В учебном пособии использованы материалы существующих исследований и исследований авторов пособия на основе разработанных, испытанных, запатентованных экспериментальных установок с целью дальнейшего исследования в этом направлении.

# ЧАСТЬ 1 ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ И МЕТОДИЧЕСКИЕ ПОДХОДЫ К ОПРЕДЕЛЕНИЮ ПАРАМЕТРОВ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ВОЗДУШНОЙ СРЕДЫ

## 1. ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОНЦЕНТРАЦИИ ПЫЛИ В ВОЗДУШНОЙ СРЕДЕ

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 прокачки 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. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДИСПЕРСНОГО АНАЛИЗА ПЫЛИ

### 2.1. Основы определения 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.

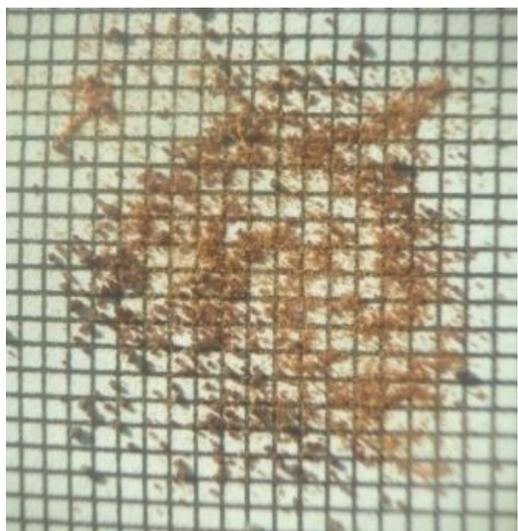
На выбор метода для анализа влияет вид пыли, требуемая точность, наличие соответствующего оборудования и другие факторы.

## **2.2. Метод микроскопирования пыли**

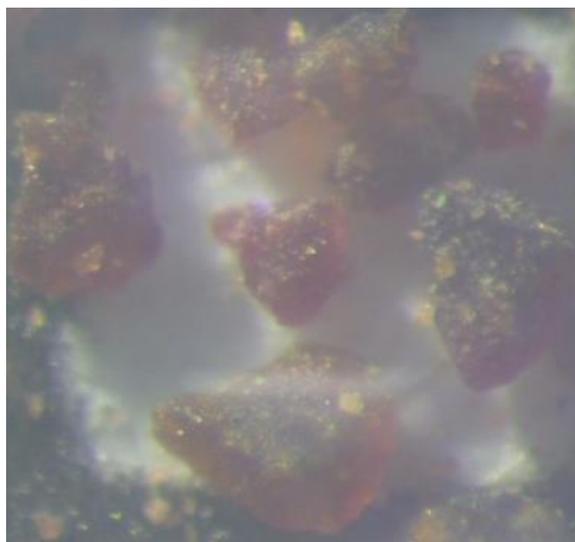
При использовании метода микроскопирования частицы пыли относятся к определенной фракции по наибольшему линейному размеру в соответствии со следующими диапазонами: 1-1,3-1,6-2,0-2,5-3,2-4,0-5,0-6,3-8,0-13-16-20-25-32-40-50-63-100-500-1000 мкм [3, 6]. Метод микроскопирования при визуальном анализе является 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.

Распределенная на аналитических фильтрах пыль считается по элементарным площадкам, как правило, 1 мм<sup>2</sup> [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.



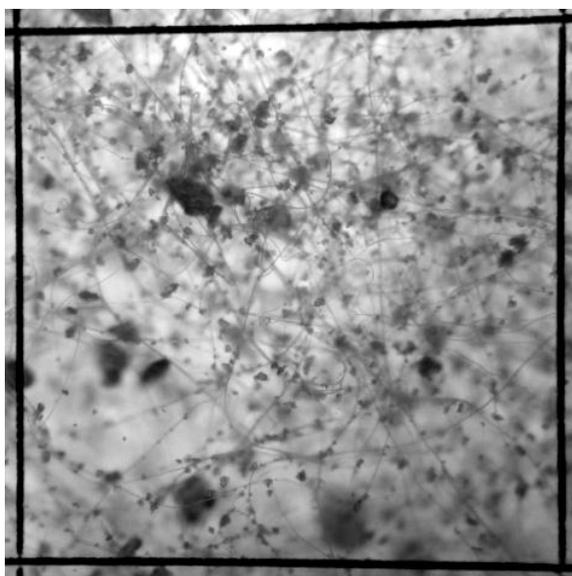
*a*



*б*

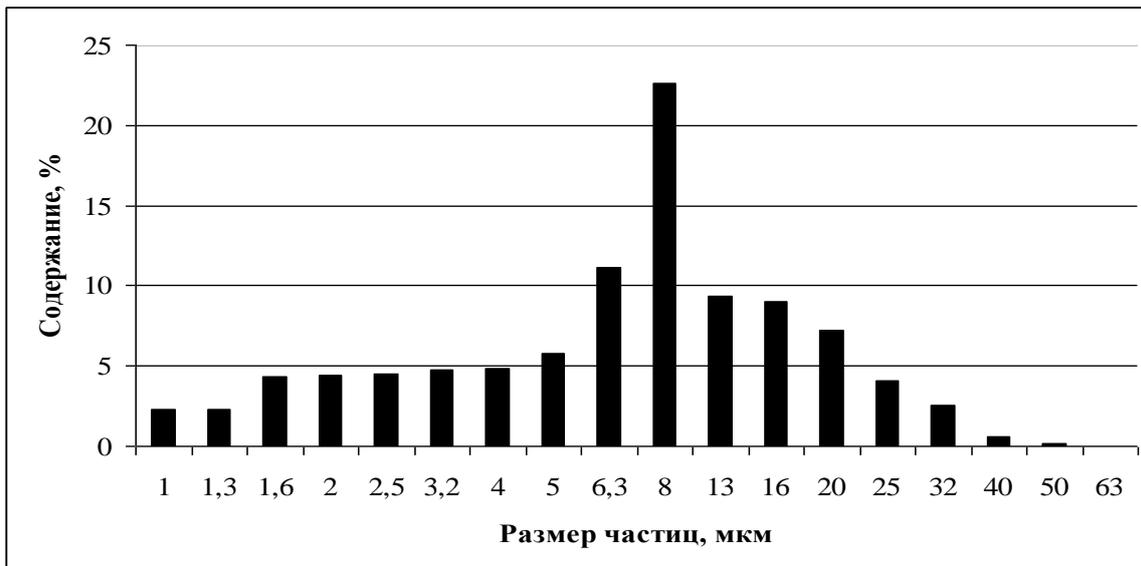
**Рис. 1.** Микрофотографии пыли: *a* – общий вид осажденной пыли на поверхности при увеличении 4,8×; *б* – при увеличении 56× одной из областей

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. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЧИСТОТЫ ВОЗДУХА ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПОМЕЩЕНИЙ

С появлением чистых помещений был сделан принципиальный шаг вперед: число частиц в единице объема не должно превышать определенных значений, что требует особой классификации чистоты воздуха, методов создания и эксплуатации чистых помещений [8].

#### 3.1 Основные термины и определения:

В процессе развития представлений о чистых помещениях складывалась специфическая терминология. Наиболее важные термины закреплены в нормативных документах [9].

*Чистое помещение* – помещение, в котором контролируется концентрация взвешенных в воздухе частиц, построенное и используемое так, чтобы свести к минимуму поступление, выделение и удержание частиц внутри помещения, и позволяющее, по мере необходимости, контролировать другие параметры, например, температуру, влажность и давление. Чистое помещение может содержать одну или несколько чистых зон [8].

*Чистая зона* – пространство, в котором контролируется концентрация взвешенных в воздухе частиц, построенное и используемое так, чтобы свести к минимуму поступление, выделение и удержание частиц внутри зоны, и позволяющее, по мере необходимости, контролировать другие параметры, например, температуру, влажность и давление. Чистая зона может быть открытой или закрытой и находиться как внутри, так и вне чистого помещения, а также – и вне чистого помещения, создаваться в локальных объемах: ламинарных шкафах, укрытиях, изоляторах и пр.

*Система чистого помещения* – это чистое помещение, или одна или не-

сколько чистых зон со всеми относящимися к ним структурами, системами подготовки воздуха, обслуживания и утилизации [9].

*Класс чистоты* – уровень чистоты по взвешенным в воздухе частицам, применимый к чистому помещению или чистой зоне, выраженный в терминах «Класс  $N$  ИСО», который определяет максимально допустимые концентрации (частиц/м<sup>3</sup>) для заданных диапазонов размеров частиц.

*Частица* – твердый или жидкий объект, который в целях классификации чистоты воздуха характеризуется совокупным распределением, основанным на пороговом размере (нижнем пределе) в диапазоне 0,1 – 5,0 мкм.

*Размер частиц* – диаметр сферы, которая в контролирующем приборе дает отклик, равный отклику от оцениваемой частицы. Для дискретных счетчиков частиц, работающих на принципе рассеяния света, используется эквивалентный оптический диаметр.

*Концентрация частиц* – число отдельных частиц в единице объема воздуха.

*Распределение частиц по размерам* – кумулятивное распределение концентрации частиц в зависимости от их размеров.

*Ультрамелкая частица* – частица с эквивалентным диаметром менее 0,1 мкм.

*Макрочастица* – частица с эквивалентным диаметром более 5,0 мкм.

*Волокно* – частица вытянутой формы, длина которой превышает ширину в 10 или более раз.

*Построение* – состояние, в котором монтаж чистого помещения завершен, все обслуживающие системы подключены, но отсутствует производственное оборудование, материалы и персонал.

*Оснащенное помещение* – состояние, в котором чистое помещение укомплектовано оборудованием и действует по соглашению между заказчиком и исполнителем, но персонал отсутствует.

*Эксплуатируемое помещение* – состояние, в котором чистое помещение

функционирует установленным образом, с установленной численностью персонала, работающего в соответствии с документацией.

*Заказчик* – организация или ее представитель, ответственный за точное определение требований к чистому помещению или чистой зоне.

*Исполнитель* – организация, выполняющая установленные требования к чистому помещению или чистой зоне.

### 3.2. Использование чистых помещений

Чистые помещения и связанные с ними контролируемые среды предназначены для поддержания чистоты воздуха в определенных пределах в зависимости от требований процессов, чувствительных к загрязнениям.

Чистые помещения необходимы для производства продукции в таких отраслях как аэрокосмическая, микроэлектронная, фармацевтическая и пищевая промышленность, производство медицинских изделий и здравоохранение (табл.1) [8].

*Таблица 1*

Примеры применения чистых помещений

Область применения	Класс чистого помещения по ГОСТ Р ИСО 14644-1-2002					
	3	4	5	6	7	8
1	2	3	4	5	6	7
<i>Промышленность</i>						
Микроэлектроника	+	+	+	Вспомогательные зоны		
Приборостроение, вычислительная техника			+	+	+	+
Оптика и лазеры			+	+	+	+
Космическая промышленность			+	+	+	+
Точная механика, гидравлика и пневматика						+
Прецизионные подшипники						+

продолжение табл. 1

1	2	3	4	5	6	7
Автомобильная промышленность					+	+
Парфюмерия и косметика						+
<i>Здравоохранение</i>						
Производство лекарственных средств: - стерильных, - нестерильных			+		+	+
Производство изделий медицинского назначения			+		+	+
Больницы: - операционные, - палаты интенсивной терапии, - другие помещения			+	+	+	+
<i>Пищевая промышленность</i>			+		+	+
<i>Учебные помещения и лаборатории</i>			+	+	+	+

### 3.3. Определение класса чистоты помещения

При определении класса чистоты указывается состояние чистых помещений – «построенное», «оснащенное» или «эксплуатируемое» [9]. Следует иметь в виду, что состояние «построенное» может применяться к новым или недавно реконструированным чистым помещениям или чистым зонам. После испытаний в состоянии «построенное» дальнейшие испытания выполняются по согласованию с заказчиком в состояниях «оснащенное», «эксплуатируемое» или в обоих состояниях.

Чистота помещения по взвешенным в воздухе частицам обозначается классификационным числом  $N$ . Максимально допустимая концентрация частиц  $C_n$ , частиц/м<sup>3</sup>, с размерами, равными или большими заданного размера  $D$ , для данного класса чистоты определяется по формуле

$$\tilde{N}_n = 10^N \left( \frac{0,1}{D} \right)^{2,08}, \quad (1)$$

где  $N$  – классификационное число ИСО, которое не должно превышать значения 9. Промежуточные числа классификации ИСО могут быть определены с наименьшим допустимым приращением  $N$ , равным 0,1;

0,1 – константа, мкм;

$D$  – заданный размер частиц, мкм.

Значение  $C_n$  округляется до целого числа, при этом используется не более трех значащих цифр. В табл. 2 приведены классы чистоты и соответствующие концентрации частиц с размерами, равными или большими заданных размеров. Точное значение величины  $C_n$  определяется по формуле (1).

Обозначение класса чистоты по взвешенным в воздухе частицам для чистых помещений и чистых зон включает:

а) классификационное число, выраженное как «Класс  $N$  ИСО»;

б) состояние чистого помещения;

в) заданные размеры частиц и соответствующие концентрации, определенные по уравнению (1), где каждый заданный пороговый размер частиц находится в пределах 0,1 – 5,0 мкм.

Пример обозначения:

Класс 4 ИСО; эксплуатируемое состояние; заданные размеры частиц: 0,2 мкм (2370 частиц/м<sup>3</sup>); 1,0 мкм (83 частицы/м<sup>3</sup>).

Размеры частиц, для которых следует определить концентрацию, должны быть согласованы заказчиком и исполнителем.

Если оценка должна быть сделана для более чем одного размера частиц, то каждый больший диаметр частицы (например,  $D_2$ ) должен быть, по крайней мере, в 1,5 раза больше ближайшего меньшего диаметра частицы (например,  $D_1$ ).

*Пример:*  $D_2 \geq 1,5D_1$ .

Таблица 2

Классы чистоты по взвешенным в воздухе частицам для чистых помещений и чистых зон

Класс <i>N</i> ИСО ( <i>N</i> -классификационное число)	Максимально допустимые концентрации частиц, частиц/м <sup>3</sup> , с размерами, равными или большими следующих значений, мкм					
	0,1	0,2	0,3	0,5	1,0	5,0
Класс 1 ИСО	10	2	-	-	-	-
Класс 2 ИСО	100	24	10	4	-	-
Класс 3 ИСО	1000	237	102	35	8	-
Класс 4 ИСО	10000	2370	1020	352	83	-
Класс 5 ИСО	100000	23700	10200	3520	832	29
Класс 6 ИСО	1000000	237000	102000	35200	8320	293
Класс 7 ИСО	-	-	-	352000	83200	2930
Класс 8 ИСО	-	-	-	3520000	832000	29300
Класс 9 ИСО	-	-	-	35200000	8320000	293000

*Примечание.* Из-за неопределенности, связанной с процессом счета частиц, при классификации следует использовать значения концентрации, имеющие не более трех значащих цифр.

### 3.4. Методика проверки чистоты воздуха заданным требованиям

Принцип проверки состоит в том, что соответствие чистоты воздуха заданным требованиям (классу  $N$  ИСО) проверяется по программе испытаний, согласованной заказчиком и исполнителем, с последующим оформлением результатов [9].

Методика определения классов чистоты дана в п. 1.3. Можно использовать альтернативный метод, который имеет сопоставимую точность.

Испытания, выполняемые для проверки соответствия, должны проводиться с использованием калиброванных приборов.

После завершения испытаний следует рассчитать средние концентрации частиц и 95%-й верхний доверительный предел (если это требуется) по формулам.

Средние концентрации частиц, не должны превышать максимально допустимые концентрации частиц, определенных уравнением (1), для заданных размеров.

Если число точек отбора проб более одной и менее десяти, вычисляются 95%-е верхние доверительные пределы, которые не должны превышать максимально допустимые концентрации.

При определении классов чистоты для всех заданных размеров частиц следует использовать один и тот же метод.

Результаты испытаний каждого чистого помещения или чистой зоны должны быть оформлены в виде подробного протокола с указанием соответствия или несоответствия заданному классу чистоты по взвешенным в воздухе частицам.

Протокол испытаний должен включать:

- а) наименование, адрес проверяющей организации и дату проведения испытаний;
- б) обозначение настоящего стандарта;
- в) четкую планировку испытываемого чистого помещения или чистой зоны (с информацией о соседних зонах, при необходимости) и координаты всех то-

чек отбора проб;

г) данные о назначении чистого помещения или чистой зоны с указанием классов чистоты, классификацию по ИСО, соответствующее состояние чистых помещений и заданные размеры частиц;

д) данные об использованном методе испытаний, включая любые специальные условия, относящиеся к испытаниям или к отклонениям от метода испытаний, а также данные о приборе для испытаний и копию действующего сертификата калибровки;

е) результаты испытаний, включая данные по концентрации частиц для всех точек отбора проб.

Если концентрации ультрамелких частиц или макрочастиц определены количественно, то соответствующая информация должна быть включена в протокол испытаний.

## 4. ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ СИСТЕМ ПЫЛЕУДАЛЕНИЯ

### 4.1. Классификация систем вентиляции производственных помещений

Наличие множества различных вредных факторов на производстве (тепловыделения и влаговыделения, 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 [10]. Искусственные системы вентиляции по направлению потока воздуха бывают приточными, вытяжными, приточно-вытяжными, рециркуляционными; по зоне обслуживания – общеобменные и местные; по использованию воздухопроводов – канальные и бесканальные.

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

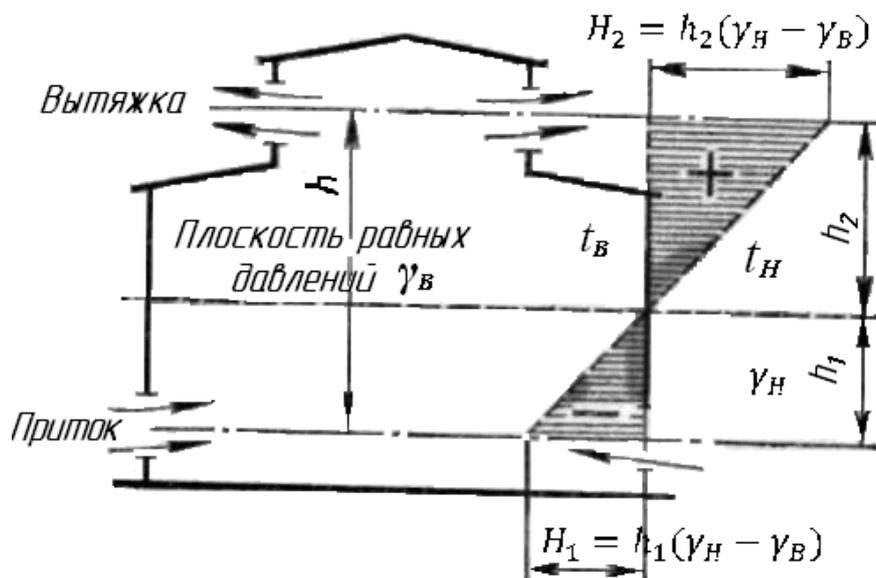
Создание естественной вентиляции происходит из-за воздействия ветрового давления и разности температур и весов воздуха (внутри  $t_{в\gamma_{в}}$  и снаружи  $t_{н\gamma_{н}}$ ) производственных помещений. На рис. 5 показана схема распределения давления воздуха и разность высот приточного и вытяжного 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.



*Рис. 4.* Классификация существующих систем вентиляции

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 [11].

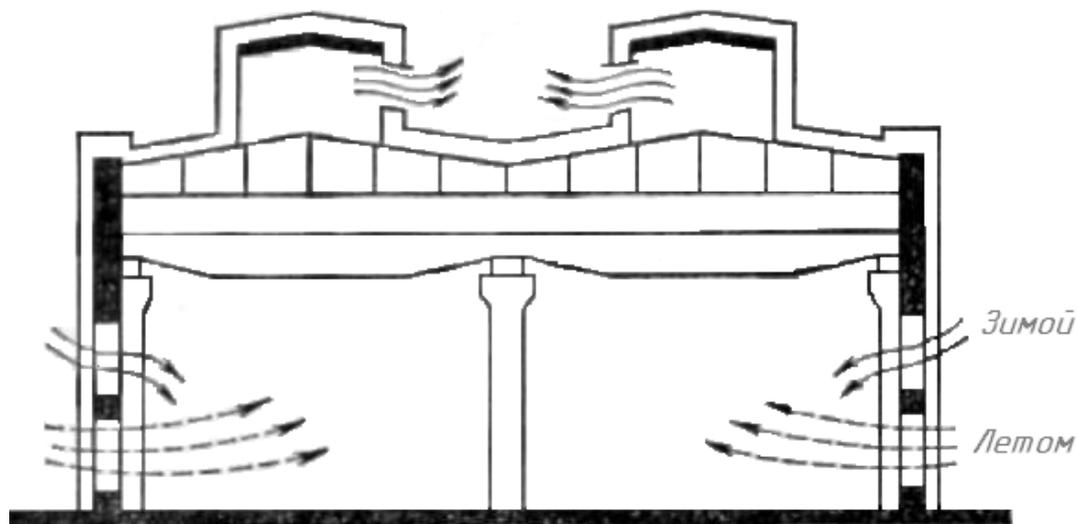


**Рис. 5.** Распределение давления воздуха в помещении при естественной вентиляции

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  $45^\circ$  направлению господствующих ветров.

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 меха-

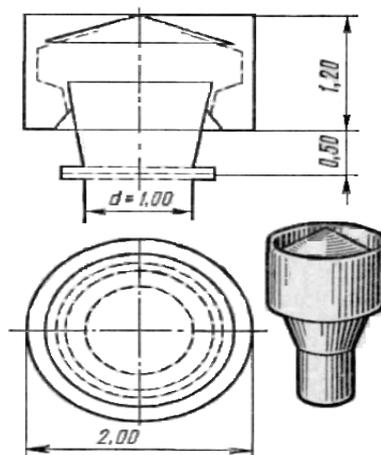
низмов открытия-закрытия, а также их механизации.



**Рис.6.** Схема поступления и удаления воздуха при аэрации в теплый и холодный периоды года

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).



**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 [10 – 13].

Недостатки систем естественной вентиляции:

- зависимость от условий внешней среды;
- небольшое создаваемое давление;
- отсутствие возможности подготовки подаваемого воздуха (подогрев, очистка, увлажнение) в производственное помещение [10 – 13].

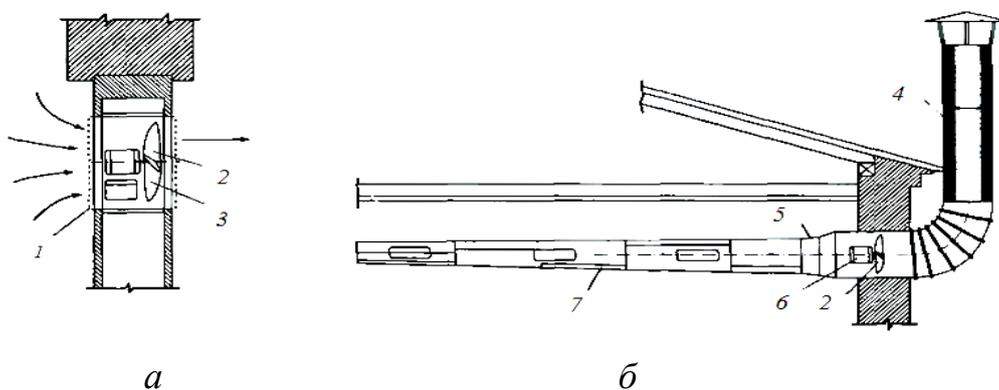
Из-за наличия большого количества выделений тепла, влаги, и особенно вредных газов (паров) и пыли на предприятиях пищевой промышленности к системам естественной вентиляции необходимо добавлять системы искусственной вентиляции для нормализации параметров воздушной среды. Искусственные вентиляционные системы 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 [10 – 13].

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 усло-

вия 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 каналные и бесканальные (рис. 8) [10].

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 [11–13].



**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.

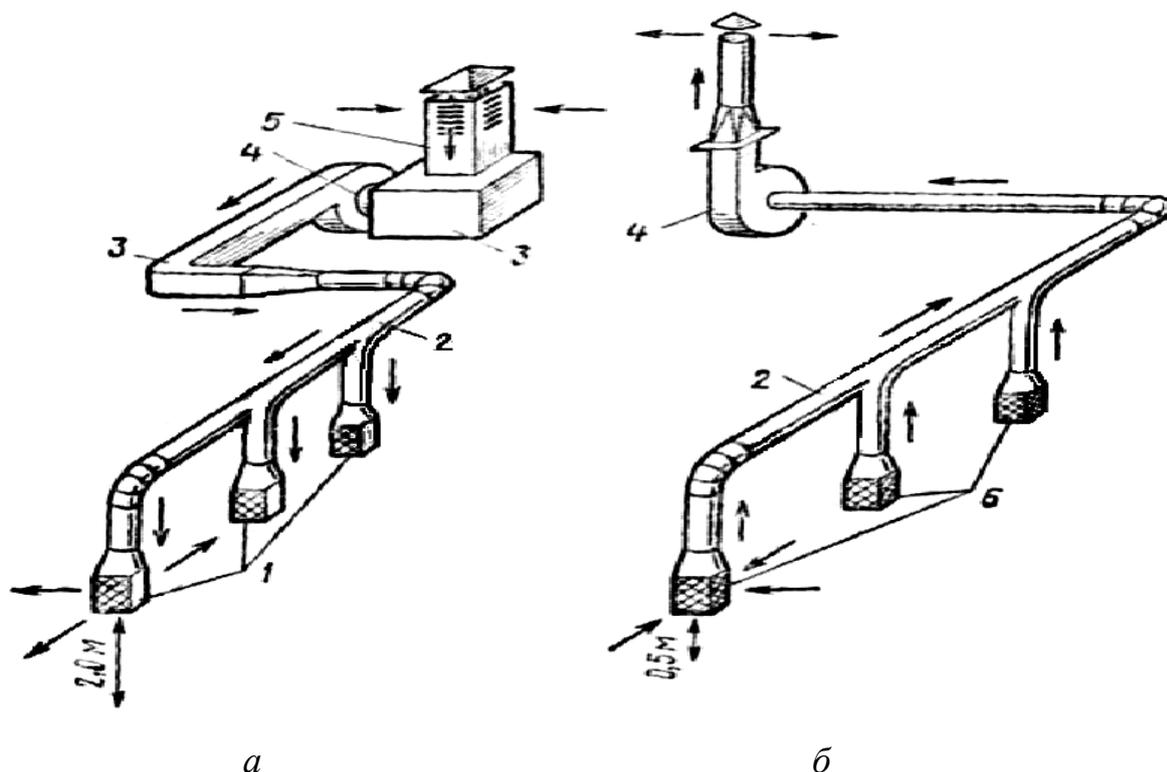
Приточно-вытяжная вентиляция применяется для создания сбалансированного воздухообмена, что позволяет значительно увеличить качество воздушной среды.

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 [11].

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

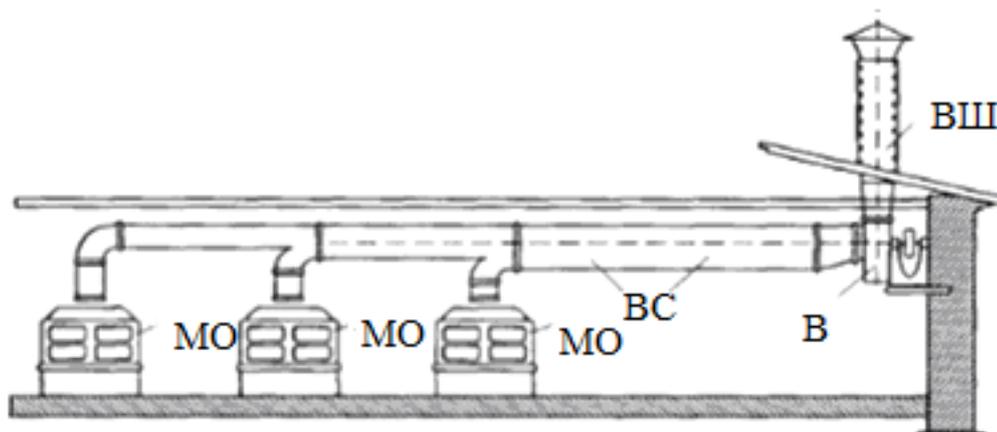
Местные приточные системы вентиляции должны подавать чистый подготовленный воздух к рабочим местам для разбавления вредных веществ в воздухе рабочей зоны, создания необходимых параметров микроклимата и снижения интенсивности теплового облучения работающих. Местные приточные системы могут быть в виде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

вредных веществ ведет к их распространению по всему помещению.



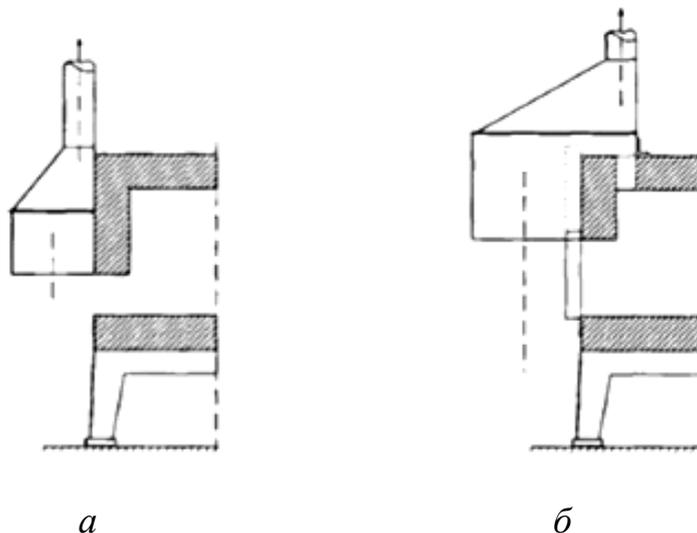
**Рис. 9.** Схемы приточной и вытяжной систем вентиляции: *а* – приточная вентиляция, *б* – вытяжная вентиляция; 1 – воздухораспределители, 2 – воздуховоды, 3 – калорифер, 4 – вентилятор, 5 – воздухозаборная шахта, 6 – воздухоприемники

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. 11) 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) [11].

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 [10, 12].

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

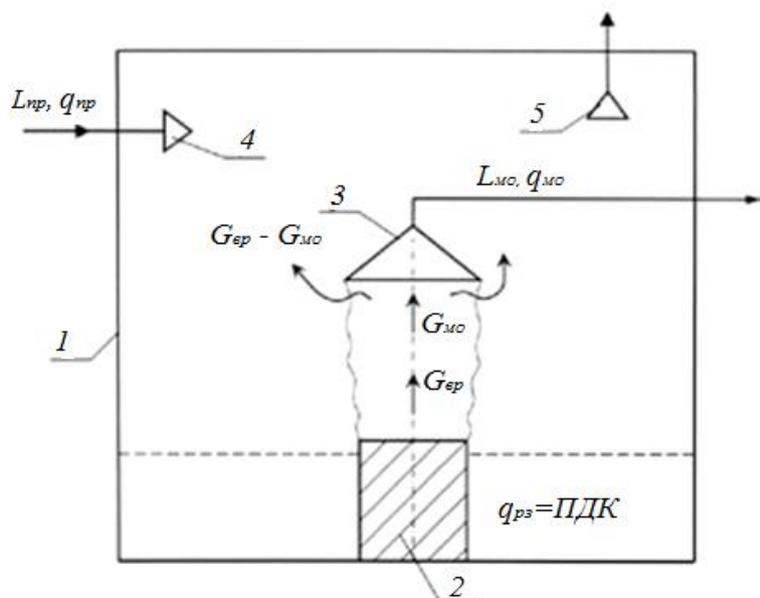
- из-за отсутствия регулирования работы системы вентиляции;
- из-за недостаточной очистки воздуха рабочей зоны при малой мощности электродвигателя вентилятора;
- из-за повышенных энергозатрат на работу системы вентиляции при малых концентрациях вредных веществ в воздушной среде;
- из-за необходимости при проектировании производить точные расчеты с учетом концентрации вредных веществ и параметров микроклимата, уровней шума и вибрации [12, 13].

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

## 4.2. 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  $L_{MO}$ , м<sup>3</sup>/ч, и концентрацией  $q_{MO}$ , мг/м<sup>3</sup> [13].

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  $L_{np}$  и начальной концентрацией  $q_{np}$  до предельно допустимой концентрации вредных веществ в рабочей зоне  $q_{pz} = \text{ПДК}$ , мг/м<sup>3</sup>, а затем удаляется из помещения 1 общеобменной вытяжной вентиляцией 5 в количестве  $L_{yx}$  и концентрацией  $q_{yx}$ .



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

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  $1 \text{ м}^3$  воздуха, удаляемого местным отсосом, выше, чем аналогичное количество воздуха, удаляемого общеобменной вентиляцией. Отсюда следует вывод, что по величине только одного коэффициента – коэффициента улавливания  $K_{УЛ}$  – нельзя сделать окончательный вывод об эффективности отсоса [13].

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

$$K_{УЛ} = \frac{G_{MO}}{G_{BP}}. \quad (2)$$

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:

$$K_{эф} = \frac{q_{МО}}{ПДК}. \quad (3)$$

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

### **4.3. 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  $1 \text{ см}^3$  – счетный метод.

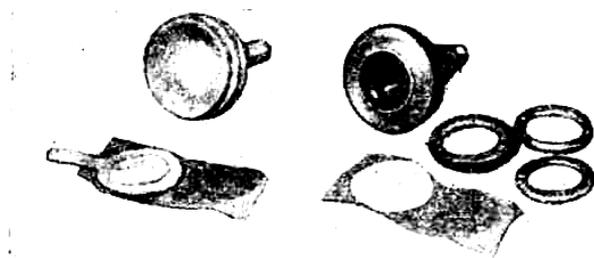
В производственных условиях находят применение разнообразные методы и средства контроля воздуха на содержание пыли.

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 при-

бор, 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.

## 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 при-

ведена в табл. 3.

Таблица 3

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 (одиочные, 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 за-

крученного или вращательного движения, ограниченного цилиндрическими стенками, в которой частицы осаждаются отбрасыванием 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 прямоточные конструкции.

Прямоточные конструкции имеют меньшее сопротивление, но применяются реже в виду худших характеристик улавливания.

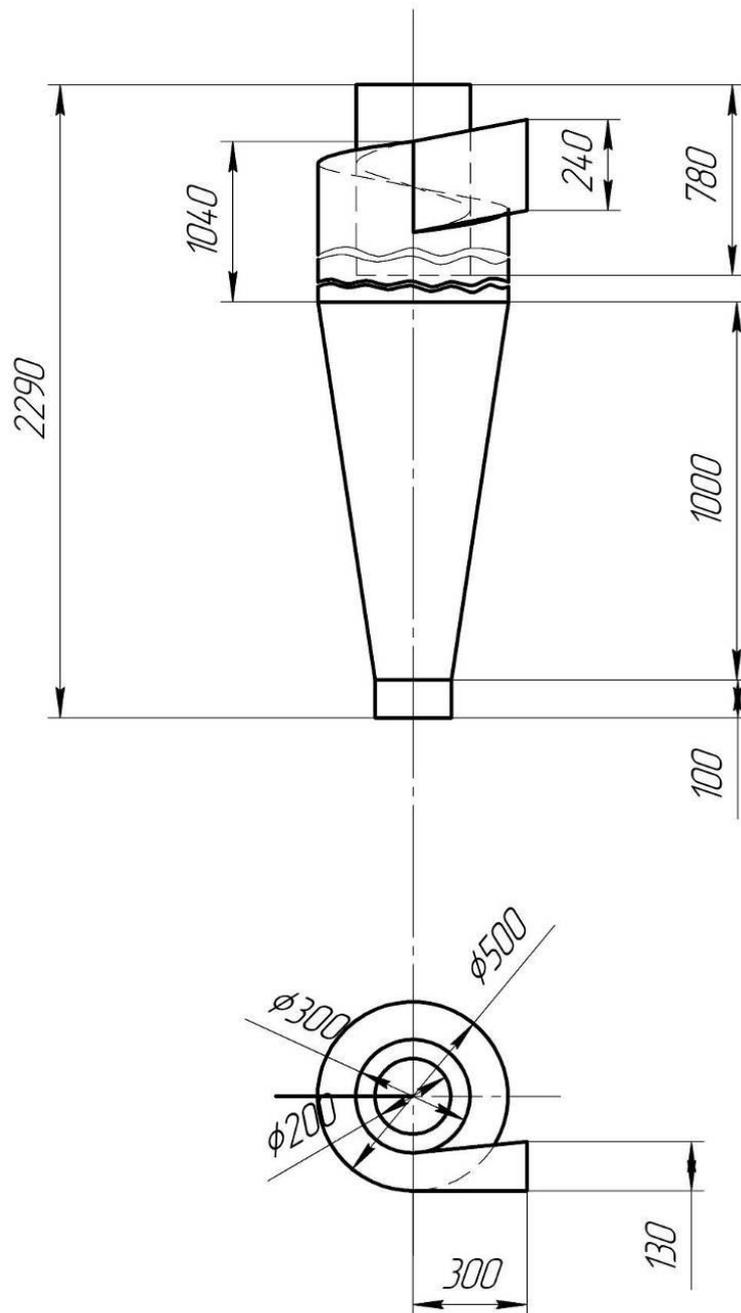
В России и СНГ для циклонов принят стандартизированный ряд внутренних диаметров  $D$ : 200, 300, 400, 500, 600, 700, 800, 900, 1000, 1200, 1400, 1600, 1800, 2000, 2400 и 3000 мм. Для всех одиночных циклонов бункеры выполняются цилиндрическими с коническим днищем. Диаметр бункера принимают  $1,5D$  для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

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. 14). Отличием циклонов серии ЦН является удлиненная цилиндрическая часть и наклон входного патрубка под углом  $11^\circ$ ,  $15^\circ$  или  $24^\circ$ . Зная группу пыли по ее дисперсности, выбирается класс пылеуловителя, необходимый для

достижения требуемой эффективности пылеулавливания (Прил. В).



*Рис. 14.* Циклон ЦН-11-500

### 5.3. 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. 15) 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].

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 %.

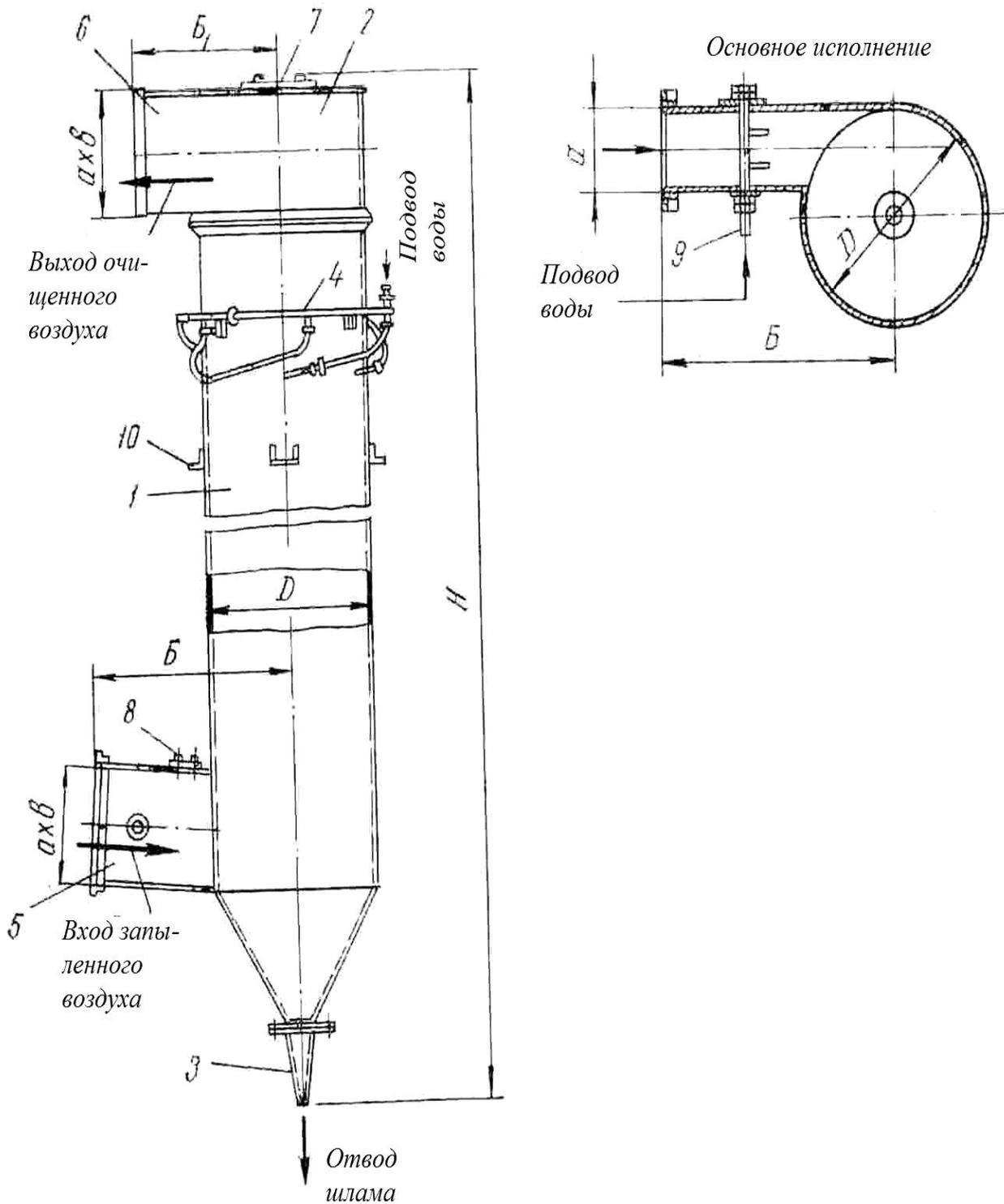
Предусматриваются следующие исполнения циклона ЦВП в зависимости от скорости входа воздуха в циклон: основное и с повышенной скоростью.

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. 16 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].

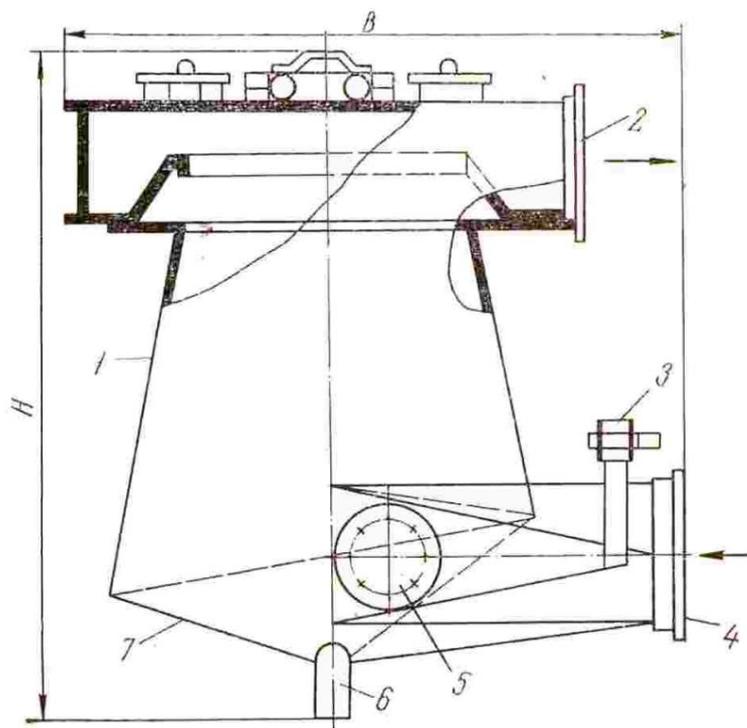
В циклоне-промывателе СИОТ в процессе пылеулавливания на пылевые частицы действует центробежная сила и промывание воздуха водой. Хороший контакт очищаемого воздуха с водой создается благодаря турбулизации и распылению воды в нижней части аппарата под действием воздушного

ПОТОКА.



**Рис. 15.** 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



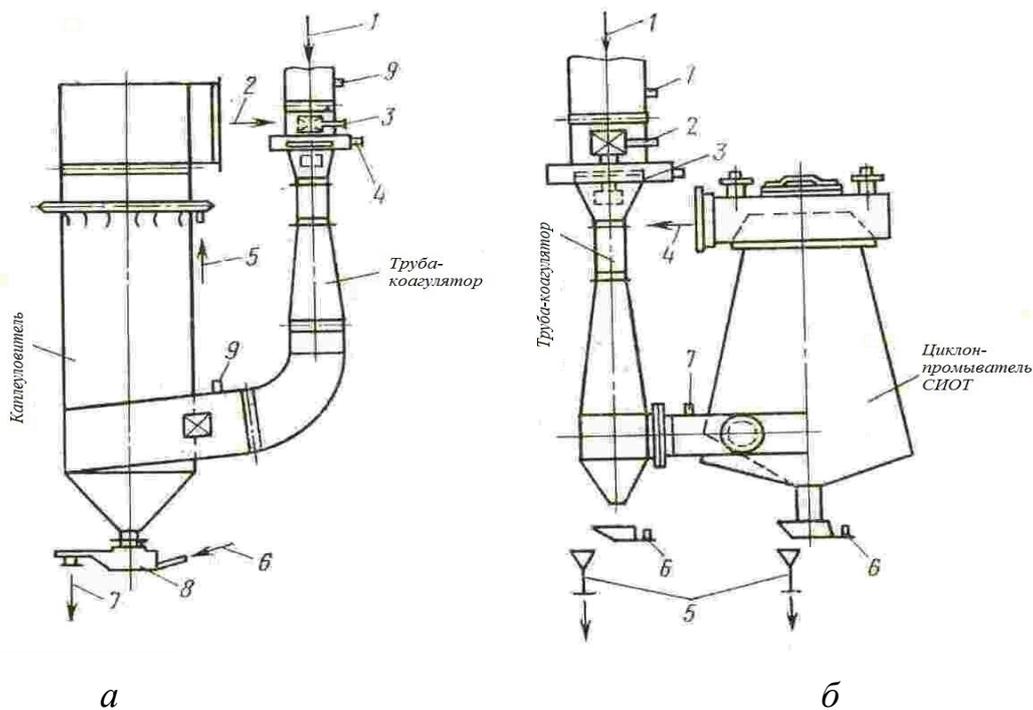
**Рис. 16.** Циклон-промыватель СИОТ: 1 – корпус, 2 – патрубок для выхода воздуха, 3 - водоподводящая трубка, 4 – патрубок для входа воздуха, 5 – смотровые люки, 6 – спускной клапан, 7 – коническая часть циклона

Циклоны-промыватели СИОТ при прочих равных условиях имеют габаритные размеры в 2,5 – 3 раза меньше, 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. 17 представлены схемы СПУ Вентури. Первой ступенью является труба Вентури, второй – скруббер, циклон с водяной пленкой или циклон-промыватель СИОТ.



**Рис. 17.** Схема компоновок 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

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.

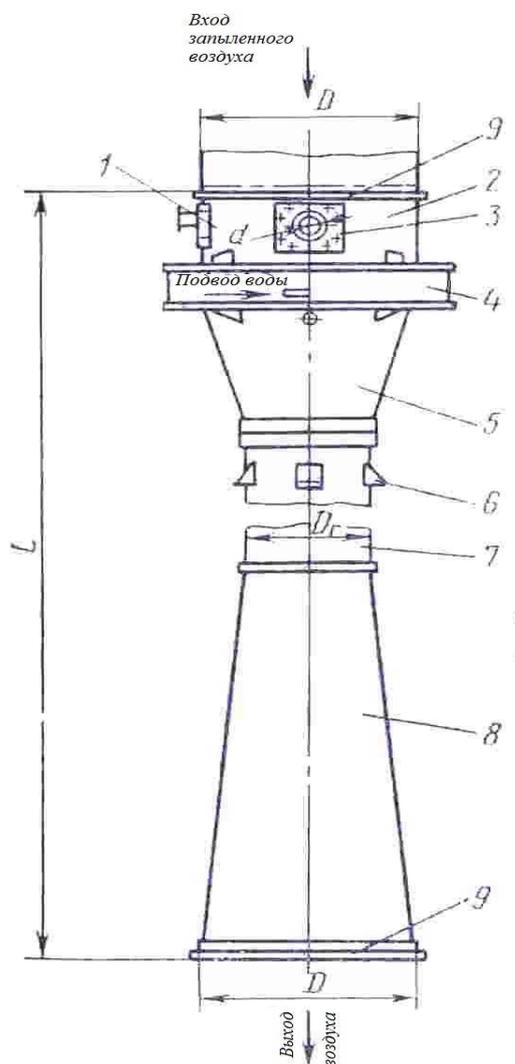
В результате высокой скорости в горловине трубы Вентури создается интенсивная турбулизация, которая обеспечивает хорошее перемещение пылевоздушного потока с тонкораспыленной водой, смачивание пылевых частиц и их коагуляцию. Воздушный поток, содержащий скоагулированные в трубе Вентури пылевые частицы, 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 м<sup>3</sup> очищаемого воздуха, на количество которого влияют вид очищаемой пыли, ее концентрация в очищаемом воздухе и конструкция пылеуловителя [4].

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

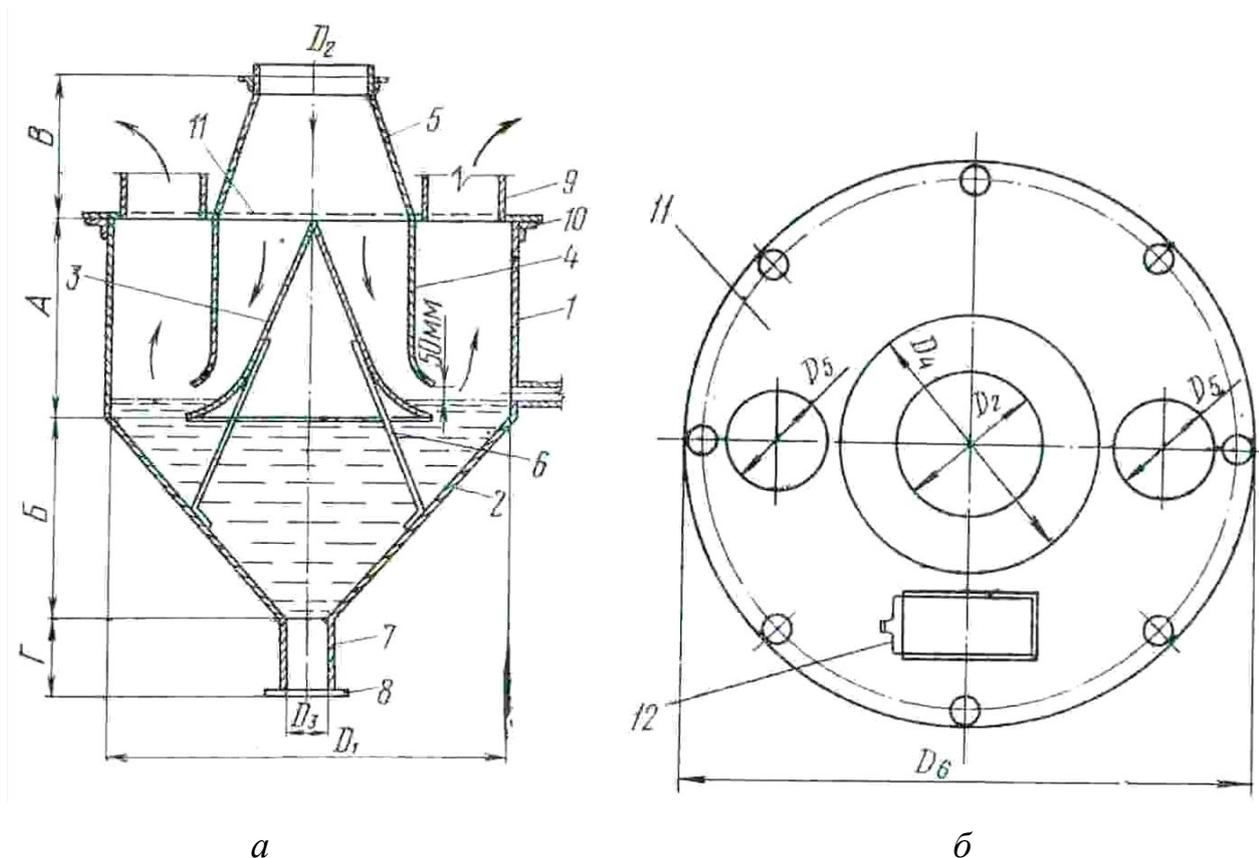
На рис. 18 показана труба Вентури.



**Рис. 18.** 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. 19) [4].



**Рис. 19.** 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 м<sup>3</sup>/ч.

Преимуществами аппарата являются [4]:

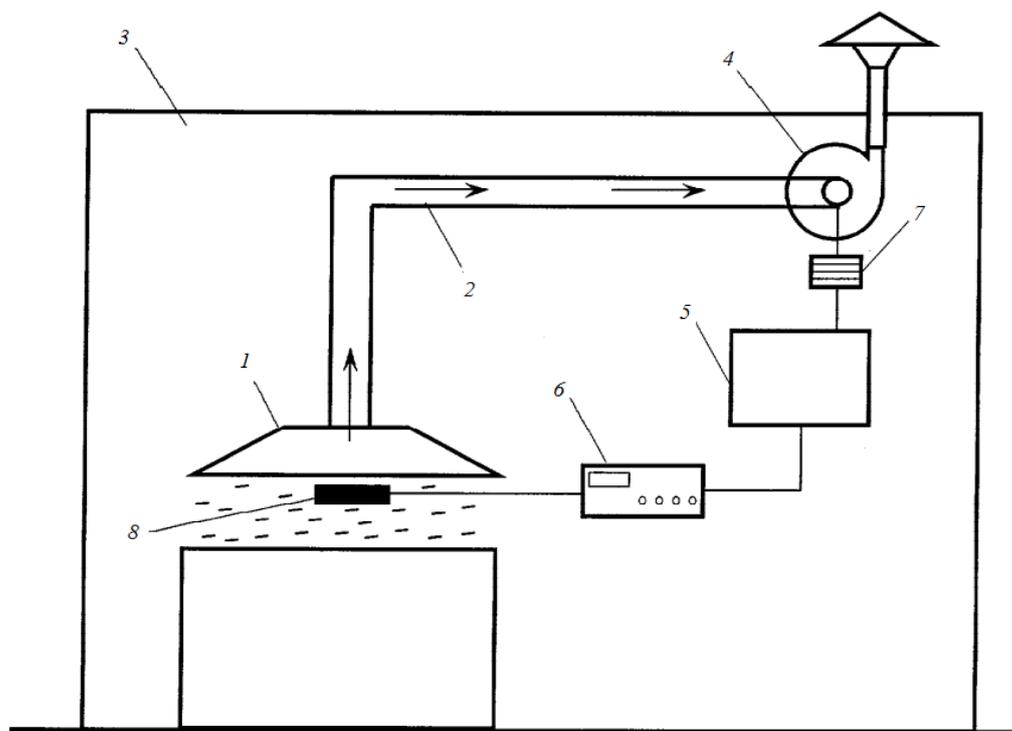
- незначительный расход воды (вода в аппарате расходуется лишь на испарение с поверхности и унос влаги с воздухом);
- шлам удаляют один раз в четыре месяца.

## 6. СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ ПАРАМЕТРОВ ВОЗДУШНОЙ СРЕДЫ

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 [10, 12, 13].

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. 20 представлен способ вентиляции промышленного предприятия [12].

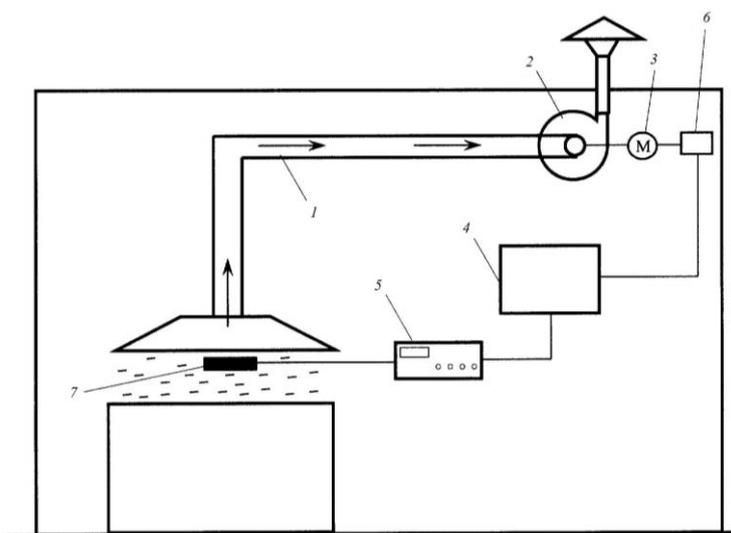


**Рис. 20.** Способ вентиляции промышленного предприятия: 1 – воздуховоды местных отсосов загрязненного воздуха, 2 – основной воздуховод вытяжной вентиляции, 3 – производственный цех, 4 – вытяжной вентилятор, 5 – регулятор расхода воздуха, 6 – газоанализатор концентрации вредных веществ в воздухе рабочей зоны, 7 – исполнительный механизм, 8 – газозаборный зонд

Способ вентиляции промышленного предприятия позволяет обеспечить регулирование концентрации вредных веществ в воздухе рабочей зоны измене-

нием 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. 21) [12].



**Рис. 21.** 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 ( $\text{CO}_x$ ,  $\text{NO}_x$ ,  $\text{SO}_x$  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.

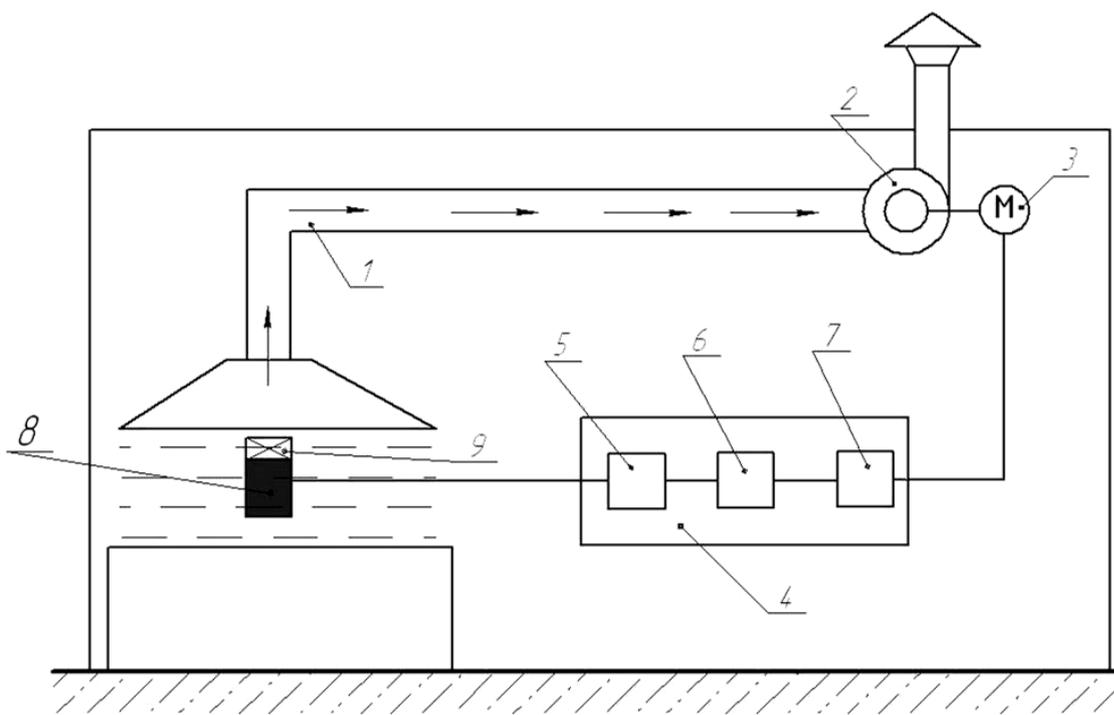
Устройства контроля концентрации вредных веществ являются одним из основных элементов автоматизации систем вентиляции, так как от их работы зависит эффективность работы всей системы. Основными параметрами устройств контроля концентрации вредных веществ (особенно пылей) являются чувствительность, надежность срабатывания, непрерывность контроля.

В настоящее время наиболее полноценно реализованы системы контроля температуры, относительной влажности, скорости движения воздуха и содержания некоторых газов в воздухе рабочей зоны (углекислота, кислород).

Система вентиляции промышленного предприятия (рис.22) 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 вред-

ными 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. 22.** 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

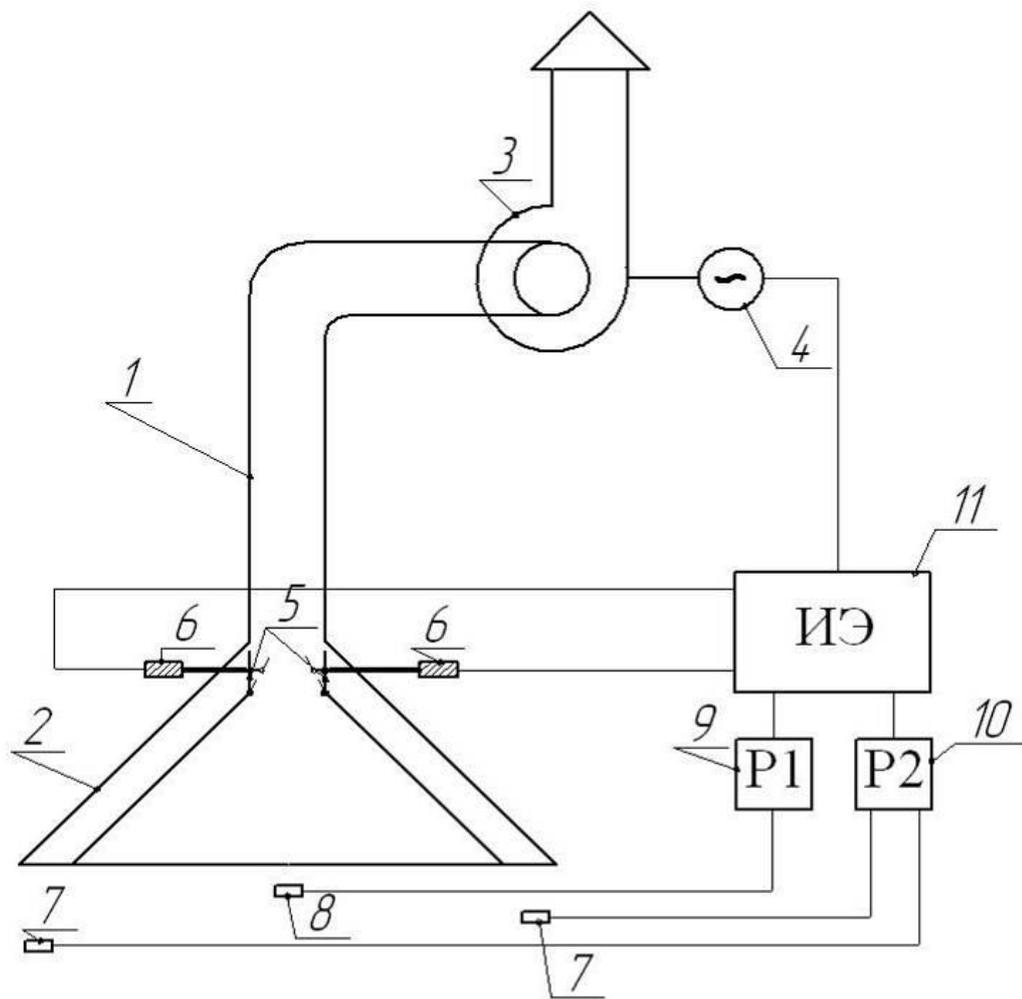
Таким образом, предложенная система вентиляции промышленного предприятия позволяет сократить длительность нахождения работающих во

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. 23) 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 воздуховода 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 концентрации 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. 23.** 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

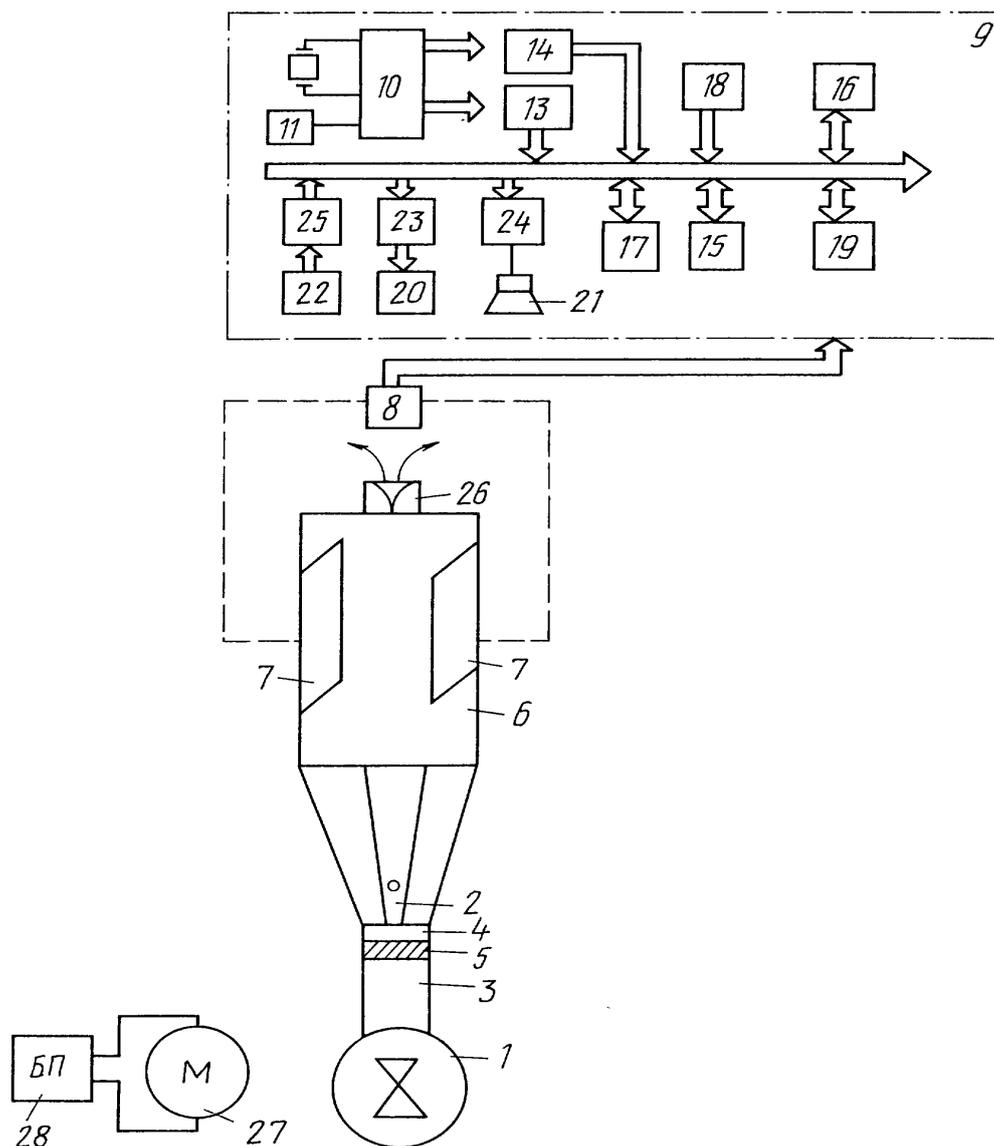
Таким образом, предложенная система вентиляции промышленного предприятия позволяет исключить распространение вредных веществ по всему объему помещения в случаях значительного повышения концентрации вредных веществ и упростить конструкцию системы вентиляции за счет установки внешнего вытяжного воздуховода 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 показали, 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.

На рис. 24 представлена схема устройства контроля запыленности воздуха [12].

Перед началом определения запыленности воздуха устройство необходимо настраивать (очищенный воздух с помощью фильтра 5 нагнетается в камеру 6 с чувствительными элементами 7 датчика диэлектрической проницаемости среды 8) для учета диэлектрической проницаемости воздуха при данных параметрах микроклимата помещения. После настройки устройства, которую необходимо делать через некоторые промежутки времени, можно проводить контроль запыленности воздуха.

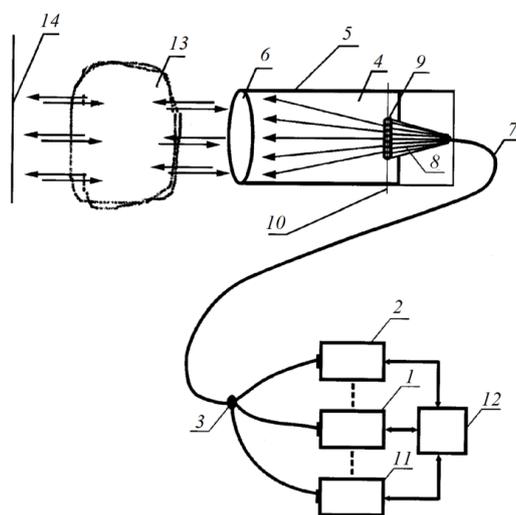
Недостатком данного устройства является отсутствие непрерывного контроля запыленности воздуха из-за необходимости постоянной калибровки устройства.



**Рис. 24.** Схема устройства контроля запыленности воздуха: 1 – воздуходувка, 2 – ротаметр, 3 – входной патрубок, 4 – двухсторонняя задвижка, 5 – фильтр, 6 – камера, 7 – чувствительный элемент, 8 – датчик диэлектрической проницаемости среды в виде пластин конденсатора, 9 – микропроцессорный блок контроля, 10 – микропроцессор, 11 – цепь начальной установки, 12 – системная магистраль, 13 – буфер, 14 – схема формирования управляющих сигналов, 15 – блок оперативной памяти, 16 – блок постоянной памяти, 17 – дешифратор устройств, 18 – программируемый таймер, 19 – порт ввода-вывода информации, 20 – индикатор, 21 – динамическая головка, 22 – клавиатура, 23 – контроллер индикации, 24 – контроллер звуковой сигнализации, 25 – и контроллер клавиатуры, 26 – редукционный клапан, 27 – электродвигатель, 28 – блок питания

Существует устройство оптического контроля производственной атмосферы (рис. 25), которое содержит источник излучения оптических импульсов 1, спектроанализатор 2, оптоволоконный разветвитель 3, выносной датчик 4, содержащий корпус 5 с расположенными в нем коллимирующим объективом 6 и пучком оптических волокон 8, соединенным с одной стороны с оптическим волокном 7, а с другой стороны образующим оптоволоконный коллектор 9, расположенный в фокальной плоскости коллимирующего объектива 6, а также временной дискриминатор 11. При этом источник выполнен в виде быстродействующих полупроводниковых лазеров.

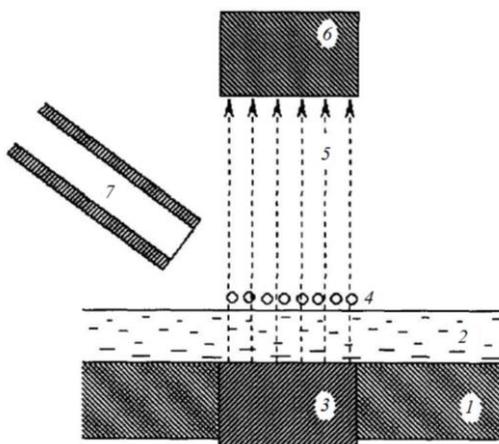
Обработка передаваемых и получаемых электрических сигналов осуществляется контроллером 12. Выносной датчик 4 размещен в исследуемом объеме производственной атмосферы 13, ограниченном стеной (препятствием) 14. Техническим результатом является обеспечение возможности оптического контроля атмосферы в объеме производственного помещения и повышение достоверности измерений при сохранении их точности.



**Рис. 25.** Оптическое устройство контроля производственной атмосферы:  
 1 – источник излучения оптических импульсов, 2 – спектроанализатор,  
 3 – оптоволоконный разветвитель, 4 – выносной датчик, 5 – корпус,  
 6 – коллимирующий объектив, 7 – оптическое волокно, 8 – пучок оптических  
 волокон, 9 – оптоволоконный коллектор, 10 – фокальная плоскость,  
 11 – временной дискриминатор, 12 – контроллер, 13 – производственная атмосфера,  
 14 – стена (препятствие)

Недостатком данной установки является низкая точность измерения концентрации пыли в воздухе из-за неравномерного движения воздуха в зоне работы устройства, присутствия элементов с малой отражающей способностью (стены производственных зданий), а также возможных помех со стороны рабочего персонала.

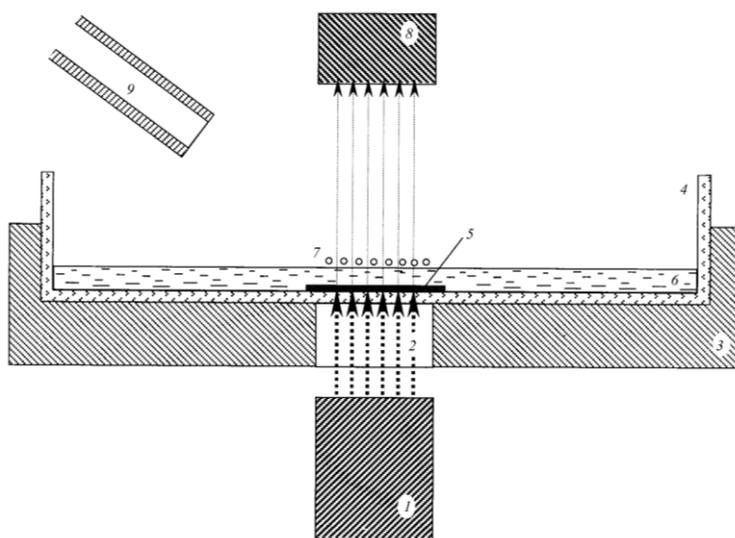
Также разработан способ контроля запыленности воздуха, в основе которого лежит явление «Капельный кластер», а его суть состоит в измерении скорости роста площади поверхности капельного кластера, который индуцируется светоизлучающим нагревательным элементом, встроенным в дно кюветы с открытым тонким слоем жидкости. Чем выше концентрация пылевых частиц в воздухе, тем быстрее увеличивается кластер и изменяется сигнал фотодатчика, что позволяет контролировать степень запыленности воздуха на основе предварительно полученной калибровочной зависимости (рис. 26).



**Рис. 26.** Способ контроля запыленности воздуха: 1 – кювета, 2 – тонкий слой жидкости, 3 – светоизлучающий нагревательный элемент, 4 – капельный кластер, 5 – световой поток, 6 – фотоприемник, 7 – воздуховод

На основе данного способа создан измеритель запыленности воздуха, принцип работы которого также основан на использовании капельного кластера, для зарождения которого создается слой жидкости в кювете (типа чашки Петри) из светопрозрачного материала, на дне которой сформирован окрашенный участок, поглощающий порядка 90 – 95 % мощности излучения применяе-

мого светового источника. Капельный кластер генерируется тепловым действием светового пучка, падающего извне кюветы перпендикулярно плоскости ее дна. Проникающие сквозь дно кюветы 5 – 10 % светового излучения используются для измерения скорости роста капельного кластера, по которой определяется степень запыленности воздуха. Техническим результатом является упрощение эксплуатации устройства за счет возможности использования сменных кювет (рис. 27).



**Рис. 27.** Измеритель запыленности воздуха: 1 – источник света, 2 – коллимированный световой пучок, 3 – основание, 4 – сменная кювета, 5 – участок поверхности дна, 6 – слой жидкости, 7 – капельный кластер, 8 – фотоприемник; 9 – трубка для подачи воздуха

Недостатком данного способа и измерителя является невозможность обеспечения непрерывности контроля концентрации пыли из-за постоянной периодичности замены кюветы с жидкостью, что снижает точность определения концентрации пыли.

Анализ устройств автоматизации систем пылезащиты показал, что их применение обеспечивает поддержание концентрации пыли в воздухе рабочей зоны в необходимом пределе, но при этом увеличивает трудоемкость обслуживания систем.

## **7. ИССЛЕДОВАНИЕ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА ВОЗДУХА ПРОИЗВОДСТВЕННОГО ПОМЕЩЕНИЯ**

Исследование химического состава воздуха производственных помещений [15] необходимо проводить в целях оценки условий труда на рабочем месте и эффективности проводимых мероприятий по улучшению санитарно-гигиенических параметров. На промышленных предприятиях в зависимости от специфики технологического процесса воздух загрязняется парами и аэрозолями, содержание которых может значительно превышать допустимые нормы. В этой связи необходимо проводить постоянный контроль химического состава воздуха, для чего рекомендуется брать не менее 3-х проб для одной точки замера.

### **7.1. Методы отбора проб воздуха для химического анализа**

В целях правильного отбора проб воздуха [15] необходимо знать агрегатное состояние вредного вещества, которое бывает в виде газов, паров и пыли. Пробы воздуха для анализа химического состава отбираются в зоне дыхания человека на высоте 1,5 м от пола. Способы отбора проб бывают динамические и одномоментные.

Динамические способы связаны с аспирационным методом и основаны на всасывании анализируемого воздуха через поглотительные среды, которые задерживают определенное вещество. В качестве поглотительных сред используются твердые сорбенты (активированный уголь и силикагель, полимерные сорбенты, различные фильтры и поглотительные растворы). Например, пары бензола, толуола, ксилола, сероуглерода хорошо задерживаются графитом, графитовой сажой, каолином. Полимерными сорбентами хорошо зарекомендовали порapak, полисорб, хромосорб и тенакс.

Для отбора проб воздуха на твердые сорбенты их обрабатывают кислотами, прокаливают при определенной температуре, затем поглощенные сорбентом вещества десорбируют термическим путем или экстрагируют соответствующим растворителем.

Использование аспирационных способов позволяет сконцентрировать определенное вещество на фильтре или в поглотителе в количестве, достаточном для анализа.

Пробы отбираются согласно требований Приложения 9 Руководства 2.2.7659-99 «Методика контроля содержания вредных веществ в воздухе рабочей зоны» [16], с учетом особенностей технологического процесса, температурного режима, наличия ручных операций, планировки и схемы воздухообмена. Определяют класс опасности и биологическую активность вредных веществ, физико-химические свойства (агрегатное состояние, плотность и давление пара, летучесть и т.д.).

Вещества в газообразном и парообразном состояниях поглощаются из воздуха в жидкие поглотительные среды и на твердые сорбенты, эффективность поглощения зависит от конструкции поглотительных приборов.

При определении концентрации высокодисперсных аэрозолей в виде туманов, дымов и пыли используют разнообразные фильтры, наиболее эффективным из которых является фильтр типа АФА (аналитические фильтры аэрозольные)

Аспирационными устройствами для этих целей являются электрические, водяные и эжекторные аспираторы.

Электрический аспиратор состоит из воздуходувки, создающей отрицательное давление, электродвигателя и четырех ротаметров. Скорость всасывания воздуха определяют по шкале, отградуированной в л/мин, два ротаметра отградуированы от (0-1) л/мин и служат для отбора проб воздуха с целью определения содержания в нем газов, а другие два – для отбора проб воздуха с целью определения содержания пыли и аэрозолей от (0-20) л/мин.

На передней панели аспиратора расположены колонка 1 - для присоединения к прибору шнура, тумблер 2 – для включения и выключения аппарата, ручка вентилей 3 – для регулирования скорости отбора проб, штуцера 4 – для присоединения резиновых трубок с аллонжами, реометры 5, предохранительный клапан 6 – для предотвращения перегрузки электродвигателя, гнездо предохранителя 7, клемма 8 – для заземления прибора, воздухозаборные элементы 9,10.

Аспиратор водяной состоит из двух сообщающихся стеклянных сосудов емкостью до (5-6) л. Бутыли градуируют и закрывают пробками с двумя трубками. При отборе пробы воздуха их располагают одну ниже другой. Верхний резервуар наполняют водой, а засасывание воздуха аспиратором через поглотители обеспечивается за счет заполнения воздухом освобождающейся от воды верхней бутылки в процессе перетекания из нее жидкости в нижнюю бутылку, тогда объем отобранного воздуха равен объему вытекшей из бутылки воды.

Эжекторные аспираторы АЭРА выполняются в виде переносного прибора, действие которого основано на засасывании требуемого объема воздуха через поглотительные приборы с помощью эжекторного устройства и связано с использованием сжатого воздуха.

Поглотительные приборы выполняются в виде стеклянных емкостей определенной конфигурации, среди которых можно отметить поглотительные приборы Зайцева, Полежаева, Рихтера. Для наилучшего эффекта в поглотительной среде обычно отбор пробы осуществляется через два или три последовательно соединенных приборов.

Одномоментные способы отбора используют в случае высокой концентрации вредных веществ в воздухе, кратковременности технологического процесса, высокой чувствительности метода и заключаются в заполнении воздухом различных емкостей (бутылки, газовые пипетки, газовые мешки, камеры и т.д.). Газовые пипетки служат для отбора проб объемом от 100 до 1000 мл, снабжены двумя хорошо притертыми двухходовыми кранами. Заполнение воздухом газовых пипеток можно проводить путем выливания из нее воды или нейтральной жидкости (насыщенный раствор хлорида натрия). После удаления жидкости краны пипетки закрывают, а ее заполнение проводят с помощью резиновой груши путем многократного продувания исследуемым воздухом.

## **7.2. Методы анализа проб воздуха**

Анализ проб воздуха производственного помещения [15] проводят сразу после отбора в поглотительные среды. При применении твердых сорбентов

анализируемое вещество переводится в раствор, в котором возможно проведение анализа.

Подобным образом поступают с пробами воздуха, отобранными в замкнутые емкости. Используют следующие способы:

- в сосуд с пробой вносят поглотительный раствор и путем тщательного перемешивания добиваются полного растворения в нем определяемого вещества;

- отобранную пробу воздуха вытесняют из сосуда с помощью аспиратора через поглотители с соответствующим поглотительным раствором., а затем проводят анализ.

Наибольшее распространение получили газовая и газожидкостная хроматографии, полярография, масс-спектрометрия, инфракрасная спектрометрия. Также нашли широкое применение колориметрические и нефелометрические методы анализа. Колориметрические методы основаны на изменении степени интенсивности окраски растворов, характерной для определяемого вещества. Нефелометрические методы основаны на изменении степени мутности раствора в результате соответствующей реакции, при которой образуется вещество, находящееся во взвешенном состоянии. Измерение интенсивности окраски и степени мутности в пробах проводят путем сравнения со стандартными растворами, т.е. растворами, содержащими известное количество определяемого вещества. Наибольшее распространение в лабораториях получил способ сравнения по ряду стандартов, согласно которого ряд пробирок бесцветного стекла заполняют различным количеством стандартного раствора. Объем жидкости в пробирках уравнивают с объемом пробы (объем доводят до 5 или 10 мл). При сравнении интенсивности окраски пробирки вынимают из штатива и рассматривают сверху через весь слой жидкости на белом фоне при боковом освещении, держа их на весу. Таким же образом сравнивают интенсивность помутнения, только в этом случае фон должен быть черным.

Использование электрофотокolorиметров позволяет значительно ускорить процесс анализа, для чего готовят серию стандартных растворов с определенным содержанием вещества в известном объеме. Измеряют оптические

плотности полученных растворов и строят калибровочный график. В качестве контрольного раствора используют поглотительный раствор, предварительно измерив его оптическую плотность по отношению к дистиллированной воде. Затем проводят колориметрические пробы, находят значение единиц экстинкции по содержанию вещества в пробе и рассчитывают концентрацию анализируемого вещества в воздухе по формуле:

$$X = \frac{a \cdot c \cdot 1000}{\hat{a} \cdot V_0}, \quad (4)$$

где  $a$  – количество вещества, обнаруживаемого в анализируемом объеме, мг;

$b$  – объем поглотительного раствора, взятого для анализа, мл;

$c$  – объем поглотительного раствора во всей пробе, мл;

$V_0$  – объем исследуемого воздуха, приведенный к нормальным условиям, л.

### **7.3. Фотоколориметрический метод определения загрязненности воздуха**

Для контроля концентрации загрязняющих веществ в различных объектах окружающей среды широко применяют фотоколориметрический метод. Имея высокую избирательность, данный метод позволяет определять более 50 различных элементов, а высокая чувствительность дает возможность контролировать содержание загрязняющих веществ, имеющих низкие ПДК, что характерно для соединений тяжелых металлов, являющихся чрезвычайно опасными. Метод фотоколориметрии используют для прозрачных, окрашенных, чаще водных растворов, содержащих определяемое загрязняющее вещество. Поэтому для установления концентрации веществ, находящихся в воздухе или почве, необходимо их извлечение и перевод в раствор, что осуществляется специальными приемами [17].

Метод фотоколориметрии является одним из методов абсорбционной спектроскопии, основанной на поглощении энергии электромагнитного излучения. В зависимости от того, какой энергии достаточно для перехода электронов отдельных атомов в возбужденное состояние, различают

спектроскопию в видимой (фотометрия), ультрафиолетовой (спектрофотометрия) и инфракрасной (ИК-спектроскопия) областях электромагнитного излучения. При поглощении элементом энергии видимой области вещество приобретает определенную окраску. В основе всех перечисленных методов лежит закон светопоглощения Бугера-Ламберта-Бера, согласно которому количество электромагнитного излучения, поглощенное раствором, прямо пропорционально концентрации поглощающих частиц и толщине слоя [17 – 20].

Математическое выражение закона:

$$I_t = I_0 \cdot 10^{-\varepsilon \cdot c \cdot l}, \quad (5)$$

где  $I_t$  – интенсивность светового потока, прошедшего через раствор;

$I_0$  – интенсивность падающего светового потока;

$\varepsilon$  – молярный коэффициент поглощения отражает способность вещества поглощать энергию;

$c$  – концентрация вещества в растворе;

$l$  – толщина слоя раствора (кюветы).

Практически можно измерить только изменение интенсивности светового потока, поэтому аналитическим сигналом является поглощение или оптическая плотность, равные логарифму отношения интенсивности падающего и прошедшего светового потока:

$$A = \lg \frac{I_0}{I_t} = \varepsilon \cdot l \cdot c. \quad (6)$$

При проведении анализа в одинаковых условиях произведение  $\varepsilon \cdot l$  является постоянной величиной, и уравнение упрощается:

$$A = k \cdot c. \quad (7)$$

Графически это выражение представляет прямую линию, исходящую из

начала координат, т.е. прямо пропорциональную зависимость поглощения ( $A$ ) от концентрации вещества ( $c$ ), что является обязательным условием количественного анализа.

Закон светопоглощения справедлив для излучения с определенной длиной волны (монохроматического). Необходимость выполнения этого условия связана с тем, что при пропускании через анализируемый раствор светового потока, состоящего из нескольких лучей с различной длиной волны (энергией), возбуждаться одновременно могут электроны разных элементов. Для возбуждения электронов только одного элемента требуется выделить монохроматический поток. С этой целью в приборах – фотоэлектроколориметрах - используют светофильтры, пропускающие излучение ограниченного интервала длин волн (20 - 40 нм). Характеристики светофильтров представлены в табл. 4.

Таблица 4

Спектральная характеристика светофильтров

Маркировка светофильтра	Длина волны, соответствующая максимуму пропускания, нм	Ширина полосы пропускания, нм	Область спектра электромагнитного излучения
1	315	35	УФ
2	364	25	УФ
3	400	45	В
4	440	40	В
5	490	35	В
6	540	25	В
7	590	25	В
8	670	20	В
9	750	20	В
10	870	25	ИК
11	980	25	ИК

*Примечание:* УФ – ультрафиолетовая; В – видимая; ИК – инфракрасная.

Для определения концентрации вещества используют различные приемы, в том числе метод градуировочного графика и метод добавок.

В методе градуировочного графика измеряют поглощение серии стандартных растворов и по результатам строят градуировочную зависимость  $A=f(c)$ , (рис. 28).

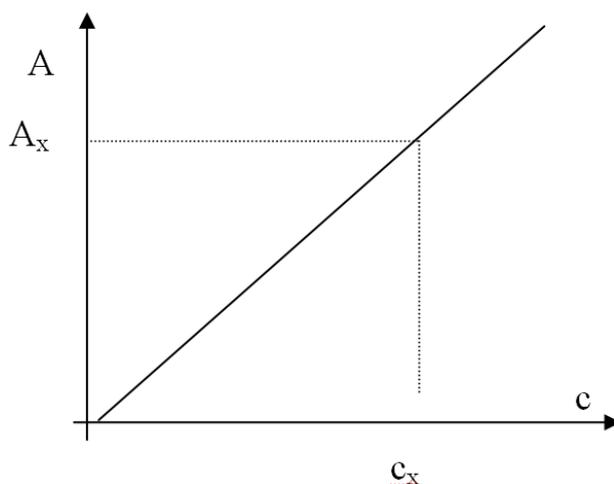


Рис. 28. Градуировочный график

Затем в этих же условиях измеряют поглощение раствора с неизвестной концентрацией ( $A_x$ ) и по графику, как показано на рисунке 1, находят значение этой концентрации ( $c_x$ ).

В методе добавок измеряют поглощение анализируемого раствора ( $A_x$ ). Затем в этих же условиях измеряют поглощение анализируемого раствора с введенным в него известным содержанием ( $c_{cm}$ ) стандартного раствора ( $A_{x+cm}$ ).

Рассчитывают концентрацию интересующего компонента ( $c_x$ ) по формуле:

$$c_x = \frac{c_{cm} \cdot A_x}{A_{x+cm} - A_x} \quad (8)$$

## 7.4. Определение концентраций вредных веществ в воздухе производственных помещений

### 7.4.1. Экспресс методы определения концентрации вредных веществ в воздухе производственных помещений

Для быстрого определения концентрации вредного вещества существуют

экспресс методы [13], которые просты, но по точности уступают обычным методам. Для этих целей используются портативные газоанализаторы УГ-2, универсальные газоанализаторы «Ганк-4», «Анкат-7664», «Элан», портативные газовый хроматограф ФГХ-1, которые идентифицируют и количественно определяют до 200 и более химических веществ (ацетилен, аммиак, ацетон, оксиды серы, азота и углерода, сероводорода и др.). Принцип этих приборов основан на изменении окраски индикаторного вещества, находящегося в индикаторной трубке, после просасывания через нее загрязненного воздуха. По длине окрашенного столбика определяют концентрацию анализируемого вещества. Газоанализатор УГ-2 состоит из воздухозаборного устройства, штока, измерительных шкал, индикаторных трубок, сильфона в виде резинового мешка, снабженного пружиной, удерживающей его в растянутом состоянии.

При помощи штока происходит сжатие сильфона, при подсоединении индикаторной трубки отпускают шток и происходит протягивание воздуха через индикаторную трубку и окрашивание индикатора. При помощи этого прибора можно определить концентрацию 10 химических веществ.

#### **7.4.2. Автоматические методы определения концентрации вредных веществ в воздухе производственных помещений**

При анализе веществ 1 и 2 класса опасности (ПДК не менее 0,1 и от 0,1 до 1 мг/м<sup>3</sup>) используются [15] приборы автоматического контроля воздушной среды, например, «Сирена», «Сирена -2», «Гамма», Колион и др., которые нашли большое применение в настоящее время.

## ЧАСТЬ 2 ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ РЕЗУЛЬТАТЫ

### 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 исследовательской работы допускаются лица, прошедшие первичный инструктаж и ознакомленные с правилами техники безопасности при работе на экспериментальной установке.

Исследовательская 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.

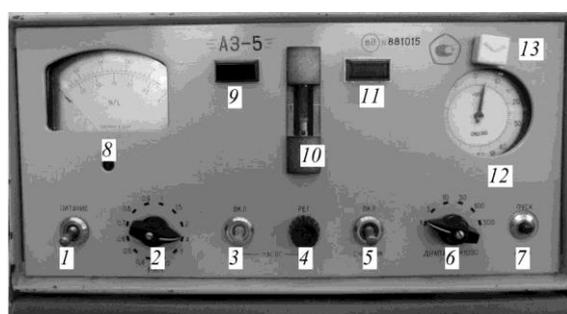
После завершения работ установка выключается и приводится в исходное состояние.

#### **1.4. Описание используемого оборудования**

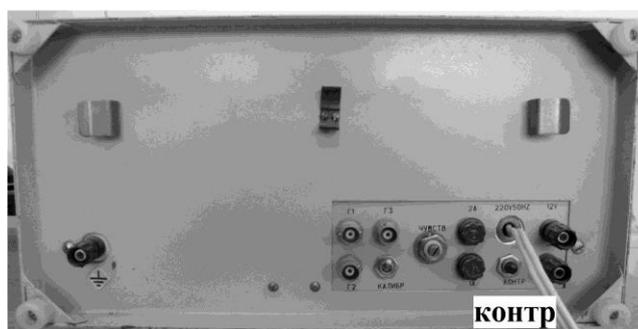
В настоящее время для определения дисперсности пыли используют фотоэлектрический счетчик аэрозольных частиц (АЗ-5). С его помощью можно определить количество пылинок в объеме воздуха и степень дисперсности пы-

ли (рис. 29 и 30).

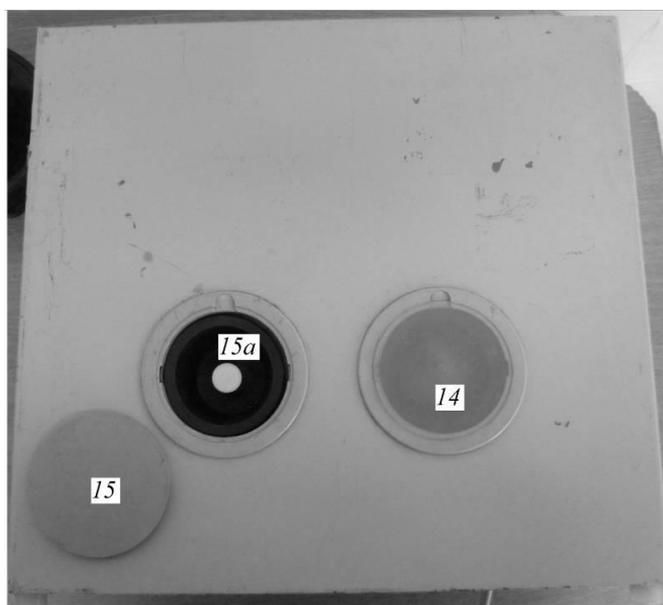
Работа прибора основана на принципе рассеяния света отдельными аэрозольными частицами. Благодаря количественной связи между размером частиц и интенсивностью рассеянного света проводится анализ частиц по размерам. Прибор состоит из следующих основных узлов: аспирационного устройства, оптического датчика 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.



*а*

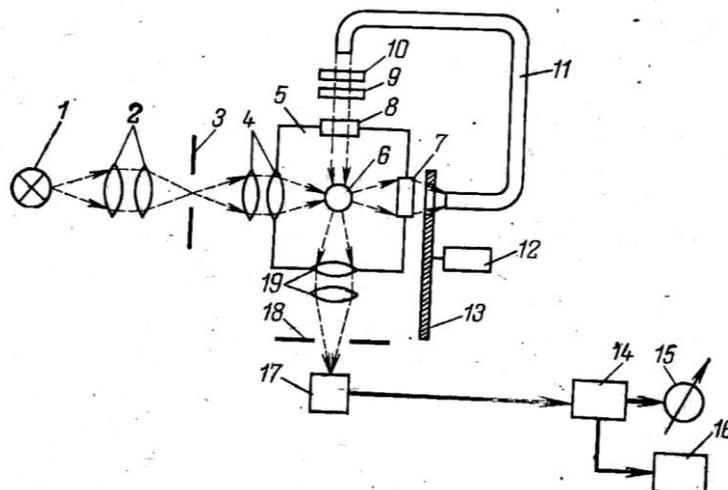


*б*



*в*

**Рис. 29.** Общий вид счетчика аэрозольных частиц АЗ-5: *а* – лицевая панель; *б* – задняя панель; *в* – вид сверху



**Рис. 30.** Функциональная схема счетчика АЗ-5: 1 – источник света; 2, 4, 19 – объективы; 3, 18 – диафрагмы; 5 – измерительная камера; 6 – сопло; 7, 8 – окна; 9 – рассеиватель; 10 – поглотитель света; 11 – светодиод; 17 – фотоумножитель

### 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 колпачок 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:

$$0,8 \cdot 300 \cdot 1000 / 3 = 80\ 000.$$

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:

$$0,6 \cdot 300 \cdot 1000 / 3 = 60\ 000.$$

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

$$80\ 000 - 60\ 000 = 20\ 000.$$

*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:

$$0,5 \cdot 300 \cdot 1000 / 3 = 50\ 000.$$

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:

$$50\ 000 - 40\ 000 = 10\ 000.$$

### **1.6. 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 ча-

стиц 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. 5.

8. По результатам испытаний выбрать необходимые средства (Прил. 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 5

## Результаты эксперимента

Размер частиц равный и более, мкм	Диапа- зон	Диапазон переключе- ния	Показания шкалы	Концентрация по показаниям шкалы, частиц/л	Концентрация частиц, ча- стиц/л	Концентра- ция, ча- стиц/м <sup>3</sup>	Доля частиц, %
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>							

## РАБОТА № 2

### «ОПРЕДЕЛЕНИЕ КЛАССА ЧИСТОТЫ ПРОИЗВОДСТВЕННОГО ПОМЕЩЕНИЯ»

#### 1.1. Цель работы

Изучить методику определения класса чистоты производственного помещения.

#### 1.2. Приборы и оборудование

Фотоэлектрический счетчик аэрозольных частиц АЗ-5.

#### 1.3. Меры безопасности

Смотри п.1.3 в лабораторной работе № 1

#### 1.4. Принцип работы фотоэлектрического счетчика аэрозольных частиц АЗ-5.

Смотри п.1.4 в исследовательской работе № 1

#### 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 те-

чение 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 колпачок 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 поплавков 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.

При установлении количества частиц размером 0,5 – 1,0 мкм необходимо снять показания (третье измерение) со шкалы 8 при установке тумблера 2 на 1,0 мкм и учитывая диапазон измерения 6. После из результата второго измерения вычесть результат третьего измерения.

5. Сделать выводы о классе чистоты помещения.

Протокол испытаний должен включать:

- а) схему планировки испытуемого помещения или зоны (с информацией о соседних зонах, при необходимости) и координаты всех точек отбора проб;
- б) данные о назначении помещения или зоны с указанием классов чистоты, соответствующее состояние помещений и заданные размеры частиц;
- в) результаты испытаний, включая данные по концентрации частиц для всех точек отбора проб (табл. 6).

По результатам испытаний сделать вывод о соответствии помещения (зоны) тому или иному классу чистоты согласно ГОСТ Р ИСО 14644-1-2002.

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

Таблица 6

## Результаты эксперимента

Размер частиц равный и более, мкм	Диапа- зон	Диапазон переключе- ния	Показания шкалы	Концентрация по показаниям шкалы, частиц/л	Концентрация частиц, ча- стиц/л	Концентра- ция, ча- стиц/м <sup>3</sup>	Доля частиц, %
Помещение 1							
0,4							
0,5							
1,0							
5,0							
Помещение 2							
0,4							
0,5							
1,0							
5,0							
Помещение 3							
0,4							
0,5							
1,0							
5,0							
<p><i>Примечание.</i> В столбец «Диапазон» ставится значение тумблера <i>b</i>, 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>							

## **1.6. Контрольные вопросы.**

1. Чистые помещения. Классы чистоты помещения.
2. Классификация частиц.
3. Методика определения класса чистоты помещения.
4. Оптические методы контроля концентрации частиц в воздухе.
5. Принцип работы фотоэлектрического счетчика аэрозольных частиц АЗ-5.

## РАБОТА № 3

### «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.

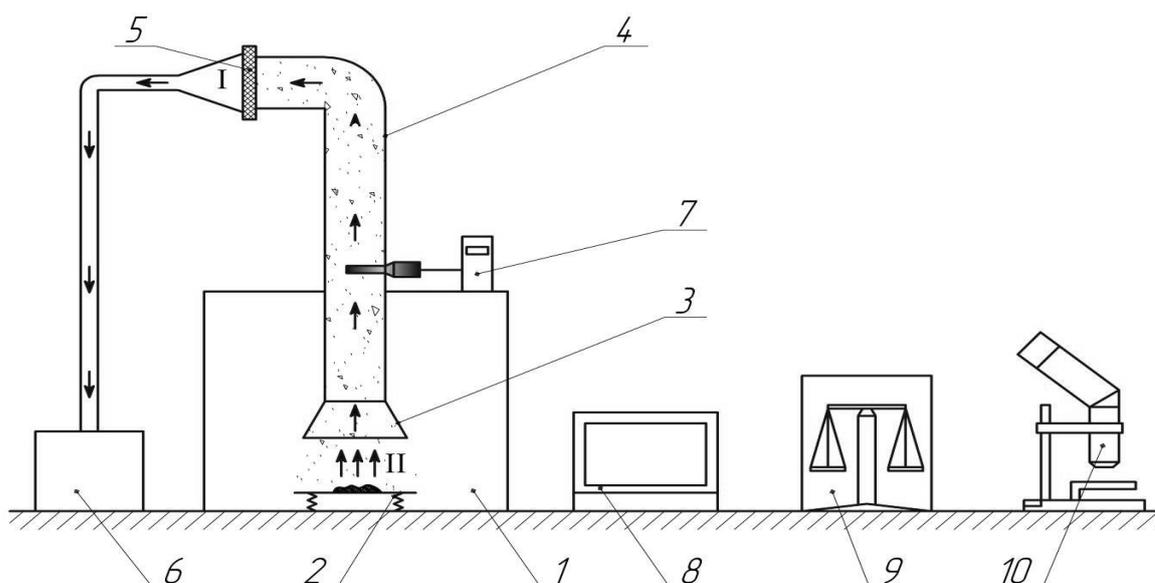
**2.2. Приборы и оборудование:** лабораторная пылевая камера, аналитические фильтры АФА-10-ВП, аналитические весы, метеометр, микроскоп, ПЭВМ, цифровая фотоаппаратура.

#### **2.3. Меры безопасности**

Смотри п.1.3 к исследовательской работе № 1.

#### **2.4. Описание используемого оборудования**

Лабораторная пылевая камера (рис. 31) 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. 31.** Схема лабораторной пылевой камеры: I – чистый воздух, II – запыленный воздух; 1 – пылевая камера, 2 – вибрационный столик, 3 – вытяжное устройство, 4 – основной воздуховод, 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. 7:

$$C = 1000 \cdot (m_1 - m_0) \frac{T_1 \cdot P_0}{L \cdot T_0 \cdot P_1 \cdot t}, \text{ мг/м}^3, \quad (9)$$

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, м<sup>3</sup>/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. 8.

- 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 отнести к той или иной фракции и их количество записать в табл. 8.

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

$$\eta_i = n_i / \sum n_i, \quad (10)$$

где  $\eta_i$  – процентное содержание частиц пыли  $i$ -ой фракции по количеству, %;

$n_i$  – количество частиц пыли  $i$ -й фракции;

$\sum n_i$  – общее количество частиц.

Таблица 7

## 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 <sup>3</sup>

Таблица 8

## 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, %									

- установить распределение частиц по массе и занести значения в табл. 8, для чего принимаем форму частиц в виде шара, диаметр которого равен наибольшему размеру частицы. Расчет процентного содержания частиц пыли по массе проводят по формуле:

$$\Delta_i = \frac{(d_{i+1} + d_i)^3 \cdot n_i}{\sum (d_{i+1} + d_i)^3 \cdot n_i} \cdot 100\% , \quad (11)$$

где  $\Delta_i$  – 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. 7 и 8;
- 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** 82

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?

## РАБОТА № 4

### «ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДИСПЕРСНОГО СОСТАВА ПЫЛИ В ВОЗДУХЕ РАБОЧЕЙ ЗОНЫ МЕТОДОМ МИКРОСКОПИРОВАНИЯ»

#### 2.1. Цель работы

Определить дисперсный состав пыли методом микрофотографирования.

#### 2.2. Приборы и оборудование

Лабораторная пылевая камера, аналитические фильтры АФА-10-ВП, аналитические весы, метеометр, микроскоп, ПЭВМ, цифровая фотоаппаратура.

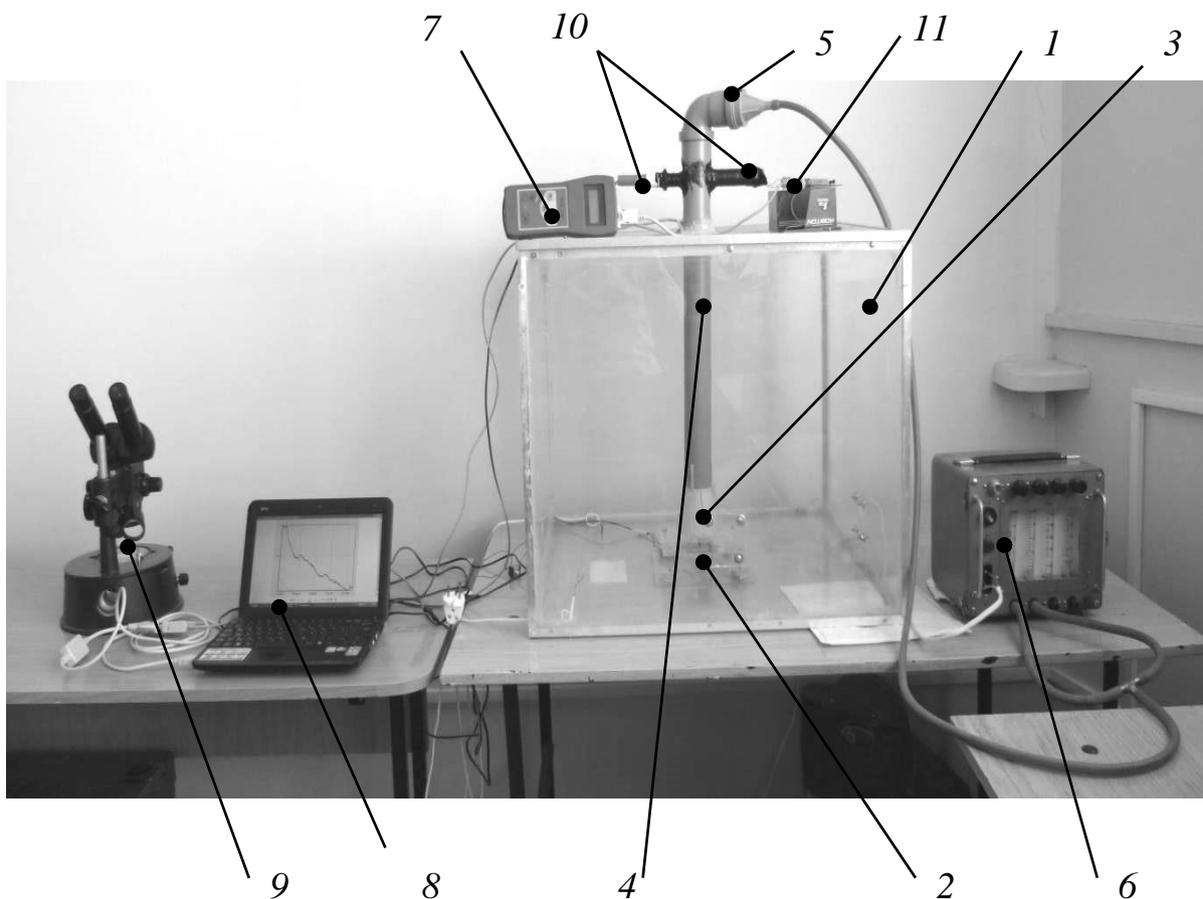
#### 2.3. Меры безопасности

Смотри п.1.3 в исследовательской работе № 1

#### 2.4. Описание используемого оборудования

На рис. 32 представлена лабораторная пылевая камера.

Экспериментальная установка 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 подсоединены метеометр 7 и оптический датчик концентрации пыли 10, который посредством вторичного преобразователя 11 соединен с ПЭВМ 8. Микрофотографирование пыли осуществляется с помощью микроскопа 9 с цифровым фотоаппаратом.



**Рис. 32.** Лабораторная пылевая камера: 1 – пылевая камера, 2 – вибрационный стол, 3 – вытяжное устройство, 4 – основной воздуховод, 5 – аллонж, 6 – аспиратор, 7 – метеометр, 8 – ПЭВМ, 9 – микроскоп с цифровым фотоаппаратом, 10 – оптический датчик концентрации пыли, 11 – вторичный преобразователь

## 2.5. Порядок выполнения работы

Действия выполняются в следующей последовательности:

1. Изучить основные методы дисперсного анализа пыли.
2. Изучить методику определения концентрации пыли в воздухе.
3. Изучить методику определения дисперсного состава пыли методом микроскопирования.
4. Определить концентрацию пыли в 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 aspirator и через 30 сек включить вибрационный столик для генерации пыли в пылевой камере;

– через 5 мин после работы aspiratora отключить его, вынуть фильтр и снова взвесить его на аналитических весах. Рассчитать концентрацию пыли  $C$  по формуле (9) и результаты занести в табл. 9:

5. Определить дисперсный состав пыли по количеству и по массе. Для этого необходимо выполнить следующее:

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

– сделать микрофотографию образца одной ячейки ( $1 \times 1$  мм), и произвести подсчет частиц по фракциям на ПЭВМ с помощью графического редактора.

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. 10.

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

$$\eta_i = 100\% \cdot \frac{n_i}{\sum n_i} \quad (12)$$

где  $\eta_i$  – процентное содержание частиц пыли  $i$ -ой фракции по количеству, %;

$n_i$  – количество частиц пыли  $i$ -й фракции;

$\sum n_i$  – общее количество частиц.

Для определения распределения частиц по массе принимаем форму частиц в виде шара, диаметр которого равен наибольшему размеру частицы [5]. Расчет процентного содержания частиц пыли по массе проводят по формуле (13):

$$\Delta_i = 100\% \cdot \frac{\rho \cdot (d_{i+1} + d_i)^3 \cdot n_i}{\sum \rho \cdot (d_{i+1} + d_i)^3 \cdot n_i}, \quad (13)$$

где  $\Delta_i$  – процентное содержание частиц пыли по массе  $i$ -й фракции, %;

$\rho$  – плотность частиц, мкг/мкм<sup>3</sup>;

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

$d_i$  – размер частиц  $i$ -й фракцией, мкм;

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

6. Определить группу дисперсности пыли. Для этого на номограмму (прил. А) 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. По группе дисперсности пыли в соответствии с ГОСТ 12.2.043-80 производится выбор воздухоочистительного оборудования (Прил. Б – В)

7. В отчет необходимо включить:

– схему лабораторной установки, а также краткое ее описание;

– заполненные по результатам экспериментальных исследований и расчетов табл. 9 и 10;

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

Таблица 9

## 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 <sup>3</sup>

Таблица 10

## 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, %									

- результаты определения группы дисперсности согласно прил. А;
  - выбранные средства очистки воздуха согласно прил. Б и В.
8. Сделать выводы по результатам выполненной работы.
  9. Оформить отчет по лабораторной работе в соответствии с прил. Д.

## **2.6. Контрольные вопросы**

1. Влияние размера частиц пыли на организм работающих.
2. Методы дисперсного анализа пыли.
3. Микроскопический метод анализа пыли.
4. Лабораторная установка по определению пылевого состава воздуха.
5. Определение количественного распределения частиц по размеру.
6. Определение распределения частиц по массе.
7. Использование результатов дисперсного анализа пыли при выборе воздухоочистительного оборудования.

## РАБОТА № 5

### «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 исследовательской работе № 1

#### **3.4. Описание используемого оборудования.**

Смотри п. 4.4 в лабораторной работе № 4.

#### **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 пищевая концентрат 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);

Таблица 11

## 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 <sup>3</sup>
Первый образец							
1				40			
2				35			
3				30			
Второй образец							
4				40			
5				35			
6				30			

Таблица 12

## Результаты расчетов

№	Концентрация, мг/м <sup>3</sup>	ПДК, мг/ м <sup>3</sup>	Эффективность К <sub>эф</sub> , (формула 2)
Первый образец			
1			
2			
3			
Второй образец			
4			
5			
6			

г) внести одну навеску одного из образцов в пылевую камеру на вибростолик, 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;

– через 1 мин после включения аспиратора включить вибростолик 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 (9)

5. Определить эффективность пылеудаления используя формулу (2).

6. Внести результаты замеров и расчетов в таблицы 11, 12.

7. Построить графические зависимости эффективности пылеудаления от расхода воздуха.

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

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

### **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?

## РАБОТА № 6

### «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.

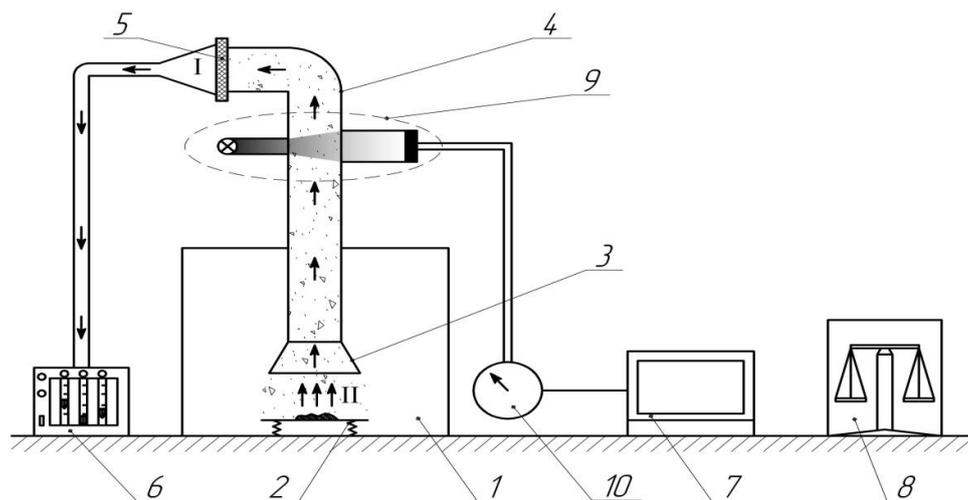
**4.2. Приборы и оборудование.** Лабораторная пылевая камера с оптическими датчиками контроля, технические весы, хронометр.

#### 4.3. Меры безопасности.

Смотри п.1.3 в исследовательской работе № 1

#### 4.4. Описание лабораторной установки.

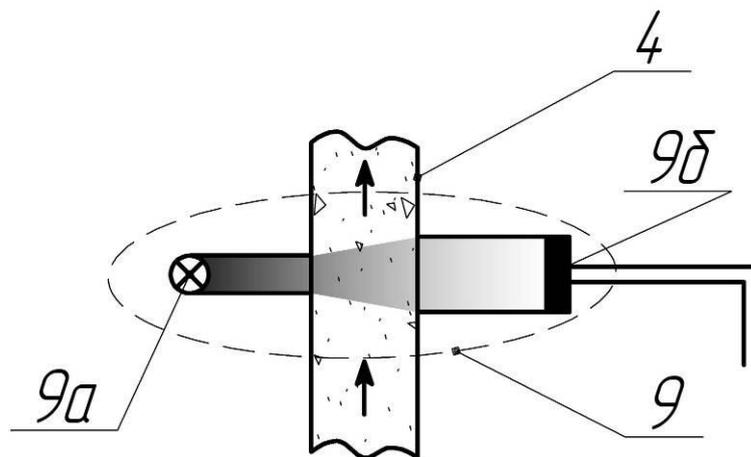
Лабораторная установка (рис. 33) для определения запыленности воздуха



**Рис. 33.** Схема лабораторной установки: I – чистый воздух, II – запыленный воздух; 1 – пылевая камера, 2 – вибрационный столик, 3 – вытяжное устройство, 4 – основной воздухопровод, 5 – аллонж с аналитическим фильтром, 6 – аспиратор, 7 – ПЭВМ, 8 – аналитические весы, 9 – оптический датчик концентрации пыли, 10 – вторичный преобразователь

оптическими методами состоит из пылевой камеры 1, 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. 34 представлен узел оптического датчика, в основу которого положен абсорбционный метод. Датчик включает в себя излучатель 9а и приемник 9б.



**Рис. 34.** 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  $\lambda$  (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 ха-

рактик при нулевой концентрации пыли ( $C_{\text{y0}}=0$  мг/м<sup>3</sup>).

8. Снять показаний оптического датчика  $U_{3_1}$  в условиях запыленности воздуха (концентрация пыли в удаляемом воздухе  $C_{\text{y01}}$ ) 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  $T_{1_1}$  и атмосферное давление  $P_{1_1}$  с целью приведения результатов к нормальным условиям.

9. После отключения aspiratora в течение 1 мин записать показания оптического датчика  $U_{0_2}$ , регистрируя показания чистого воздуха (нулевая концентрация) для учета запыления поверхности оптического датчика.

10. В течение 1 мин заменить подготовленный аналитический фильтр.

11. Снять показания  $U_{0_3}$  оптического датчика для установления его характеристик при нулевой концентрации пыли ( $C_{\text{y0}}=0$  мг/м<sup>3</sup>).

12. Снятие показаний оптического датчика ( $U_{3_2}$ ) в условиях запыленности воздуха (концентрация пыли в удаляемом воздухе  $C_{\text{y02}}$ ) 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  $T_{1_2}$  и атмосферное давление  $P_{1_2}$ .

13. После отключения aspiratora в течение 1 мин записать показания оптического датчика  $U_{0_4}$ , регистрируя показания чистого воздуха (нулевая кон-

центрация) 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 ( $C_{\text{пы}}=0$  мг/м<sup>3</sup>).

16. Снять показания оптического датчика  $U_{3_3}$  в условиях запыленности воздуха (концентрация пыли в удаляемом воздухе  $C_{\text{пы3}}$ ) в основном воздуховоде:

- включить аспиратор;
- через 35 сек после включения аспиратора – включить вибростол;
- через 3 мин 35 сек после включения аспиратора – отключить вибростол;
- через 5 мин после включения – отключить аспиратор.

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

17. После отключения аспиратора 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 (9).

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

$$D_1 = \lg \frac{U_{0_1} + U_{0_2} + U_{0_3}}{3 \cdot U_{3_1}}, \quad (14)$$

$$D_2 = \lg \frac{U_{0_2} + U_{0_3} + U_{0_4} + U_{0_5}}{4 \cdot U_{3_2}}, \quad (15)$$

$$D_3 = \lg \frac{U_{0_4} + U_{0_5} + U_{0_6}}{3 \cdot U_{3_3}}, \quad (16)$$

где  $D_1, D_2, D_3$  – оптические плотности запыленного воздуха при концентрациях  $C_{\text{зп}1}, C_{\text{зп}2}$  и  $C_{\text{зп}3}$ , 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 13

Результаты экспериментальных значений

№	Средняя интенсивность светового потока при нулевой концентрации $\sum U_{0_i}$	Средняя интенсивность светового потока в условиях работы с пылью $U_{з_i}$	Оптическая плотность $D_i$	Концентрация пыли по весовому методу, мг/м <sup>3</sup>
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?

## РАБОТА № 7

### «ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ УДАЛЕНИЯ ГАЗОВ»

**7.1. Цель работы:** определение содержания вредных газов в воздухе с помощью газоанализатора, изучение работы вытяжной вентиляции.

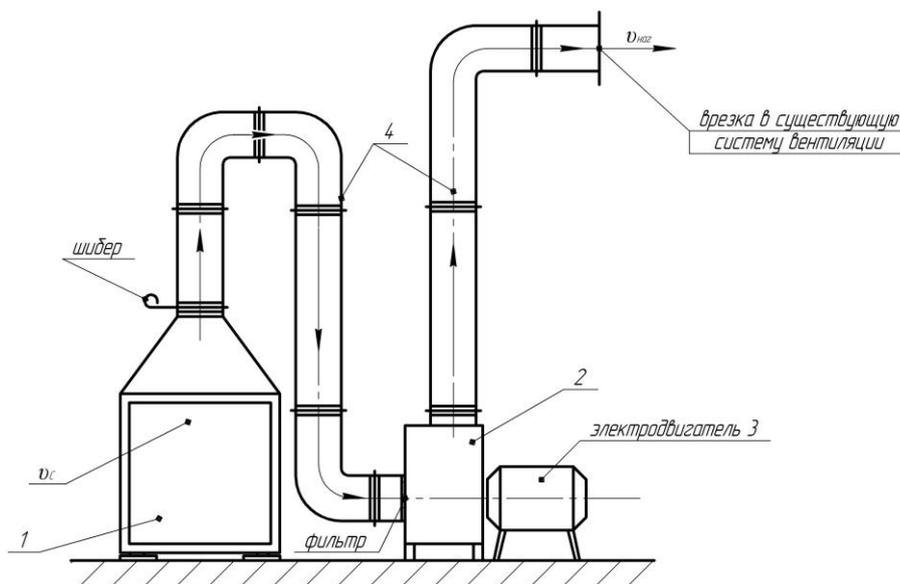
**7.2. Приборы и оборудование:** лабораторная вентиляционная установка, источник парогазовывделений, латр, газоанализатор Колион 1В-25, хронометр.

#### 7.3. Меры безопасности.

Смотри п.1.3 в исследовательской работе № 1

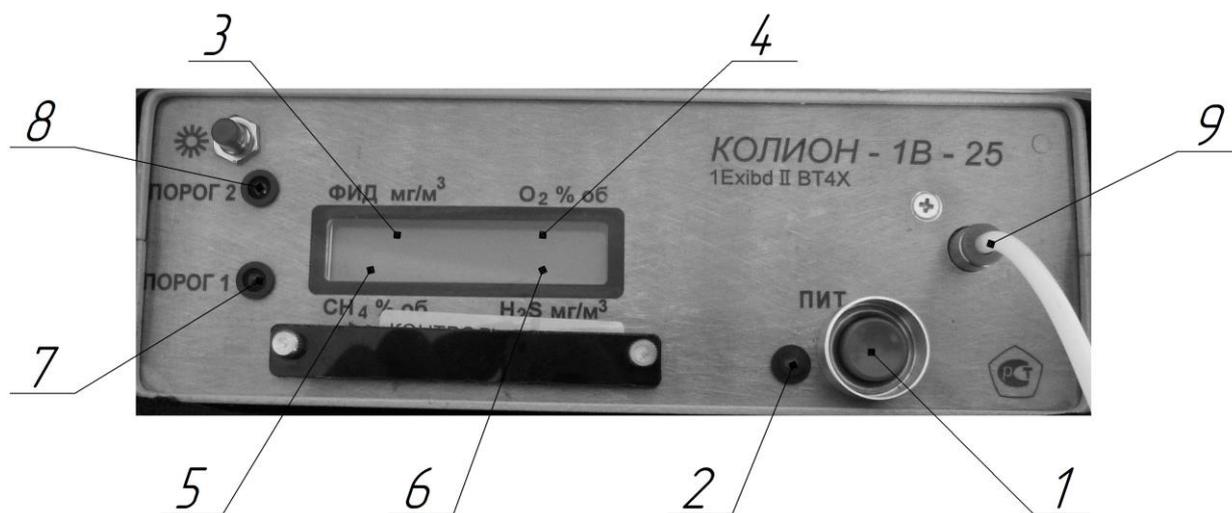
#### 7.4. Описание лабораторного оборудования

На рисунке 30 приведена схема лабораторной установки для проведения исследования эффективности удаления газов.



**Рис. 35.** Схема лабораторной вентиляционной установки: 1 – местный вытяжной шкаф; 2 – вентилятор; 3 – электродвигатель; 4 – воздуховоды во всасывающем и нагнетательном потоках.

На рис. 31 представлен внешний вид прибора КОЛИОН 1В-25.



**Рис. 36.** Панель управления прибором КОЛИОН-1В-25: 1 – кнопка включения; 2 – индикатор включения и функционирования прибора; 3 – индикация концентрации паров горючих веществ; 4 – индикация содержания кислорода; 5 – индикация содержания метана; 6 – индикация концентрации сероводорода; 7 – индикатор превышения первых пороговых значений; 8 – индикатор превышения вторых пороговых значений; 9 – трубка для воздухозаборного зонда

Газоанализаторы КОЛИОН предназначены для измерения концентрации вредных и взрывоопасных компонентов (веществ), а также кислорода в воздухе рабочей зоны, при аварийных ситуациях, поиске утечек в технологическом оборудовании, сосудах и трубопроводах. По согласованию с предприятием-изготовителем газоанализаторы могут применяться для измерений в атмосферном воздухе и выбросах, а также в других газовых средах.

Газоанализаторы представляют собой автоматические, переносные приборы непрерывного действия моноблочного исполнения.

Выпускаются двух-, трех- и четырехдетекторные модели газоанализаторов.

Фотоионизационный детектор (ФИД) предназначен для измерения массовой концентрации органических и неорганических веществ с энергией ионизации ниже 10,64 эВ.

Термокаталитический детектор (ТКД) предназначен для измерения объ-

емной доли горючих и взрывоопасных веществ.

Электрохимический детектор (ЭХД) предназначены (в зависимости от типа) для селективного измерения массовой концентрации оксида углерода, сероводорода и объемной доли кислорода.

В табл. 14 представлены измерительные характеристики газоанализатора КОЛИОН-1В-25

Таблица 14

Характеристики газоанализатора КОЛИОН-1В-25

Детектор	Определяемые вещества	Предел измерения	Погрешность
ФИД	Газы и пары с энергией ионизации $E < 10,64$ эВ	0 - 2000	$\pm 20\%$ приведенная $\gamma_0$ от 0 до 50 мг/м <sup>3</sup> $\pm 20\%$ относительная Дв от 50 до 2000 мг/м <sup>3</sup> *
ТКД	Метан и другие горючие и взрывоопасные вещества	0 - 2,2%об (0 - 50% НКПР)	$\pm 10\%$ приведенная $\gamma_0$
ЭХД	Кислород	0 - 30%об.	$\pm 3,5\%$ приведенная $\gamma_0$
ЭХД	Сероводород	0-30	$\pm 20\%$ приведенная $\gamma_0$ от 0 до 3 мг/м <sup>3</sup> $\pm 20\%$ относительная $\Delta$ от 3 до 30 мг/м <sup>3</sup>

При работе с прибором необходимо учитывать следующее:

- время прогрева после включения - не более 10 мин;
- время, необходимое для установления показаний на уровне 90% измеряемой концентрации при непрерывной подаче пробы при длине пробоотборной трубки 1 м - не более 5 с для ФИД и не более 90 с для ТКД и ЭХД;
- газоанализаторы имеют звуковую и световую сигнализацию, срабатывающую при превышении измеряемой концентрацией любого из двух заданных порогов (для кислорода - при выходе измеряемой концентрации за заданные пороги: Порог 1 - верхний, Порог 2 - нижний);
- звуковая сигнализации для Порога 1 - прерывистая, звуковая сигнализация для Порога 2 - непрерывная. Световая сигнализация для Порога 1 - мигаю-

шая, для Порога 2 – непрерывная;

- уровень звукового сигнала - не менее 85 дБ;

- расход, создаваемый микронасосом газоанализатора - от 0,1 до 0,7 л/мин;

- отбор анализируемого воздуха осуществляется с помощью пробоотборника, соединенного с БИ фторопластовой трубкой. Стандартная длина трубки - 1 м. По отдельному заказу поставляется удлинитель длиной до 10 м.

## **7.6. Порядок выполнения работы**

1. Подготовить газоанализатор к работе, распаковав газоанализатор, провести внешний осмотр, проверить комплектность газоанализатора. Открыть клапан на дне сумки-укладки. (Эксплуатация газоанализатора с закрытым клапаном запрещается!)

2. Включить газоанализатор. После прогрева поднести пробоотборную трубку к месту измерения и зафиксировать показываемое индикатором значения концентрации измеряемых веществ.

3. Провести замер паров вредных веществ (используется индикация 3 ФИД) в начале.

4. Включив нагрев источника, довести до температуры 55 °С. замерить концентрацию вредных веществ.

5. Включить вентиляцию и произвести замеры концентрации вредных веществ через 10, 20 и 30 мин.

6. Заполнить таблицу 15 и построить график зависимости концентрации от времени работы вентиляции.

7. Сделать выводы.

Таблица 15

## Результаты исследования эффективности удаления газа

№ п/п	Концентрация газов при отключенном источнике выделений, мг/м <sup>3</sup>	Концентрация газов при включенном источнике выделений и отключенной вентиляции, мг/м <sup>3</sup>	Концентрация газов при включенном источнике выделений и включенной вентиляции через время t (мин), мг/м <sup>3</sup>			Вещество и его ПДК, мг/м <sup>3</sup>
			10	20	30	
1						
2						
3						
4						
5						

## **Контрольные вопросы**

1. Описать схему вентиляционной установки.
2. Устройство и работа газоанализатора.
3. Описать методику оценки эффективности удаления газов.
4. Предельно-допустимая концентрация.
5. Меры безопасности при работе с газоанализатором.

## РАБОТА №8

### ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОНЦЕНТРАЦИИ ЗАГРЯЗНЯЮЩИХ ВЕЩЕСТВ МЕТОДОМ ФОТОМЕТРИИ

#### 8.1. Цель работы

Изучить теоретические основы метода фотоколориметрического анализа и практически определить концентрацию загрязняющего вещества.

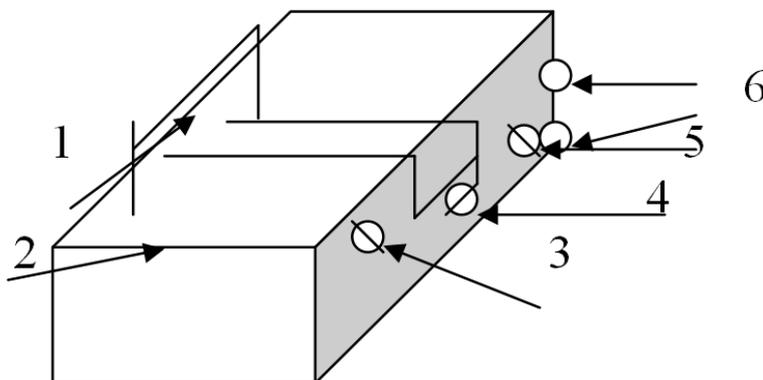
**8.2. Приборы и оборудование:** фотоэлектроколориметр, кюветы, стандартные растворы

#### 8.3. Меры безопасности.

Смотри п.1.3 в исследовательской работе № 1

#### 8.4. Описание устройство фотоэлектроколориметра

Главной частью фотоэлектроколориметра является фотоэлемент, преобразующий энергию излучения в электрическую. Колориметр состоит из двух блоков: оптического и питания. На рис. 33 представлен общий вид прибора.



**Рис. 37.** Фотоэлектроколориметр: 1 – микроамперметр со шкалой; 2 – трансформатор; 3 – тумблер установки светофильтров; 4 – ручка перемещения кювет в кюветодержателе; 5 – тумблер чувствительности; 6 – тумблер компенсации «Установка 100» – «Грубо» – «Точно»

В оптический блок входят: оправка с оптикой, светофильтры, кюветное отделение, кюветодержатели, фотометрическое устройство с усилителем постоянного тока и элементами регулирования, регистрирующий прибор.

В оправку с оптикой встроены конденсатор, диафрагма и объектив. Цветные светофильтры вмонтированы в диск. Кюветное отделение представлено набором кювет и кюветодержателем. В фотометрическое устройство входят фотоэлемент Ф-26, фотодиод ФД-24К, светоделительная пластинка, усилитель. В качестве регистрирующего устройства используется микроамперметр типа М 1792 со шкалой, отградуированной в значениях коэффициента пропускания  $T$  и оптической плотности  $A(D)$ .

Блок питания состоит из стабилизатора напряжения с выпрямителем и светового трансформатора.

## **8.5. Порядок выполнения работы**

### **1. Предварительная подготовка**

- приготовить серию стандартных растворов и растворов с неизвестной концентрацией по одному из предложенных вариантов (Табл.3.1). Для этого пипеткой отмерить указанные объемы необходимых реактивов. Все пробирки перемешать осторожным встряхиванием и оставить на определенное время для развития окраски.

- включить фотоэлектроколориметр в сеть для прогрева. При этом кюветное отделение должно быть открыто. Тумблер «Чувствительность» установить в положение «2», а тумблеры «Установка 100», «Грубо» и «Точно» – в крайнее левое положение.

### **2. Измерить аналитический сигнал**

- в одну кювету налить до метки раствор сравнения (пробирка 1), содержащий те же реактивы, что и растворы стандартной серии, кроме компонента, образующего окрашенное соединение ( $CrO_3$ ,  $NaOH$ ,  $NO_2$ ), что позволяет

Таблица 16

Варианты приготовления серии стандартных растворов, раствора сравнения, растворов с неизвестной концентрацией и условия проведения анализа

№ варианта	Определяемое вещество	Ингредиенты исследуемого раствора	Объем растворов (мл)								Время развития окраски, (мин)	Длина волны (нм)	Размер кюветы (мм)	Чувствительность	
			1	2	3	4	5	6	7	8					
1	CrO <sub>3</sub>	Стандартный раствор с конц CrO <sub>3</sub> 1 мкг/мл	0	0,4	0,6	1,0	1,5	3,0	X	X+0,6	10	440, 490, 540	10	2	
		Дистиллированная вода	5,0	4,6	4,4	4,0	4,5	2,0	до 5,0	до 5,0					
		Дифенилкарбазид	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5					
2	Cu <sup>2+</sup>	Стандартный раствор с конц Cu <sup>2+</sup> 0,05мг/мл	0	0,5	1,0	2,0	3,0	5,0	X	X+1,5	10	590, 670, 750	10	2	
		10% р-р NH <sub>4</sub> OH	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0					1,0
		Дистиллированная вода	до 10	до 10	до 10	до 10	до 10	до 10	до 10	до 10					до 10

исключить влияние примесей, присутствующих в используемых химических веществах.

- выбрать из серии стандартных растворов тот, где интенсивность окраски максимальная (пробирка б), и налить во вторую кювету.

- установить кюветы в кюветное отделение прибора, при этом кювету с раствором сравнения в дальнее гнездо кюветодержателя, а другую - в ближнее.

- тумблером 3 установить светофильтр, соответствующий заданной длине волны, согласно варианту (Табл.15).

- при открытом кюветном отделении убедиться, что стрелка гальванометра показывает "0" по шкале пропускания Т, в противном случае сообщить преподавателю.

- закрыть кюветное отделение, тумблерами "Грубо" и "Точно" установить стрелку гальванометра на "0" по шкале А(Д).

- не открывая кюветное отделение, поворотом ручки 4 переместить кюветы, т.е. теперь кювета с окрашенным раствором будет находиться в пучке света. Снять показания прибора по шкале А(Д) и занести в таблицу 17.

- аналогично провести измерение оптической плотности (поглощения) для этого же раствора, но при других длинах волн (светофильтрах).

- выбрать тот светофильтр, для которого поглощение максимально, и установить его тумблером 3. Для остальных растворов поглощение измерить только с этим светофильтром.

- в кювету, где находился окрашенный раствор, последовательно залить приготовленные растворы и для каждого измерить величину поглощения. Полученные данные занести в табл. 18.

3. Данные экспериментов занести в табл. 17 и 18.

Таблица 17

Длина волны $\lambda$ , нм			
Поглощение А			

Таблица 18

Номер пробирки	1	2	3	4	5	6	7	8
Поглощение $A$								
Концентрация $C$ (мкг)								

По данным табл. 17 построить графическую зависимость оптической плотности от длины волны  $A=f(\lambda)$  и обосновать выбор светофильтра.

Построить градуировочный график зависимости поглощения от концентрации  $A=f(c)$  (данные пробирок 2-6). Для этого в табл. 18 необходимо заполнить соответствующую строку, исходя из того, что концентрация стандартного раствора, а именно титр, указана для каждого варианта (приложение А).

Найти концентрацию ( $c_x$ ) раствора с неизвестным содержанием, пользуясь градуировочным графиком (пробирка 7).

Рассчитать концентрацию ( $c_x$ ) интересующего компонента методом добавок (данные пробирок 7 и 8).

Представить окончательный результат как среднее, найденное методом градуировочного графика и методом добавок.

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

## 5. Контрольные вопросы

1. Почему метод фотоколориметрии используют для контроля ПДК различных элементов?
2. На чем основан метод фотоколориметрии и какой области спектра электромагнитного излучения он соответствует?
3. Что отражает основной закон светопоглощения?
4. Графическое выражение зависимости поглощения от концентрации.

5. Почему закон светопоглощения справедлив только для монохроматического излучения?
6. Характеристика светофильтров и их назначение?
7. Как определяют концентрацию вещества методом градуировочного графика?
8. Как определяют концентрацию вещества методом добавок?
9. Почему прибор для измерения оптической плотности называют фотоэлектроколориметром?
10. Почему измерения поглощения окрашенных растворов проводят относительно раствора сравнения?
11. Как определяют концентрацию загрязняющих веществ, находящихся в различных объектах окружающей среды методом фотометрии?

## 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. Гавришук 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 состава 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. Чистые помещения. Проблемы. Теория. Практика [Текст] / Под ред. А.Е. Федотова. – М.: АСИНКОМ, 2003. – 576 с.
9. ГОСТ Р ИСО 14644-1-2002. Чистые помещения и связанные с ними контролируемые среды [Текст]. – М.: ИПК Издательство стандартов, 2003. – 17 с.
10. 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.
11. Полтев, М.К. Охрана труда в машиностроении: учебник [Текст] / М.К. Полтев. – М.: Высш. шк., 1980. – 294 с.

12. 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.
13. 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.
14. Классификация систем автоматического удаления вредных веществ из воздуха производственного помещения [Текст] / Е.М. Агашков, Т.И. Белова, В.Е. Бурак и др. // Вестник МАНЭБ. – СПб, 2010. – Т.15, № 4. – С. 116 – 118.
15. Большаков, А.М. Руководство к лабораторным занятиям по общей гигиене [Текст] / А.М. Большаков.-2-е изд., перераб. и доп. – М.:Медицина, 2004.- 272 с.
16. Руководство 2.2.7659-99 Методика контроля содержания вредных веществ в воздухе рабочей зоны.
17. Ливчак, И.Ф. Охрана окружающей среды [Текст] / И.Ф. Ливчак, Ю.В. Воронов, Е.В. Стрелков. М.: Колос, 1995. – с. 156.
18. Богдановский, Г.А. Химическая экология: учебное пособие [Текст] / Г.А. Богдановский. – М.: Изд-во МГУ, 1994. – 253 с.
19. Васильев, В.П. Аналитическая химия. Физико-химические методы анализа. Ч.2 [Текст] / В.П. Васильев. – М.: Высшая школа, 1989. – 352 с.
20. Сборник методик по определению концентраций загрязняющих веществ в промышленных выбросах [Текст]. – Л.: Гипрометеоиздат, 1987.
21. ГОСТ 12.1.005-88ССБТ. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны.

**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	$f(C_K / \mu_T)$		Практически не влияет		При $d_T < 0,3$ мм $f(C_K T_T / \mu_T)$ ; при $d_T > 0,3$ мм $f(C_K / \mu_T)$	$f(C_K / \mu_T)$
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 <sup>3</sup> )	Предельная $C_K = \frac{n_{II} e \rho_T d_T}{12 \varepsilon_0 E}$
от влажности	Не влияет			Способствует росту эффективности		Не влияет	Способствует росту эффективности

Окончание табл. А1

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; $\epsilon_0$ - диэлектрическая постоянная; $e$ - величина заряда; $E$ - напряженность электрического поля; $T_\Gamma$ , $\mu_\Gamma$ , $\rho_\Gamma$ - температура, динамическая вязкость и плотность воздуха							

# ПРИЛОЖЕНИЕ Б

(справочное)

## Определение группы дисперсности пыли

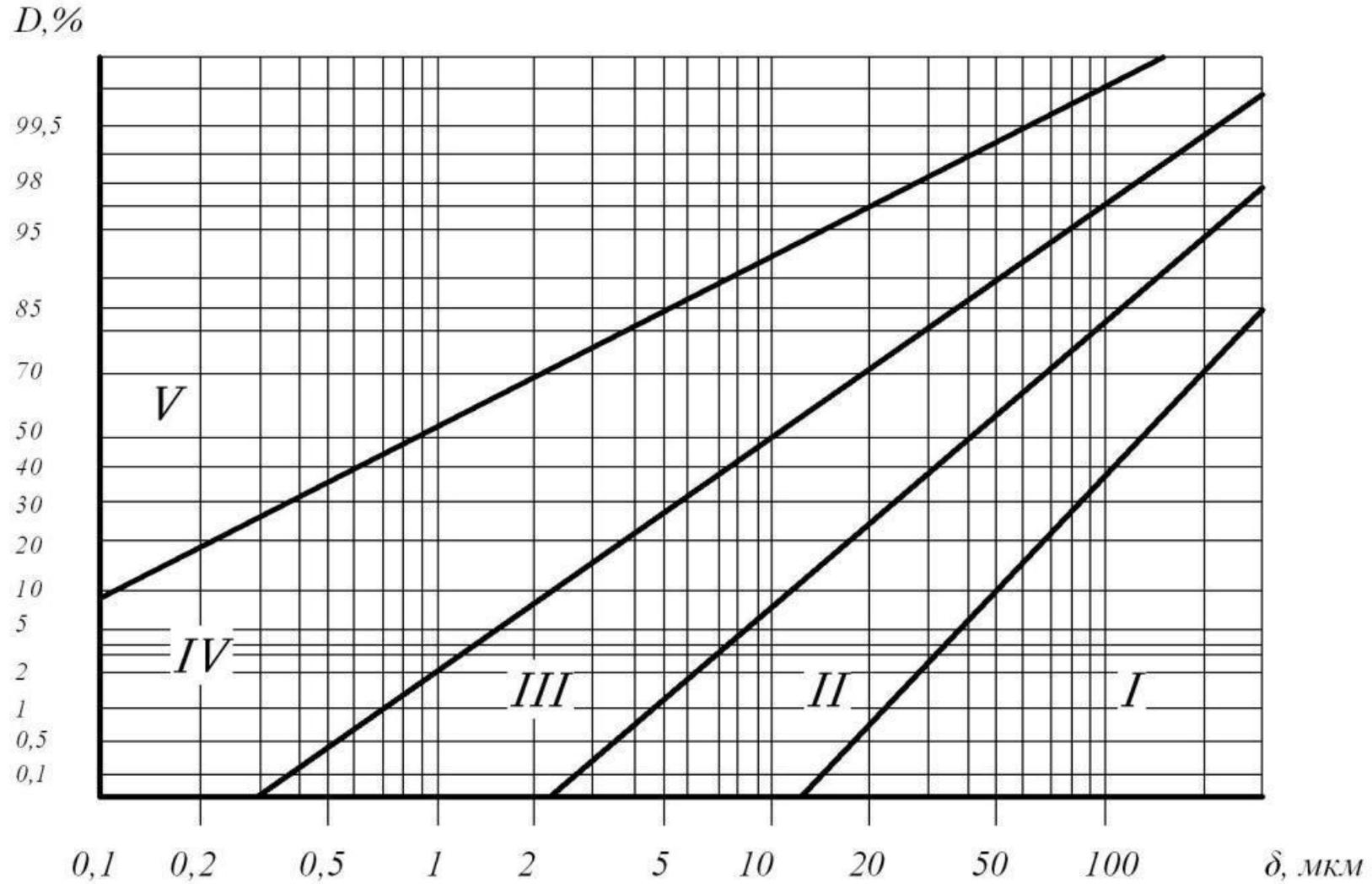


Рис. Б.1. Номограмма для определения группы дисперсности пыли

## 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						
одиночные ЦН – 15, ЦН – 24	5	+	+	–	–	–
групповые ЦН – 15	5	+	+	–	–	–
Циклоны высокой эффективности						
одиночные 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 пылеосадительные 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 исследовательской работе

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

ФГБОУ ВО Брянский ГАУ

Кафедра «Безопасность жизнедеятельности и инженерная экология»

Отчет по исследовательской 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.

Предложения по улучшению методов и средств определения параметров воздушной среды

Подпись аспиранта \_\_\_\_\_

Подпись преподавателя \_\_\_\_\_

Учебное издание

Татьяна Ивановна Белова  
Евгений Михайлович Агашков  
Владимир Иванович Гаврищук

## **ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ И МЕТОДИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ВОЗДУШНОЙ СРЕДЫ**

Учебное пособие  
предназначено для аспирантов по направлению подготовки  
20.06.01 Техносферная безопасность, профиль Охрана труда

Редактор Павлютина И.П.

---

Подписано к печати 18.06.2018. Формат 60x84 1/16.  
Бумага печатная. Усл. п. л.6,74. Тираж 100 экз. Изд. № 6118.

---

Издательство Брянского государственного аграрного университета  
243365 Брянская обл., Выгоничский район, с. Кокино, Брянский ГАУ